

**XLII Международная молодёжная  
научная конференция**

# **Гагаринские чтения – 2016**

**Сборник тезисов докладов**

**Том 1**

**Москва  
12-15 апреля 2016 г.**

УДК 629.7.05  
ББК 39.53  
Г12

**Г12 Гагаринские чтения – 2016: XLII Международная молодёжная научная конференция: Сборник тезисов докладов: В 4 т. М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2016.**

**ISBN 978-5-90363-072-1**

Т. 1: М.: Моск. авиационный ин-т (национальный исследовательский университет), 2016. 690 с.

**ISBN 978-5-90363-071-4**

В сборник включены тезисы докладов, представленные в организационный комитет конференции в электронном виде в установленные сроки и отвечающие требованиям.

Тезисы распределены по разделам в соответствии с направлениями и секциями конференции, указанными авторами при подаче заявок.

**УДК 629.7.05  
ББК 39.53**

ISBN 978-5-90363-071-4 (т. 1)  
ISBN 978-5-90363-072-1

©Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет), 2016

## Участникам и гостям XLII Международной молодёжной научной конференции «Гагаринские чтения»

*Дорогие друзья!*

*На протяжении многих лет «Гагаринские чтения» являются для молодых исследователей площадкой для обсуждения научных исследований в области инновационных аэрокосмических технологий. В 2016 году в связи с объединением МАИ и МАТИ мероприятие вышло на новую орбиту – теперь оно объединено с традиционной Московской молодёжной конференцией «Инновации в авиации и космонавтике».*

*В этом году «Гагаринские чтения» приурочены к знаменательному событию: 55 лет назад один человек, впервые полетевший в космос, доказал всему человечеству, что ничего невозможного для нас не существует. Наша цель состоит в том, чтобы расширять границы, стремиться к чему-то большему, познавать Вселенную и, как бы пафосно это не звучало, постигать основы мироздания.*

*Яснее всего это понимают молодые учёные – из года в год число пытливых, любознательных и талантливых участников «Гагаринских чтений» продолжает расти. В 2016 году более 2 000 человек из 18 стран мира заявили о себе на нашей конференции; на 58 секций поданы заявки из 38 городов России. В двух школьных секциях заявлены работы 200 учащихся – юных исследователей, чей интерес к науке, а особенно к инновационным аэрокосмическим технологиям, только разгорается.*

*Искра же этого интереса – труд научных наставников и преподавателей. Вас я хотел бы поблагодарить отдельно, ведь значимость ваших знаний и опыта неоценима. Ваша поддержка – важнейшее условие успеха молодых талантов.*

*Я желаю участникам конференции помнить о великом свершении Юрия Гагарина и знать – для вас нет преград. Смотрите в будущее и идите вперёд, не сомневаясь в своих способностях. Ваши идеи укрепят фундаментальные основы нашей отечественной науки.*

*И.о. ректора*



*В.А. Шевцов*

## **Организатор**

Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)

## **Генеральный партнёр**

Холдинг «Технодинамика»

## **Партнёр**

АО «Объединенная двигателестроительная корпорация»

## **Программный комитет**

- Шевцов В.А.** – председатель Программного комитета;
- Агульник А.Б.** – декан факультета «Двигатели летательных аппаратов» МАИ;
- Беспалов А.В.** – директор института материаловедения и технологий материалов МАИ;
- Гетманов А.Г.** – декан факультета довузовской подготовки МАИ;
- Голов Р.С.** – директор института менеджмента, экономики и социальных технологий МАИ;
- Ефремов А.В.** – декан факультета «Авиационная техника» МАИ;
- Иосифов П.А.** – директор института аэрокосмических конструкций, технологий и систем управления МАИ;
- Кирдяшкин В.В.** – декан факультета «Радиоэлектроника летательных аппаратов» МАИ;
- Ковалёв К.Л.** – заведующий кафедрой «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» МАИ;
- Костиков Ю.А.** – директор института информационных систем и технологий МАИ;
- Крылов С.С.** – декан факультета «Прикладная математика и физика» МАИ;
- Следков Ю.Г.** – декан факультета «Системы управления, информатика и электроэнергетика» МАИ;
- Тихонов А.И.** – директор ИНЖЭКИН МАИ;
- Тушавина О.В.** – и.о. декана факультета «Аэрокосмический» МАИ.

## **Рабочая группа**

- Шемяков А.О.** – начальник управления инноваций, стратегии и коммуникаций МАИ, руководитель рабочей группы;
- Некрасова Р.Г.** – инженер отдела по связям с общественностью МАИ, заместитель руководителя рабочей группы;
- Полянский В.В.** – председатель Совета по НИРС, заместитель руководителя рабочей группы;
- Данилин А.А.** – начальник управления по воспитательной работе и социальным вопросам;
- Долгова М.И.** – заместитель начальника научного управления;
- Киндюкова И.А.** – начальник управления довузовской подготовки.

Холдинг «Технодинамика» (Госкорпорация Ростех) - поставщик первого уровня для предприятий авиационной промышленности и лидер российского рынка авиационного оборудования. К 2020 году «Технодинамика» планирует войти в пятерку крупнейших мировых производителей авиационных систем.



Однако, цель холдинга - не только соответствовать лучшим мировым стандартам, но и задавать новые. В 2014 году был открыт уникальный Центр проектирования, работающий с применением технологий системного инжиниринга. Уже сегодня Центр считается одним из лучших мест для самореализации и карьерного роста.

Специалисты компании работают над инновационными и масштабными проектами, не имеющими аналогов на российском и мировом рынке. Руководство холдинга обеспечивает талантливых сотрудников, готовых расти вместе со своей компанией, не только интересными задачами, но и всеми необходимыми условиями для комфортной и продуктивной работы.

*Если для вас авиастроение - это больше, чем профессия, а такие ценности как новаторство, ответственность и идейность – часть жизненного кредо, холдинг «Технодинамика» - это ваша компания!*

**HR служба тел.: +7 (495) 627-10-99 e-mail: [hr@technodinamika.ru](mailto:hr@technodinamika.ru)**





# **ЕДИНСТВО ВО МНОЖЕСТВЕ**



АО «Объединенная  
двигателестроительная корпорация»  
Россия, 105118, г. Москва, проспект Буденного, д.15  
[www.uecrus.com](http://www.uecrus.com) e-mail: [info@uecrus.com](mailto:info@uecrus.com)





Акционерное общество «Вертолетная сервисная компания» является лидером на рынке авиационно-технического имущества вертолетной техники российского производства. Компания осуществляет материально-техническое обеспечение эксплуатации вертолетной техники производства предприятий Холдинга АО «Вертолеты России» во всех регионах мира.

АО «ВСК» создано 22 сентября 2006 года как предприятие со 100% участием АО «Вертолетов России» и является:

- Единственным уполномоченным АО «Вертолеты России» поставщиком авиационно-технического имущества 1-ой категории (т.е. нового), произведенного предприятиями Холдинга и реализуемого для нужд послепродажного обслуживания российской вертолетной техники.
- Центром компетенций Холдинга «Вертолеты России» по организации на предприятиях Холдинга капитально-восстановительного ремонта агрегатов для нужд организаций, эксплуатирующих российскую вертолетную технику.

Клиентами АО «ВСК» являются более 130 компаний из Азии, Африки, Европы, Северной и Южной Америки. В основном это авиакомпании и эксплуатанты вертолётной техники, авиационные ремонтные заводы и сервисные центры, а также силовые ведомства и службы авиации специального назначения различных государств.



## Содержание

СЕКЦИЯ № 2. Инновации в технологических процессах .....	8
СЕКЦИЯ № 3. Клиент-серверные модели и Web-разработка .....	42
СЕКЦИЯ № 4. Механика и моделирование материалов и технологий .....	84
СЕКЦИЯ № 5. Механика космического полёта .....	183
СЕКЦИЯ № 6. Прикладная математика и математическое моделирование ....	195
СЕКЦИЯ № 7. Прикладные программно-аппаратные комплексы.....	249
СЕКЦИЯ № 8. Проблемы проектирования и эксплуатации компьютерных сетей.....	274
СЕКЦИЯ № 9. Проблемы прочности, долговечности и надёжности элементов аэрокосмических конструкций .....	290
Реакции в опорах сервокомпенсатора .....	312
СЕКЦИЯ № 10. Системы автоматизированного проектирования и интеллектуальные системы автоматки .....	327
СЕКЦИЯ № 11. Современные информационные технологии и их применения	380
СЕКЦИЯ № 12. Математические методы в аэрокосмической науке и технике	462
СЕКЦИЯ № 23. Антенны и устройства СВЧ.....	487
СЕКЦИЯ № 24. Инфокоммуникационные технологии и системы мобильной связи.....	518
СЕКЦИЯ № 25. Информационные технологии и системы позиционирования	535
СЕКЦИЯ № 26. Информационные технологии конструирования РЭС .....	545
СЕКЦИЯ № 27. Обработка сигналов в радиотехнических системах .....	558
СЕКЦИЯ № 28. Радиоэлектронные системы и комплексы .....	575
СЕКЦИЯ № 29. Системы наблюдения радио- и оптического диапазонов.....	595
СЕКЦИЯ № 34. Вычислительные и информационные системы.....	608
СЕКЦИЯ № 35. Управление движением и навигация .....	629
СЕКЦИЯ № 57. Системы электроснабжения и электромеханические преобразователи энергии .....	651
СЕКЦИЯ № 58. Электротехнические и электронные аппараты и устройства.	667
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ .....	680



## **СЕКЦИЯ № 2. Инновации в технологических процессах**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Федоров В.К.

---

### **Методические принципы разработки инновационных систем конструкций микрополосковых устройств РЛС**

Андреев И.В.

Научный руководитель – Федоров В.К.

МАИ, г. Москва

Разработка инновационных радиоэлектронных устройств – это основа развития высокотехнологичных радиолокационных систем различного назначения.

На основе оценки приоритетов разработок инновационных радиолокационных устройств можно сделать выводы о важности конструкции в процессе развития передовых радиоэлектронных систем. Известно о существенном влиянии собственно конструкции на технические характеристики устройств СВЧ. Поэтому к конструкции СВЧ модулей предъявляют ряд требований, обеспечивающих функционирование устройства в нормальном режиме:

- Защита от воздействия внешних климатических факторов;
- Выполнение требований по герметичности;
- Выполнение требований условий эксплуатации;
- Защита компонентов от теплового воздействия в процессе эксплуатации;
- Выполнение крепления модуля на несущей конструкции;
- Другие требования технического задания.

Важнейшей характеристикой модулей СВЧ следует считать диапазон рабочих частот, определяющий основные конструкторские параметры модуля и оказывающий существенное влияние на технические характеристики. Имея целью создание радиоэлектронных систем с высоким уровнем стандартизации, перспективность которых не требует доказательства, следует начать с разработки базовых моделей и размерных рядов устройств более низкого уровня, которые, в свою очередь, базируются на рядах диапазонов рабочих частот. Структура параметрической стандартизации конструкций СВЧ модулей представляется следующим образом:

- Построение ряда диапазонов частот;
- Разработка системы базовых конструкций;
- Построение размерного ряда на основании системы конструкций.

Следовательно, основная задача состоит в оценке частотных диапазонов разрабатываемых систем РЛС. Критериями этой оценки должны быть профиль продукции предприятия и распределение полос радиочастот между службами, а так же характеристики применяемой элементной базы.

В то же время разработка такой сложной и противоречивой системы базовых конструкций невозможна без привлечения методов технического дизайна, ведь, в конечном итоге, целью разработки является решительное повышение всех

эксплуатационных показателей, то есть качества изделия в целом. А среди основных показателей качества эстетические и эргономические показатели занимают особое место – в условиях роста общего технического уровня изделий существенно повышается роль эстетических и эргономических аспектов качества, как определяющих общий инновационный уровень.

### **Инновации 3D-печати в технологическом процессе производства корпуса смартфона**

Ахрамович А.А.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

Аддитивное производство, также известное как 3D-печать, за последние годы получило серьезное развитие и стало широко применяться в области проектирования и разработки новых продуктов, что существенно ускорило разработку конструкции изделий и, как следствие, настройку технологических процессов производства этих изделий. С помощью 3D-принтера сегодня возможно произвести такую конструкцию, которую невозможно создать традиционными технологиями производства, например, литьем под давлением или фрезеровкой.

Аддитивные технологии в привычном виде не вполне правильно называть 3D-печатью, ведь, по сути своей, это двухмерная печать, повторяющаяся снова и снова, это как в струйной печати, когда чернила наносятся на бумагу, чтобы создать буквы, а 3D-принтер делает это снова и снова, чтобы создать трехмерный объект. В микроэлектронике используется так называемая литография для создания транзисторов и интегральных схем для увеличения их структуры в несколько раз, все это - технологии двухмерной печати.

Полноценное внедрение аддитивных технологий в производстве в том виде, в котором они существуют, не происходит массово и на это есть свои причины, например, 3D-печать занимает много времени, а также послойный процесс создания изделия приводит к таким дефектам механических свойств как анизотропия, кроме того о себе дает знать шероховатость изделия.

Данные недостатки были полностью устранены калифорнийской компанией Carbon 3D в своей новой технологии 3D-печати, которая получила название как Continuous Liquid Interface Production or technology или просто CLIP. Суть ее предельно проста – выращивание трехмерного объекта из жидкости путем использования света и кислорода для отверждения фоточувствительного материала, например, особого вида смолы. Данный процесс довольно легко представить в уме, достаточно только вспомнить сцену из фильма «Терминатор 2», где модель T-1000 поднимается из жидкого состояния в сложный твердый трехмерный объект в реальном времени, при этом не оставляя отходов. Данную технологию за счет ее высокой скорости, превышающий таковую в 3D-печати, применяемой сегодня, в 100 раз, изотропностью механических свойств и гладкостью получаемых изделий за счет устраненных слоев, можно использовать как полноценный технологический процесс производства практически любого изделия, состоящего как из полимеров, так и из металла.

Данная технология как нельзя кстати подходит для производства такого массового продукта на сегодняшний день как смартфон, а именно его корпуса. Производство металлического корпуса смартфона – это технологически сложный процесс, состоящий из множества этапов – это металлургические процессы литья в формы, использование матрицы и пуансона для создания металлических кнопок, фрезеровочные и сверлильные работы по созданию в корпусе необходимых отверстий заданных размеров и общего придания корпусу точных характеристик – все это легко заменить технологией CLIP, путем выращивания корпуса из металла с уже заданными точными размерными параметрами, прорезями и выемками, это может сэкономить время от общего производства смартфона практически в несколько раз.

Справедливо заметить, что данная технология подходит для производства широкого спектра изделий из абсолютно разных областей. При её внедрении будет возможно максимально быстро перейти от чертежа, созданного в САПР, к прототипу и производству, что упростит организацию производства и технологические процессы в плане их декомпозиции, все это изменит подход к производству в лучшую сторону.

## **Моделирования бизнес-процессов. Методология IDEF**

Брегнова А.В.

Научный руководитель – Крючков В.Л.

МАИ, г. Москва

На начальных этапах создания ИС необходимо понять, как работает организация, которую собираются автоматизировать. Никто в организации не знает, как она работает в той мере подробности, которая необходима для создания ИС. Руководитель хорошо знает работу в целом, но не в состоянии вникнуть в детали работы каждого рядового сотрудника. Рядовой сотрудник хорошо знает, что творится на его рабочем месте, но плохо знает, как работают коллеги. Поэтому для описания работы предприятия необходимо построить модель. Такая модель должна быть адекватна предметной области, следовательно, она должна содержать в себе знания всех участников бизнес-процессов организации.

В настоящее время имеются методики функционального, информационного и поведенческого моделирования и проектирования, в которые входят IDEF-модели. Взаимная совокупность методик и моделей концептуального проектирования IDEF разработана в США по программе Integrated Computer-Aided Manufacturing. IDEF – Сокращение от Integration DEfinitionMetodology (Объединение Методологических Понятий).

В настоящий момент к семейству IDEF можно отнести следующие стандарты:

- IDEF0 (FunctionModeling) –метод используется для создания функциональной модели, которая является структурированным отображением функций производственной системы или среды, а также информации и объектов, связывающих эти функции.
- IDEF1 (InformationModeling) –метод применяется для построения информационной модели, которая представляет собой структурированную

информацию, необходимую для поддержки функций производственной системы или среды.

- IDEF2 (SimulationModelDesign) – данный метод позволяет построить динамическую модель меняющегося во времени поведения функций, информации и ресурсов производственной системы или среды. Она используется редко, в основном востребована на предприятиях, где необходимо описать непрерывную деятельность на конвейерах или аналогичные функции.

- IDEF3 (ProcessDescriptionCapture) – метод используется для сбора информации о состоянии моделируемой системы.

- IDEF4 (Object-OrientedDesign) – данный метод объектно-ориентированного планирования был разработан для поддержки объектно-ориентированной идеологии. Подробнее - Технология UML.

- IDEF5 (OntologyDescriptionCapture) – метод позволяет разрабатывать, изучать и поддерживать онтологию моделируемой системы. Термин «онтология» включает в себя каталог терминов области знаний; правила, объясняющие, как термины могут комбинироваться, создавая при этом корректные ситуации в области знаний и согласованные выводы, используемые в моделируемой системе.

- IDEF6 (DesignRationalCaptureMethod) - метод позволяет использовать рациональный опыт проектирования.

- IDEF7 (InformationSystemAuditing) - этот метод описывает проведение методологии аудита информационной системы.

- IDEF8 (UserInterfaceModeling) – метод позволяет разрабатывать необходимые модели Графического Интерфейса Пользователя (Human-SystemInteractionDesign). Метод предназначена для проектирования взаимодействия человека и системы.

- IDEF9 (BusinessConstraintDiscovery) - данная модель предназначена для анализа имеющихся условий и ограничений (в том числе физических, юридических или любых других) и их влияния на принимаемые решения в процессе реинжиниринга.

- IDEF10 - Implementation Architecture Modeling

- IDEF11 - Information Artifact Modeling

- IDEF12 - Organization Modeling

- IDEF13 - Three Schema Mapping Design

- IDEF14 (NetworkDesign) - данный метод позволяет моделировать вычислительные сети. Модель предназначена для представления и анализа данных при проектировании вычислительных сетей на графическом языке с описанием конфигураций, очередей, сетевых компонентов, требований к надежности.

Используя перечисленные средства, можно создать полное описание экономической или информационной системы (того, что делает или должна делать система).

Разумеется, подобный подход требует ряда организационных мер, в первую очередь со стороны руководства обследуемого предприятия. Это обусловлено тем, что эта техника подразумевает возложение на некоторых сотрудников дополнительных обязанностей по освоению и практическому применению

новых методологий. Однако в конечном итоге это оправдывает себя, так как дополнительные один-два часа работы отдельных сотрудников в течение нескольких дней позволяют существенно экономить средства на оплату консультационных услуг сторонней компании (которые в любом случае будут отрывать от работы тех же работников анкетами и вопросами). Что касается самих работников предприятия, так или иначе выраженного противодействия с их стороны я в своей практике не встречал.

Вывод из всего этого можно сделать следующий: совершенно не обязательно каждый раз самим придумывать решения для стандартных задач. Всегда, когда мы сталкиваемся с необходимостью анализа той или иной функциональной системы (от системы проектирования космического корабля, до процесса приготовления комплексного ужина) – нужно использовать годами проверенные и обкатанные методы. Одним из таких методов и является IDEF0, позволяющий с помощью своего простого и понятного инструментария решать сложные жизненные задачи.

### **Инновационные методы решения задач обеспечения качества в производстве модулей управления РЛС**

Бугаков С.О.

Научный руководитель – Федоров В.К.

МАИ, г. Москва

Возрастающие требования к точности и достоверности мониторинга окружающего пространства как в военной области, так и в интересах решения хозяйственных задач, обуславливают важность разработки специальных информационно-управляющих систем, способных обеспечить получение сведений о функциональном состоянии интересующих районов. Это неизбежно приводит к новому этапу развития радиолокационных систем с более высокими тактико-техническими характеристиками, к расширению их функциональных возможностей, росту интеллекта.

Безусловно, на фоне роста технологичности современных систем РЛС и их функциональности, ни в коем случае нельзя отодвигать на второй план вопрос обеспечения качества продукции. Ведь без надлежащего уровня качества и надежности невозможно обеспечить бесперебойное и безотказное функционирование станций и модулей РЛС. Поэтому в производстве электронных модулей управления РЛС качеству необходимо уделять особое внимание.

Обеспечение качества модулей управления РЛС определяет их конструктивные, технологические, экономические и эргономические параметры. Проблема обеспечения качества блоков РЛС усугубляется по мере углубления задач микроминиатюризации, когда целые блоки выполняются в виде интегральных микросхем, которые являются неремонтопригодными.

Расчетные оценки параметров качества нуждаются в экспериментальном подтверждении, так как исходные данные и модели являются приближенными. В связи с этим значительный объем информации о качестве продукции получают путем контроля их параметров и проведения испытаний.

Качество изготовления во многом зависит от уровня технологии и организации сборочного производства. Это объясняется спецификой сборочно-монтажных процессов и сложностью монтажных работ, которая, в свою очередь, обусловлена широкой номенклатурой выпускаемой продукции, преобладанием малогабаритных и микроминиатюрных деталей и сборочных единиц, многообразием технологических методов сборки и монтажа.

Для повышения качества изготовления модулей управления РЛС необходимо на всем протяжении технологического процесса, после каждой операции проводить тщательный контроль изготавливаемой продукции. Внедрение в производство средств механизации и автоматизации сборочно-монтажных процессов, способствующих повышению производительности и качества труда, становится одной из приоритетных задач инновационного развития предприятий.

### **Разработка функциональной модели технологического процесса изготовления односторонних печатных плат**

Васильева Е.В.

Научный руководитель – Хомутская О.В.

МАИ, г. Москва

Целью построения функциональной модели процесса является необходимое и достаточное, формализованное описание всех подпроцессов, из которых состоит моделируемый процесс, а также характера взаимосвязей между ними. Будучи построенной, такая модель способна обеспечить полное представление как о функционировании исследуемого процесса, так и обо всех имеющих в нем место потоках информации и материалов.

Функциональная модель технологического процесса (ТП) позволяет:

- Установить и иерархически выстроить процессы, которые непосредственно определяют качество конечной продукции.
- Определить «входы» и «выходы» этих процессов, их взаимосвязь.
- Идентифицировать каждый процесс по таким аспектам как: ответственность, ресурсы, комплекс показателей качества, место процесса в сети процессов.

В результате анализа существующих методов и методологий в области структурного анализа выбрана процессно-ориентированная методология проектирования информационных систем, опирающаяся на IDEF-технологии, которые позволяют определять ситуации, в которых требуется принятие решения, влияющего на жизненный цикл процесса, например, изменение конструктивных, технологических или эксплуатационных свойств конечного продукта. IDEF-модель используется для более глубокого понимания и анализа не только системы в целом или ее окружения, но и того, как взаимодействуют ее компоненты. В дальнейшем она может быть использована для имитационного анализа.

Целью работы является разработка IDEF-модели ТП изготовления односторонних печатных плат (ОПП) для последующего анализа влияния различных характеристик ТП на качество конечного продукта.

Входом являются материалы, комплектующие и параметры окружающей среды во время процесса изготовления ОПП. В качестве управляющей информации предполагается использовать технические задание и нормативно-технические документы (государственные, отраслевые стандарты, отраслевые инструкции). В техническом задании определяют наименование, назначение и другие характеристики ПП. Механизмом для осуществления операций ТП становится оборудование и специалисты. Основными результатами функционирования является конечный продукт (ОПП) и данные о качестве изделия, второстепенным – бракованные ОПП и отходы производства.

Данная модель позволит рассмотреть влияние подпроцессов друг на друга и на качество конечного продукта, составить и систематизировать список влияющих факторов. Это в свою очередь позволит оптимизировать затраты на изготовления и произвести более тонкую настройку технологического процесса, что особенно актуально в производстве ответственной аппаратуры (авионика, медицина и т.д.).

### **Классификация механизмов фиксации шпинделей обрабатывающих центров**

Вакка Ю.В.

Научный руководитель – Михрютин В.В.

РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск

В современном машиностроении широкое распространение получают токарные и фрезерные обрабатывающие центры, позволяющие совмещать токарную и фрезерную обработку. Примерами таких станков служат токарные обрабатывающие центры серии NT, а также сверлильно-фрезерно-расточные станки NHV5000 с двухповоротными столами, оснащенными системами прямого привода компании DMG-MoriSeiki.

Особенностью станков данного типа является возможность совмещения токарной и фрезерной обработки на одном станке, причем как токарный, так и фрезерный инструмент во время работы закрепляются во фрезерном шпинделе. При этом во время обработки точением шпиндель станка фиксируется от поворота при помощи механических устройств.

Данные устройства появились в станкостроении сравнительно недавно, поэтому актуальной является работа, направленная на изучение и анализ существующих конструкций с целью получения информационной основы для синтеза импортозамещающих конструкций и обеспечения их патентной чистоты.

В данной работе проводится обзор и анализ существующих технических решений, выявленных в процессе информационно-патентного поиска. Проведенный анализ показал, что по принципу работы существующие конструкции фиксирующих устройств можно разделить на три основных вида.

В механизмах первого вида осуществляется фиксация самого шпинделя от поворота относительно корпуса

Достоинством данных конструкций является возможность закрепления токарного инструмента в инструментальной оправке стандартной конструкции, что упрощает смену инструмента. Основные недостатки связаны с низкой

жесткостью и большой динамической нагрузкой постоянного направления, действующей на не вращающиеся шпиндельные подшипники, что может приводить к существенному снижению их ресурса.

Данный недостаток устраняется в устройствах второго вида, в которых фиксация инструментальной оправки с токарным инструментом производится относительно корпуса шпиндельного узла.

Достоинством такой конструкции является разгрузка шпиндельных подшипников. Недостатком – сложность использования в системах автоматизированной смены инструмента, поскольку элементы, осуществляющие базирование оправки на корпусе шпиндельного узла, не позволяют захват ее автооператором и размещение в инструментальном магазине с захватами стандартной конструкции.

Данные недостатки исключены в устройстве, которое относится к третьему виду устройств – с комбинированной схемой закрепления инструментальной оправки в шпинделе и на корпусе шпиндельного узла, что позволяет снизить нагрузку на шпиндельные подшипники и упрощает смену инструмента. Недостатком данного технического решения является необходимость соблюдения точного взаимного положения базовых поверхностей двух зажимов различной геометрической формы.

Проведенный анализ показал, что в качестве основы для дальнейшей разработки конструкций механизмов фиксации шпинделей многоцелевых обрабатывающих центров, наиболее перспективными являются технические решения с фиксацией инструментальной оправки к корпусу шпиндельного узла. При этом требуется разработка конструкции обеспечивающей использование инструментальных оправок стандартных конструкций, что дает возможность применения обычных систем автоматической смены инструмента.

## **Влияние свойств материалов печатной платы на качество процесса сверления монтажных отверстий**

Войтковский С.В., Зве Маунг Маунг  
Научный руководитель – Ванцов С.В.  
МАИ, г. Москва

Основным способом получения сквозных монтажных отверстий является сверление. При этом следует отметить, что надежность технологических операций сверления является значительной проблемой в обеспечении экономичности и серийноспособности производства печатных плат. От качества сверления зависит и качество металлизации, т.е. надежность трансверсальных межслойных соединений.

Проблемы обеспечения надежности процесса сверления монтажных отверстий в печатных платах обусловлены значительными различиями в твердости компонентов материалов основания. Сверло при сверлении проходит в целом случайным образом расположенные участки материалов, твердость которых различаются на порядок и более. Это означает, что процесс износа режущих кромок сверла носит существенно случайный характер.

Армирование диэлектрического основания осуществляется в основном стекловолокном. Средняя твердость стекла по Бринеллю составляет 500 НВ



Степень износа инструмента, т.е. его срок службы, зависит от твердости обрабатываемого материала. Одновременно с износом происходит усиленный нагрев в зоне резания, что может вызвать расплавление связующего. Процесс нарастания температуры в зоне резания усугубляется плохой теплопроводностью обрабатываемого материала, т.е. сверло не охлаждается в процессе сверления.

В качестве связующего в диэлектрическом основании наиболее часто в настоящее время используется эпоксидная смола FR-4.

Определяющей характеристикой связующего при сверлении является температура стеклования, т.е. температура, при которой полностью отвержденная смола начинает размягчаться. Температура стеклования для FR-4 обычно составляет от 130 до 200° С.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы о влиянии свойств материалов печатных плат на износ и нагревание сверла в процессе сверления:

- Ускоренному износу режущих кромок сверла и повышению температуры в зоне резания способствует:
  - увеличение доли стекловолокна в диэлектрическом основании;
  - использование связующего с повышенной температурой стеклования.
- Наличие медной фольги на поверхности диэлектрика не оказывает существенного влияния на износ и температуру сверла.
- Процесс износа режущих кромок носит случайный характер.
- Наличие случайного характера износа сверла не оказывает влияние на нагревание сверла в ходе сверления одного отверстия в силу инерционности теплопередачи в теле сверла и отсутствия теплоотдачи.

## **Роль гештальтпсихологии в компоновке лицевых панелей оборудования**

Дирвук Т.В.

Научный руководитель – Федоров В.К.

МАИ, г. Москва

В современных инновационных производствах всегда существовала область производства, в которой технологические операции являются слишком сложными, либо неоправданно дорогостоящими для их машинной реализации. Таким образом, ручной труд оператора в производстве РЭС является его неотъемлемой частью, а вопрос обеспечения психофизиологического комфорта оператора, надежного и удобного оборудования и организации рабочего места, напрямую связан с качеством выпускаемой продукции.

Особое внимание оператора при работе обращается на панели управления и устройства отображения информации. Даже выполняя конкретную работу, оператор не перестает воспринимать структуры перцептивной среды. Эти неосознанные воздействия оказывают существенное влияние на психическую сферу человека-оператора. Незаметно для человека-оператора эстетические восприятия суммируются и тонизируют его нервную систему. Это происходит как при физическом, так и при умственном труде. Особенно активное влияние эстетических факторов проявляется на фоне начинающегося утомления. Опыт

разработки компоновочных решений панелей управления позволяет считать, что психологический показатель является одним из основных определяющих эргономическое качество прибора.

Большое влияние на становление современных воззрений по проблемам восприятия информации и, соответственно, компоновку панелей оборудования, оказала гештальтпсихология – одно из крупных направлений в психологии. В центре ее внимания - характерная тенденция психики к организации опыта в доступное понимание целое. Ее положения также стимулировали формирование дизайнерских идей и теорий отображения информации.

Представители гештальтпсихологии предположили, что все разнообразные проявления психики подчиняются законам гештальта. Тенденция каждого психического феномена - принять определенную, завершённую форму.

Целостность восприятия и его упорядоченность достигаются благодаря следующим принципам:

- близость (стимулы, расположенные рядом, имеют тенденцию восприниматься вместе);
- схожесть (стимулы, схожие по размеру, очертаниям, цвету или форме, имеют тенденцию восприниматься вместе);
- целостность (восприятие имеет тенденцию к упрощению и целостности);
- замкнутость (отражает тенденцию завершать фигуру так, что она приобретает полную форму);
- смежность (близость стимулов во времени и пространстве). Смежность может предопределять восприятие, когда одно событие вызывает другое;
- общая зона (принципы гештальта формируют наше повседневное восприятие наравне с научением и прошлым опытом).

Компоновка панелей управления с учетом вышеизложенных принципов позволяет снизить сложность выполнения оперативных задач и, как следствие, повысить производительность труда оператора.

### **Основные проблемы методологии инновационного развития специального машиностроения в современных производствах**

Дубовицкий О.М.

Научный руководитель – Федоров В.К.

МАИ, г. Москва

Стратегия развития промышленного производства в нашей стране, очевидно, не может быть реализована без инновационных подходов в разработках, технологии и организации производства в современном машиностроении, в создании разветвленных трансфертов новых высоких наукоемких технологий, новых высокотехнологичных оснащенных рабочих мест; повышения эффективности развития и использования трудовых ресурсов в машиностроении.

Можно отметить и ряд серьезных содержательных недостатков конструкторских и технологических работ, в том числе:

- Известно, что главной задачей при организации и осуществлении технологических процессов в специальном машиностроении является задача организации и оснащения рабочих мест.

- Совершенно неудовлетворительно обстоят дела и с применением методов инженерного (технологического) дизайна, которые несут в себе огромный инновационный потенциал, определяющий композиционные и стилевые качества оборудования.

- К сожалению, слабо освещаются важнейшие вопросы организационно-технологического проектирования цехов и участков машиностроительного производства, в структуре специализированных цехов и участков, причем принципы организации структур цехов и участков связаны с проработкой целого ряда особенностей осуществления технологических процессов – компоновочных, эргономических, композиционных вопросов, вопросов охраны труда и техники безопасности и т.д.

- Чаще всего не затрагиваются важнейшие в современной организации производства:

- вопросы организации и оснащения безлюдных технологий;
- особенности построения гибких производственных систем (ГПС);
- основы построения технологических процессов с применением конвейерных и поточных линий с технологическими накопителями;
- организации роторных производств.

- Системы автоматизированного проектирования технологических процессов рассматриваются недостаточно.

- Недостаточно широко прослеживаются технологические процессы, применяемые в специальных отраслях машиностроения (и вообще в специальном машиностроении) - процессы диффузии, эпитаксии, напыления, электронно-лучевые, травления, фотолитографии и т.п., которые отличаются большим инновационным потенциалом.

Задачи инновационного развития (особенно предприятий ОПК) требуют обширной и глубокой мобилизации методических ресурсов разработок конструктивно-технологических решений в развитии специального машиностроения.

### **Разработка методики организации и совершенствования конструкторских работ на приборостроительном предприятии**

Евстигнеев И.С.

Научный руководитель – Федоров В.К.

МАИ, г. Москва

В научно-исследовательской работе рассмотрены проблемы применения логистических систем на машиностроительном предприятии. В работе производится анализ перспектив развития методов логистики на предприятии. Умелое использование логистических систем может принести предприятию следующие выгоды:

- повышение эффективности производства;
- при правильной организации логистических систем на предприятии удается уменьшить затраты труда и повысить рентабельность производства;

- снижение потерь материалов;
- лучшее использование производственных площадей.

Рассматривается разработка методики расчета потребности в ПКИ и материалах на предприятии. Процесс управления обеспечением потребности производственно-хозяйственной деятельности материальными ресурсами состоит из нескольких элементов:

- Определение потребности в ТМЦ, способом обеспечения которой является закупка у поставщика;
- Формирование заказа поставщику, при необходимости подготовка и заключение договора, спецификации на поставку, формирование детальных графиков поставки ТМЦ и расчетов с поставщиками за ТМЦ;
- Мониторинга состояния выполнения графиков поставки ТМЦ и расчетов с поставщиками ТМЦ;
- Доставки ТМЦ и оприходование ТМЦ на складе предприятия;
- Расчеты с поставщиками ТМЦ – оплата заказанных ТМЦ в соответствии с условиями договоров;
- Анализа эффективности процесса обеспечения потребности в ТМЦ по результатам процесса.

Первым шагом в формировании потребности в ТМЦ для заказа поставщику является определение необеспеченной «чистой» потребности. В работе подробно рассматривается формирование необеспеченной потребности в ТМЦ. В работе приведена наглядная блок-схема формирования «чистой» (необеспеченной) потребности в ТМЦ. В работе приводится пример расчета необеспеченной потребности в ТМЦ на предприятия.

В заключение работы, на основании изученных материалов, предлагается алгоритм снижения объемов ПКИ и материалов в незавершенном производстве.

ПКИ - покупные комплектующие изделия

ТМЦ - товарно-материальные ценности (сырьё, материалы, полуфабрикаты, покупные комплектующие изделия)

## **Эргодизайн как особая подобласть эргономики**

Жерноклюева М.А.

Научный руководитель – Федоров В.К.

МАИ, г. Москва

Понятие «эргодизайна» впервые было введено в конце XX века. В процессе проектирования новой продукции компании «Ксерокс» была произведена реорганизация - команда из 25 дизайнеров и 25 эргономистов, которая позволила произвести действительно высококачественный и конкурентоспособный продукт.

Эргодизайн – новая наука, объединяющая в себе понятия дизайнера и эргономики, для проектирования и производства высококачественной, конкурентоспособной и наукоёмкой продукции, отвечающей трём основным критериям – удобство, комфорт и эстетическое совершенство средств и условий деятельности человека.

Дизайн – деятельность, направленная на проектирование гармоничной, эстетически полноценной среды жизнедеятельности человека и разработке объектов материальной культуры.

Эргономика – наука, изучающая движения человека в процессе производственной деятельности, затраты его энергии, окружающую его среду, а также психические изменения. Цель эргономики – обеспечение эффективности, безопасности и комфортности деятельности человека, а также улучшение производительности труда.

Дизайн можно соотнести с формой проектируемого изделия, а эргономику с его содержанием.

Эргодизайн отличается от традиционного дизайнерского и эргономического проектирования. В настоящее время важной проблемой, связанной с проектированием конкурентоспособной продукции, является обеспечение постоянной связи дизайна и эргономики. XXI век – век высококачественной продукции, отвечающей требованиям человека к производимой продукции. Результатом проектной деятельности дизайнера и эргономиста является эргодизайнерский проект, который направлен на обеспечение благополучия человека во многих сферах его жизнедеятельности (дома, на работе, в театре, в кино, в транспорте, на отдыхе и т.п.) Отсюда можно сделать вывод, что человеческая деятельность – это то, связующее звено, которое создает основу для взаимодействия дизайна и эргономики.

Цели эргодизайна:

- проектирование технически сложных изделий с высокими эстетическими свойствами, отвечающими постоянно меняющимся и растущим требованиям современного человека;
- обеспечение оптимального уровня деятельности человека в окружающем его мире с учётом его функциональных возможностей и индивидуальных особенностей.

Объектом эргодизайна является весь окружающий мир человека и вся предметная среда, используемая человеком. Человек – субъект.

Предмет эргодизайна – взаимодействие дизайнера и эргономиста в процессе проектной деятельности.

## **Применение инновационных форм и методов организации сварочного производства в радиоэлектронной промышленности**

Захаров П.А.

Научный руководитель – Федоров В.К.

МАИ, г. Москва

В настоящее время в производстве крупногабаритных сварных конструкций антенн радиолокационных станций (РЛС) всё больше уделяется внимания формам и методам организации сварочного производства, непосредственно влияющих на качество выпускаемой продукции. Среди них можно выделить следующие перспективные направления:

- концентрация производства сварных конструкций и повышения уровня его специализации, являющаяся основой эффективного использования инновационных технологий, высокопроизводительного оборудования, средств

механизации, автоматизации, робототехники, обрабатывающих центров и т.д., обеспечивающих стабильность технологических режимов и устраняющих возникновение дефектов и брака;

- комплексно-механизированное, автоматизированное, роботизированное и гибко-автоматизированное производства сварных, позволяющее достигать высокий уровень их качества при резком сокращении длительности производственного цикла, снижении себестоимости и росте производительности труда;

- надёжные и точные неразрушающие методы контроля, осуществляемые с помощью высокотехнологических приборов, автоматизированных контрольно-измерительных средств устраняющих влияние субъективного фактора на качественную оценку, позволяющих не только оперативно выявлять дефекты и брак, но и определять причины их возникновения;

- прогрессивная и инновационная система достижения высокого уровня качества сварных конструкций и их элементов с использованием сварных элементов с показателями качества на уровне мировых достижений и с повышением их на перспективу;

- многофакторный и многоуровневый технико-экономический анализ, позволяющий с помощью современных компьютерных технологий на основе использования математико-статистических методов с достоверностью определять возможную экономию средств, в результате повышения качества сварных конструкций;

- передовой опыт по аттестации сварных конструкций, установлению категории их качества, аттестованных с присуждением государственного знака качества, а так же опыта сварочных цехов в подготовке сварных конструкций к госприёмке.

Так же хотелось бы отметить, что на качество выпускаемой продукции заметное влияние оказывает оздоровление условий труда в целом на производстве. В последние годы в этом направлении достигнуты заметные успехи. Этому в значительной мере способствовало широкое внедрение инновационных автоматических видов сварки, качественно изменивших содержание и характер труда.

Решение на современном уровне задач по коренному улучшению методов организации сварочного производства в радиоэлектронной промышленности может быть достигнуто лишь при глубоком учёте вопросов инновационного развития на стадии создания новой сварочной техники, проектирования, модернизации и реконструкции сборочно-сварочных цехов и участков сварки.

## **Технология интеграции трансформаторов в печатную плату**

Игнатенко А.В., Исаев В.В.

Научный руководитель – Можаров В.А.

МАИ, г. Москва

Индустрия авионики всегда развивалась в направлении увеличения производительности и функциональности, при этом размеры устройств год от года уменьшались. Однако распространенной проблемой остается

использование моточных изделий, таких как дроссели, трансформаторы и катушки индуктивности, чьи габаритные размеры зачастую существенно превышают габаритные размеры остальных элементов и даже подложки.

Использование планарных индуктивных элементов совместно с высокочастотным преобразованием энергии, позволило (по сравнению с традиционными намоточными элементами):

- Уменьшить высоту трансформаторов при одинаковом эффективном объеме ( $V_e$ ).
- Уменьшить потери в проводниках.
- Улучшить тепловые характеристики.
- Добиться увеличения значения коэффициента связи обмоток.
- Обеспечить высокую повторяемость параметров.
- Увеличить эксплуатационную надежность трансформаторов.

В работе, для развития вышеназванных преимуществ, рассматривается интегрирование индуктивных элементов во внутренние слои многослойной печатной платы (МПП). Основной концепцией данной технологии является размещение сердечника внутри платы, в то время как в качестве обмотки выступают проводящие дорожки и металлизированные отверстия на поверхности ПП.

Очевидным преимуществом использования встраиваемых в МПП трансформаторов является уменьшение их высоты при сохранении прежнего уровня полезного объема, что ведет к улучшению тепловых характеристик элементов за счет снижения темпа роста их температуры, а также увеличения трассировочного пространства МПП.

## **Бионические протезы – инновация 21 века**

Казеннов Д.С., Ковалева Я.В.

Научный руководитель – Глоткина А.А.

МАИ, г. Москва

Современный 21 век поражает количеством катастроф, заболеваний, в ходе которых многие люди становятся инвалидами, теряя конечности. Еще полвека назад ампутация была практически приговором и люди оставались инвалидами на всю оставшуюся жизнь. Но ярким примером является судьба советского летчика Гуго Петерса. В 16 лет он лишился ноги, но неистовое желание летать пересилило все невзгоды. Петерс стал первым в истории советским летчиком, летавшим на протезах. Сейчас протезирование также спасает судьбы людей. Стоит вспомнить хотя бы Оскара Писториуса, который благодаря протезам не расстается с легкоатлетической карьерой!

Самые сложные операции относятся к протезированию тазобедренного сустава. Но, к сожалению, эти операции проводятся довольно часто. На высоком уровне развитие тазобедренного протезирования идет в Германии, в России – это лишь новая веха в протезировании.

Однако протезирование на уровне коленного сустава активно развивается и в нашей стране. Сама технология представляет собой бионический протез, которой действует благодаря импульсам, поступающим от культуры

электроимпульсам. Производством бионических протезов активно занимается компания ОТТО БОК, расположенная в пределах столицы.

Несмотря на активный скачок развития протезирования, и появления так называемых, умных протезов, ученые надеются и на дальнейшее развитие медицинской отрасли. Стоят цели о разработке протезов, которые смогут помочь страдающим болезнью Альцгеймера и также потерявшим зрение. Самым сложным считается создание протеза почки с повторением всех ее уникальных свойств.

Таким образом, можно резюмировать, что протезы являются настоящей инновацией 21 века. Они не просто облегчают жизнь людей, они ее просто спасают!

## **Применение принципов теории приоритета в инновационных разработках**

Клычева М.В.

Научный руководитель – Федоров В.К.

МАИ, г. Москва

Инноватика как деятельность и система.

Успех в изучении теоретических и методологических проблем инноватики как новой теоретической и прикладной деятельности и системы формирования и продвижения новых идей определяется, прежде всего, осмыслением логики ее развития, точнее исследования закономерностей построения методологии научного познания с целью выявления звуконов его развития и разработки на этой основе всей логики науки.

Теоретические и методические принципы построения систем управления качеством.

Теоретические принципы обеспечения качества в инновационных производственных процессах.

Повышение качества является одной из главных целей инновационных процессов, так как позволяет обеспечить как высокое качество сложных изделий машинно-, приборостроения и другой продукции, так и решение задач повышения эксплуатационной надежности, производительности и качества труда операторов в различных системах управления и производства, то есть обеспечить инновационное состояние производства.

Теоретические и организационно-методологические принципы построения систем управления качеством в инновационных производственных процессах.

Создание наукоемких изделий высокого качества (с высокими потребительскими свойствами) является главной идеологией инновационных процессов в производстве.

Взаимный потенциал категорий «количество» и «качество» в инновационных процессах.

При рассмотрении взаимного потенциала категорий «количество» и «качество» необходимо помнить, что это значимые категории философии, отражающие важные стороны объективной действительности.

Теория приоритетов.

Понятие теории и методики приоритетов.



В последнее время большой интерес специалистов получают методы теории приоритетов. Они позволяют определить порядок разработки и освоения новой техники и технологии. Предпочтение отдается инновационным идеям и методам решения, которые принимаются с учетом прошлого опыта. Любой инновационный процесс разработки или производства может иметь свою систему приоритетов в зависимости от целевых задач инновационного развития.

Сущность теории приоритетов.

Важное направление в изучении теории приоритетов – выявление естественных реальных факторов, способствующих или препятствующих проявленным категориям и средств приоритетов.

## **Основные проблемы проектирования усилителей мощности для передатчиков РЛС**

Козлов. А.Ю.

Научный руководитель – Крючков В.Л.

МАИ, г. Москва

В данный момент в сфере государственной обороноспособности является актуальной задача модификации и оптимизации РЛС. В целях развития данной области принимаются необходимые меры, в том числе усовершенствование методов разработки и проектирования конструктивно важных составляющих. Для качественно нового этапа развития РЛС требуется пересмотреть всю техническо-конструктивную базу разработки элементов, одним из которых является передатчик.

Для определения направления улучшений необходимо анализировать принципы работы всех составляющих передатчика для поиска оптимальной модификации. Важнейшим устройством в передатчике РЛС является именно усилитель мощности, так как именно его параметры задают качественные характеристики передатчика. При проектировании именно этой части передатчика возникают определенные проблемы, связанные с современными потребностями сферы.

В соответствии с постоянно возрастающими требованиями современные конструкции радиолокационных станций используют все более широкие полосы частот и более сложные системы модуляции. Именно поэтому важным стал вопрос об оптимизации усилителей мощности и улучшения эффективности путем поиска новых конструктивных решений. Основными проблемами на пути развития усилителей мощности являются как обеспечение оптимизации цепей при проектировании, так и выбор подходящих элементов, который позволили бы обеспечить заданные требования к усилителю мощности.

Усилитель мощности является центральным функциональным узлом, который обеспечивает основное усиление сигнала по мощности, а в определенных ситуациях формирование импульсов из непрерывных колебаний. Основными факторами, которые влияют на выбор конструктива усилителя мощности, могут быть как требуемый закон модуляции, требования к выходной мощности или же возможности по перестройке частоты.

Необходимо искать новейшие пути модификации разработки радиопередатчиков, так как параметры радиопередающего устройства

определяют такие важнейшие тактические характеристики РЛС, как дальность обнаружения и сопровождения, помехозащищенность, точность определения координат цели и разрешающую способность.

## **Инновации в технологических процессах**

Козорезова Е.Н.

Научный руководитель – Зубеева Е.В.

МАИ, г. Москва

Инновации технологических процессов начинаются со сбора информации о рынке, потребительском спросе, возможностях конкурентов, требованиях законодательства в этой области и пр. Необходима информация и о новых разработках, используемых на других предприятиях, например, о некоей новой технологии или о применении новых методов организации производства. На основании обработки и использования подобной информации повышается компетентность организации в производстве продукции или услуг.

Как бы успешно ни функционировало предприятие, но если его руководство не нацелено на освоение новых технологий, позволяющих производить новые виды продукции более высокого качества и с наименьшими затратами, оно через определенный промежуток времени рискует стать неконкурентоспособным. В таких условиях ни одно предприятие не сможет сколько-нибудь долго существовать, не внося заметных усовершенствований в свою работу.

В связи с этим инновационная деятельность становится главным условием выживания предприятия в условиях рынка. Целенаправленное осуществление инновационной деятельности дает предприятию существенные преимущества по сравнению с конкурентами и увеличивает, в конечном счете, прибыльность его деятельности.

Для успешного осуществления инноваций необходимы адаптация к требованиям рынка, технологическое превосходство товара, стремление к выпуску новых товаров, использование оценочных процедур, благоприятная конкурентная среда, соответствующие организационные структуры. Негативное воздействие на инновации оказывают поверхностный анализ рынка, нехватка финансовых и материальных ресурсов, производственные и коммерческие проблемы.

Как свидетельствует мировой опыт, в условиях современной экономики, основанной на знаниях, альтернативы инновационному пути развития просто нет. Создание, внедрение и широкое распространение новых продуктов, услуг, технологических процессов становятся ключевыми факторами роста объемов производства, занятости, инвестиций, внешнеторгового оборота. Именно здесь кроются наиболее существенные резервы улучшения качества производимых продуктов (услуг), экономии трудовых и материальных затрат, роста производительности труда, совершенствования организации производства и повышения его эффективности. Все это, в конечном счете, предопределяет конкурентоспособность организаций и выпускаемой ими продукции (оказываемыми ими услугами) на внутреннем и мировом рынках, улучшение социально-экономической ситуации в стране в целом.

Для успешной инновационной деятельности на территории России необходимы большие объемы инвестиционных вложений, поскольку многие предприятия и организации самостоятельно не могут управлять своим инновационным развитием без дополнительных вложений из-за морально устаревшего оборудования и отсутствия высококвалифицированных специалистов в этой области.

## 85 лет ГИРД

Крючков В.Л., Крючкова Е.Н.  
Научный руководитель – Федоров В.К.  
МАИ, г. Москва

В наступившем 2016 году исполняется 85 лет со дня основания группы изучения реактивного движения. Таких групп было создано две: ленинградская и московская. Председателем МосГИРД был С.П. Королев, в нее входили такие члены как Н.И. Ефремов, Н.А. Железников, Л.К. Корнеев, Ф.А. Цандер, К.К. Федоров и др.

В 1934 году ГИРД была объединена с Газодинамической лабораторией (ГДЛ) в Реактивный научно-исследовательский институт.

Группой МосГИРД был создан целый ряд экспериментальных небольших двигателей, включая двигатель 10 для ракеты ГИРД-Х.

Помимо научно-экспериментальной деятельности, активисты МосГИРД проводили лекционные занятия, направленные на популяризацию теории реактивного движения.

В настоящее время в институте МАИ работает человек, который очень хорошо знает о первых шагах теоретического и прикладного ракетостроения, это Заведующий кафедрой «Управление инновациями», д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ – Федоров Вадим Константинович. Его отец Федоров Константин Константинович был одним из тех, кто состоял в ГИРД и стоял у истоков развития реактивного движения.

Практически каждый участник группы в своей жизни проявил свои незаурядные инженерные творческие возможности.

Не стал исключением и Федоров К.К. На его счету, помимо прочего, есть два крупных запатентованных открытия: «Станок для шлифовки и доводки лекальных шаблонов и скоб» от 26 января 1946 и «Метод получения пространственных трубопроводов». Оба открытия имели большое теоретическое и практическое значение.

Метод получения пространственных трубопроводов основан на теории получения произвольных геометрических тел под действием деформации – на теоретическом предположении, что простое геометрическое тело образует целый ряд сложных производных геометрических тел, образование которых согласуется с геометрическими законами, имеющими плоские и пространственные направляющие в зависимости от направления действия деформации, действующих на простое тело одновременно.

Метод, основанный на получении производных геометрических тел трубопровода (доступных для обмера по координатам XYZ), с помощью

моделирования гибким моделям трубопровода с последующим получением чертежа или замерами для производства трубопровода по допускам.

Этот метод дает возможность:

- получить модель трубопровода с унифицированными радиусами геометрически правильной формы и снятие с этой модели шаблонов;
- произвести методами объемного макетирования обмер модели трубопровода с занесением размеров в чертеж;
- получение чертежа путем масштабного фотографирования модели трубопровода в трех плоскостях;
- произвести изготовление труб по чертежам с допусками;
- производит любую компоновку фланцев и отрезков на моделируемой трассе трубопровода.

### **Понятие инновационной инерции развития предприятия**

Крючков В.Л., Крючкова Е.Н.

Научный руководитель – Федоров В.К.

МАИ, г. Москва

В инновационных системах, при оценке потенциала их развития, следует специально формулировать понятие инновационной инертности, с целью уменьшения его влияния на протекающие процессы на предприятии, так как инерция развивается свободно и естественно. Таким образом, важнейшей инновационной характеристикой предприятия выступает инновационный потенциал.

Рассматривая различные факторы процесса взаимодействия инновационных потенциалов предприятия можно утверждать, что в процессе инновационного развития первым происходит информационные взаимодействия в структуре инновационного процесса. Именно через информационные каналы проходит информация о возможных инновационных событиях, проблемах, изменениях в технологии и организации производства. Эта информация вступает во взаимодействие с трудовыми ресурсами, технологическими проблемами и т.п. предприятия, направленными на решение инновационных задач.

Подлинным первоисточником инноваций в научно-производственных объединениях и на крупных предприятиях ОПК, является научная новизна идей развития, которая определяет в итоге успех инновационного процесса. Информационные функции не искажаются и не задерживаются при информационных передачах – они наоборот активно вступают во взаимодействие с инновационными процессами, проходящими на предприятии, выполняя одну из главных ролей инновационного развития. Часто вводится понятие «инновационного лага», как временного интервала с момента возникновения инновационной идеи до момента успешного получения прибыли. От величины этого показателя зависит результативность всего инновационного процесса.

В инновационных процессах информация передается в физическом виде, т.е. возникают и функционируют «информационные потоки». Реализация инновационной научной идеи, превращение ее собственно в «инновацию»,

требует огромных затрат ресурсов предприятия, таким образом, можно говорить об экономической эффективности инновации.

Необходимо отметить следующие основные проблемы, возникающие при создании внешнего информационного поля.

- недостоверность информации. Часть информации представляется сомнительной, а в ряде случаев и намеренно ложной;
- неполнота информации. Владелец информации специально или намеренно может предоставлять не всю информацию, а какую-то ее часть;
- противоречивость информации. Информация различных источников может быть противоречивой, при этом затруднительно выявить истинные данные;
- избыточность информации. Для выявления необходимой информации необходимо затрачивать значительные усилия;
- разнородность информации. Информация от разных источников поступает в различном формате. Для унификации информации в целях ее дальнейшего хранения и обработки по единой технологии, ее необходимо конвертировать.

Формирование и поддержание в хорошем состоянии информационного поля является непростой задачей, которая может быть решена при условии нормального функционирования информационных потоков предприятия с использованием современных автоматизированных информационных систем управления.

### **Разработка методов управления на основе календарных планов реконструкции ТРЛП ДН ФСР и КВП**

Курчавова А.Н.

Научный руководитель – Кислуха А.Е.

МАИ, г. Москва

В рамках реализации федеральной целевой программы (ФЦП) совершенствования федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства (ФСР и КВП) на основе утвержденной концепции ФЦП предусматривалось три направления деятельности:

- Комплексные работы по совершенствованию ФСР и КВП и разработке проектной документации по созданию фрагментов ФСР и КВП в различных регионах страны.
- Реконструкция объектов ЕС ОрВД в интересах ФСР и КВП.
- Реконструкция трассовых радиолокационных позиций двойного назначения ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» для выполнения ими функций двойного назначения - ТРЛП ДН.

В ходе реконструкции ТРЛП ДН осуществлялся большой объем строительных работ, замена оборудования, применение новых технологических решений по обработке и передаче информации и т.д.

Важнейшим условием выполнения проектов являются сроки выполнения работ. В этой связи одним из способов управляющего воздействия и реализации целей проектного управления является календарное планирование.

Разработку методов управления на основе сетевых графиков и расчета критического пути целесообразно проводить согласно международному стандарту РМВОК. В данном стандарте управление календарными планами проекта состоит из процессов, необходимых для обеспечения своевременного выполнения сроков:

- Планирование управления расписанием – определение политики, а также порядок утверждения документации по планированию, разработке, управлению, выполнению и контролю расписания проекта.
- Идентификация и документирование конкретных действий, необходимых для достижения целей проекта реконструкции.
- Определение последовательности операций – определение взаимодействия между операциями проекта реконструкции и последующее их документирование.
- Оценка ресурсов – определение количества и качества материалов, человеческих ресурсов, оборудования, необходимых для выполнения каждой операции.
- Оценка длительности операций – оценка продолжительности времени, необходимого для выполнения каждой операции с учетом оценки стоимости ресурсов.
- Разработка расписания – описание содержания проекта путем анализа последовательных операций, их длительности, потребности в ресурсах и с учетом ограничения времени.
- Контроль расписания – мониторинг текущего статуса операции проекта реконструкции с целью проведения анализа отклонения по срокам.

## **Системы безопасности атомных электростанций (АЭС)**

Мануйлова М.А.

Научный руководитель – Чвёрткин А.Г.

МАИ, г. Москва

Атомные электростанции (АЭС) являются сложными и опасными объектами энергетической промышленности. Технические неисправности и ошибки обслуживающего персонала могут привести к серьёзным последствиям: повреждению технических помещений электростанции, повреждению реактора, остановке или уничтожению электростанции. Такие происшествия влекут за собой проблемы для тысяч и тысяч предприятий, а также для гражданского населения в виде отсутствия электроэнергии, а в худшем случае ещё и негативного влияния ионизирующего излучения на их организмы и окружающую среду.

Именно во избежание возникновения данных чрезвычайных ситуаций для АЭС разрабатывались (разрабатываются и сейчас) специфические системы безопасности, позволяющие либо предупредить и вовремя устранить источник опасности для электростанции, либо остановить разрушительные процессы во время работы реактора, либо – в крайнем случае, - ликвидировать последствия аварии.

Сейчас, когда атомная энергетика преподавала отечественным специалистам незабываемый урок в виде аварии на Чернобыльской атомной электростанции

(ЧАЭС), когда очевидны и ошибки персонала, и халатность, проявленная ответственными лицами ещё на стадии проектирования и строительства, коснувшаяся, в том числе и системы безопасности, когда восстановлена хронология событий той роковой ночи 26 апреля 1986 года (операторы отключили ряд аварийных систем) – самое время задуматься об обеспечении безопасности процессов и труда на АЭС. Однако, несмотря на уроки прошлого, даже в наши дни нередки происшествия на электростанциях (самое известное датировано 11 марта 2011 г. на АЭС «Фукусима-1» в Японии). Кроме того – последующие проверки выявляли на некоторых энергетических предприятиях нарушения техники безопасности и техники эксплуатации оборудования станций, в том числе – реакторов.

Только благодаря отлаженной и бесперебойной работе аварийных систем безопасности инцидент, сродни трагедии печально известной ЧАЭС, ещё ни разу не повторялся. Важно, что системы безопасности на современных электростанциях не являются устаревшими – они развиваются и улучшаются.

Данное исследование направлено на изучение аварийных систем безопасности, функционирующих на отечественных электростанциях, с учётом новых реалий и новых вызовов. В нём рассматриваются виды и типы аварийных систем, принципы их действия и работы, а также приведена хронология развития аварий в сложных системах.

Очевидно, что будущее энергетики – за атомными электростанциями. АЭС являются одними из наиболее экологически чистых энергетических предприятий по сравнению с теми же теплоэлектростанциями (ТЭС), загрязняющими окружающую среду продуктами горения топлива и пеплом. Разработаны и вводятся в эксплуатацию новые типы реакторов, более совершенные и мощные по сравнению с самым распространённым сейчас реактором РБМК-1000, эксплуатируемым уже долгие годы. Но чем сложнее энергетический процесс, чем сложнее производство – тем серьёзнее необходимо подходить к вопросам безопасности. Аварийные системы АЭС – крепкая гарантия того, что атом был и останется «мирным».

## **Разработка методики совершенствования проведения НИОКР за счёт выявления потерь в системе разработки продукции**

Михайлова И.С.

Научный руководитель – Епанешникова И.К.

МАИ, г. Москва

В условиях рынка, ориентированного на потребителя, производителю приходится снижать себестоимость товаров, а также непрерывно предлагать, выпускать принципиально новые конструкции и модификации изделий, а, следовательно, разрабатывать новые технологии изготовления. Конкуренция заставляет сокращать сроки разработки, передачи в производство и вывода на рынок изделий с лучшими характеристиками, совершенствовать предлагаемые услуги, чтобы обеспечить устойчивое развитие организации.

Известно, что разработка продукции – обеспечение ее новыми потребительскими качествами – является сложным процессом, включающим этапы научно-исследовательской (НИР) и опытно-конструкторской (ОКР) работ.

Сокращение сроков разработки изделия с целью ускорения вывода его на рынок является серьезной и весьма актуальной задачей.

Проведенный анализ этапа проектирования изделия на одном из современных приборостроительных предприятий в свете применения системы «бережливой разработки продукции» показал, что одним из путей в решении такой задачи является сокращение потерь НИР и ОКР. К таким потерям можно отнести:

- перепроизводство информации, т. е. той информации, которая не является необходимой для разработки конкретного изделия;
- излишняя обработка информации, т. е. обработка информации, которая изначально не является обязательной или необходимой (например, несовершенство системы и ошибки проектирования, повторная разработка компонентов изделия вместо возможного использования готовых деталей, и пр.);
- потери при передаче информации, т. е. потери, возникающие вследствие перемены ответственности, преодоления структурных барьеров, прерывности работ;
- запасы информации, т. е. существование устаревающей информации, которая стоит в очереди на обработку, что дестабилизирует процесс разработки, приводя к тому, что все больший массив информации должен находиться в запасе;
- корректировка информации, т. е. потери, связанные с исправлением информации, списанием и последующей полной переработкой информации проверкой ее корректности;
- необязательное перемещение работников, т. е. перемещение персонала в целях получения информации из-за несовершенных информационных систем, а также нерациональное расположение подразделений;
- ожидание, обусловленное получением всевозможных разрешений и согласований, поступления результатов испытаний, получения информации с предыдущих этапов работ и других порций информации.

Необходимым организационным условием эффективности постановки и проведения НИР и ОКР является выявление ключевых моментов в процессе управления системы с надежной обратной связью, которая исключает переход к следующему шагу работы в случае отсутствия необходимых условий к успешному решению задач на данном этапе.

### **Стохастическая модель процесса наземного обслуживания в аэропорту «Курумоч»**

Неметлаева Ю.С., Фролова А.А.

Научный руководитель – Романенко В.А.

СГАУ им. С.П. Королёва, г. Самара

Разработана статистическая модель технологического процесса наземного обслуживания воздушных судов (ВС) и их загрузки в аэропорту. Источником исходных данных при формировании модели послужила статистика, накопленная в течение четырех лет базой данных производственной информационной системы международного аэропорта Курумоч (Самара), являющегося крупнейшим аэропортом Поволжья. Использованная статистика



включила данные по всем без исключения технологическим операциям обслуживания более 7000 оборотных рейсов, такие как плановое и фактическое время начала и окончания операции, задействованные для ее выполнения аэропортовые ресурсы и др.

Детальный анализ описанной статистики и технологии обслуживания ВС, принятой в аэропорту, позволил сформировать обобщенные сетевые графики, выявив в них наиболее важные операции, влияющие на общую продолжительность обслуживания рейса в аэропорту. При этом учитывались принадлежность обслуживаемого ВС к определенной группе, а также категория перевозки (внутренняя или международная). По этим признакам все рейсы были разбиты на пять категорий, для каждой из которых были определены важнейшие аэропортовые технологические операции, такие как: регистрация и досмотр пассажиров и багажа, подача и отгон трапа, доставка и посадка пассажиров, заправка ВС авиатопливом, оперативное техобслуживание ВС и др.

Выполненный статистический анализ данных позволил получить ряд (около 50) эмпирических распределений времени выполнения указанных операций. С использованием формализма проверки статистической гипотезы по критерию согласия Пирсона [1] была исследована возможность сглаживания каждого из эмпирических распределений одним из трех теоретических распределений: гамма-, логарифмически-нормальным и Вейбулла. Показана принадлежность подавляющего большинства исследуемых распределений к одному или нескольким из трех названных законов.

Выявлены отдельные технологические операции, продолжительность которых не может быть аппроксимирована одним простым законом. Для них удовлетворительное сглаживание получено благодаря использованию смеси нескольких распределений.

Таким образом, результатом работы стала детальная стохастическая модель технологических процессов обслуживания ВС, пассажиров и багажа в аэропорту Курумоч. Предполагается компьютерная реализация разработанной модели на базе системы имитационного моделирования AnyLogic. Разработанная модель может быть использована для решения задач оптимизации параметров аэропорта, оценки эффективности его функционирования, имитационного моделирования технологических процессов аэропорта и других практически важных задач.

## **Изготовление технологической оснастки для электроэрозионной и электрохимической обработки методом быстрого прототипирования**

Норошьян М.В.

ТулГУ, г. Тула

В настоящее время требуется изготовление электродов инструментов для электроэрозионной и электрохимической обработки со сложными профилями, и в большинстве случаев необходимые геометрические параметры не могут обеспечить традиционные методы изготовления электрода инструмента (далее ЭИ), например механическая обработка. Так же использующийся на данный момент метод изготовления ЭИ обладает большой трудоемкостью и

стоимостью. В связи с чем, было предложено, для изготовления ЭИ использовать метод быстрого прототипирования с последующей металллизацией.

Существует метод высокоскоростного электролитического формования (ВЭФ) позволяющий изготавливать различную технологическую оснастку, в том числе со сложно фасонной геометрией, основанный на применении мастер - моделей (прототипов) и высокоскоростном электролитическом осаждении осадка на поверхности прототипа. Вследствие того, что технологическая оснастка изготавливаются в штучном и единичном производстве, метод ВЭФ хорошо подходит для изготовления технологической оснастки, в том числе оснастки со сложно фасонной геометрией. Несмотря на то, что прототипы изготавливаются в единичных экземплярах, это является достаточно трудоемкой, сложной и затратной задачей, если прототип должен обладать сложнофасонной геометрией и/или микрорельефом на поверхности. Поэтому существует необходимость в разработке новой методики, позволяющей изготавливать прототипы со сложнофасонной геометрией и/или микрорельефом на поверхности с большей производительностью, меньшей трудоемкостью, а также расширяющая технологические возможности в получении сложнофасонных элементов. Одним из путей изготовления сложнофасонных поверхностей и деталей со сложной пространственной формой является применение методов прототипирования для их изготовления, относящихся к аддитивным технологиям. Аддитивные технологии обладают рядом особенностей, которые позволяют создавать объекты (модели) сложной пространственной формы, обладающие макро и/или микрорельефом на поверхности. Ряд методов прототипирования (порошкового спекания) позволяют получать токопроводящие объекты, что позволяет непосредственно применять такие объекты в качестве ЭИ. Другие методы прототипирования позволяют получать не токопроводящие объекты, что вызывает необходимость в их металллизации для применения в качестве оправок, но данные методы обладают меньшей стоимостью, необходимой на свою реализацию.

Для начала было принято использовать прототипы полученные методом FDM печати (Fuseddepositionmodeling) печати, который заключается в послойном нанесении расплавленного материала. Данный метод ограничен в точности получаемых прототипов, поэтому в дальнейшем планируется использовать для изготовления прототипов метод SLA печати (stereolithography). Метод стереолитографии обладает намного большей точностью получаемых прототипов.

Различные методы прототипирования обладают различной производительностью и точностью. Таким образом, можно утверждать, что аддитивные технологии обладают широким спектром возможностей, а их применение весьма перспективно.

# **Научно-методический аппарат процесса эксплуатации кантователя с электромеханическим приводом на базе планетарной роликвинтовой передачи**

Носов А.С.

Научный руководитель – Сова А.Н.

Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» – «КБ «Мотор»; МАДИ, г. Москва

В настоящее время повышается значимость обеспечения необходимой готовности к эксплуатации монтажно-стыковочного стенда для применения и расширения его функциональных возможностей при комплексных испытаниях. Актуальным является унификация, продление сроков эксплуатации, повышение точности и надежности исполнительных механизмов.

При этом повышается значимость разрешения противоречия между необходимостью обоснования продления сроков эксплуатации специального монтажно-стыковочного стенда с учетом унификации для использования космических аппаратов различного типа и научно-технического подхода математического моделирования процесса эксплуатации кантователя с использованием электромеханического привода на базе новой планетарной роликвинтовой передачи, выполненной по разработанной схеме для модульной замены.

С целью разрешения противоречия были получены следующие научные результаты:

- математическая модель планетарной роликвинтовой передачи высокой надежности и точности функционирования, выполняющая заданные динамические и статические требования, способной работать в широком диапазоне скоростей;
- математическая модель электромеханического привода на базе планетарной роликвинтовой передачи выполненная по разработанной схеме для модульной замены на кантователе по истечению срока эксплуатации;
- математическое моделирование процесса эксплуатации управляемого электромеханического привода с применением планетарной роликвинтовой передачи повышенной точности и надежности функционирования;
- обоснованный научно-методический подход к повышению точности воспроизведения заданного закона движения агрегата монтажно-стыковочного оборудования при испытаниях крупногабаритных изделий большой массы ракетно-космических комплексов с ракетным носителем сверхтяжелого класса с применением электромеханических приводов на базе планетарной роликвинтовой передачи;
- методика обоснования выбора структуры, состава и параметров электромеханического привода кантователя космической головной части ракеты с применением планетарной роликвинтовой передачи повышенной точности и надежности функционирования;
- результаты экспериментальных исследований управляемого электромеханического привода с применением планетарной роликвинтовой передачи повышенной точности и надежности функционирования.

Реализация полученных результатов позволяет сократить расходы эксплуатации специального монтажно-стыковочного оборудования с учетом

особенностей функционирования, что дает возможность устанавливать на один кантователь космические аппараты любого типа посредством применения переходных элементов, что способствует увеличению объема испытаний в заводских условиях и частичной унификации стенда и соответствует условиям безопасности.

## **Роль инноватики в решении экономических проблем в ракетно-космической промышленности**

Нуруллина А.Р.

Научный руководитель – Прохорова Е.П.

МАИ, г. Москва

Инновации существуют много тысяч лет. Наши предки занимались эпохальными, или базисными, инновациями, изменившими лицо общества, продвинувшими его вперед. И это было задолго до того, как сформировалась наука и обособился небольшой слой занимавшихся ею ученых. Поэтому говорить о том, что наука – единственный источник инноваций, было бы опрометчиво. В последние столетия, когда произошел инновационный взрыв индустриальной эпохи, далеко не всегда ученые были инициаторами крупнейших инноваций. Инициаторами инноваций были предприниматели (например, Форд), политические и государственные деятели, архитекторы, художники, музыканты.

Современная ракетно-космическая промышленность России (РКП) находится на переломном этапе своего развития. С одной стороны, существует многолетний успешный опыт осуществления проектов по большинству направлений космической деятельности, создана обширная производственная и научно-исследовательская инфраструктура. С другой – переход на рыночные отношения оказал серьезное негативное влияние на отрасль, «невидимая рука рынка» оказалась не способна решить возникающие в современной экономике проблемы.

Проблемы инновационной деятельности становятся в последние годы всё более актуальными. Это является отражением возрастающего понимания обществом того, что обновление всех сфер жизни невозможно без нововведений в производство, управление, финансы. Именно инновации ведут к обновлению рынка, улучшению качества и расширению ассортимента товаров и услуг, созданию новых методов производства, сбыта продукции, повышению эффективности управления.

Актуальность темы исследования так же обусловлена тем, что инновации в современной экономике являются мощным фактором роста ее конкурентоспособности. Сегодня конкурентоспособность - одна из самых влиятельных концепций в экономике и политике, поскольку способствует развитию социально-ответственного бизнеса во благо процветания каждой нации и всего мира. Весь мир становится аренной деятельностью крупных корпораций, углубляется международное разделение труда, многократно возрастают объемы, динамика и значение внешней торговли и международных экономических отношений. И все это происходит на основе роста

конкурентоспособности экономики, плотью и кровью которой являются инновации.

В данной работе представлены современный понятийный аппарат инновационной деятельности; жизненный цикл инновации; этапы и модели инвестиционного процесса, включая диффузию инноваций; критерии оценки эффективности инновационных проектов; инвестиционный расчет по инновационному проекту.

## **Формирование трудовых коллективов при выполнении проектов совершенствования объектов в ФСР и КВП**

Оленина О.А.

Научный руководитель – Кислуха А.Е.

МАИ, г. Москва

Современный этап развития России связан с экономическими санкциями, когда многие страны Запада буквально ополчились на нашу страну. Как никогда актуальным является вопрос обеспечения неприкосновенности государственных границ не только на земле, но и в воздухе.

Проблема обеспечения безопасности воздушного пространства остро встала еще в 90-х годах прошлого столетия, именно тогда было принято решение о создании единого радиолокационного поля страны в рамках Федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства Российской Федерации (ФСР и КВП).

При создании ФСР и КВП, как нового масштабного государственного суперпроекта, используются основополагающие методы и правила проектного менеджмента. Сегодня всеми специалистами признается командный метод – один из наиболее продуктивных способов организации людей в работе над проектом. Для того чтобы минимизировать риски, обеспечить четкую реализацию замысла проекта требуется максимально ответственно подходить к созданию команды для реализации проекта.

Ключевое значение имеет выбор и назначение руководителя проекта реконструкции объекта ФСР и КВП, именно на него возлагается вся ответственность за реализацию проекта, которым он будет управлять. В таком крупномасштабном и важном проекте, как ФСР и КВП, руководитель проекта должен иметь большой опыт практической деятельности создания объектов ФСР и КВП. Для того, чтобы сосредоточить основное внимание в своей работе на наиболее ответственных элементах проекта, он должен иметь заместителей по отдельным направлениям деятельности.

Каждый из заместителей имеет свои функциональные обязанности, выполняя которые он высвобождает руководителю проекта время для принятия наиболее сложных оперативных решений.

Основные задачи и функции руководителя проекта при выполнении проектов совершенствования объектов в ФСР и КВП:

- Организация и выполнения работ (планирование деятельности по проекту; контроль непосредственного выполнения; нацеленность на конечный результат).

- Создание проектной команды (подбор участников; рациональное распределение между ними функций и ответственности; создание благоприятного психологического климата в коллективе; необходимость знания потребностей команды для того, чтобы успешно определять факторы мотивации, которые в максимальной степени удовлетворят потребности участников проектной команды).
- Поддержание стабильных отношений между всеми участниками проекта совершенствования объектов в ФСР и КВП.
- Руководство командой (быстрое реагирование и устранение проблемных ситуаций; осуществление контроля работы членов команды; урегулирование конфликтных ситуаций).
- Принятие оптимальных решений (разработка совместных решений с участием членов команды позволяет принимать качественные и правильные решения, и повышает мотивацию выполнения работ).
- Подведение итогов (оценка результатов осуществления проекта, на основе периодического мониторинга).
- Предвидение проблем и организация их предотвращения (разрешения).

## **Применение маркетинговых технологий на предприятиях ОПК**

Сафронов Е.И.

Научный руководитель – Федоров В.К.

МАИ, г. Москва

### **Маркетинг**

Маркетинг - технология нового типа, которая позволяет оптимизировать технические процессы в целях достижения высокого качества и надежности изделий.

Маркетинг - глубоко структурирован, как технологическая идея, что позволяет применить методы менеджмента в технологиях различного типа.

Цели маркетинга:

- увеличение дохода;
- рост объемов продаж;
- увеличение доли рынка;
- создание и улучшение имиджа, известности предприятия и его продукции.

Оборонно-промышленный комплекс

Оборонно-промышленный комплекс (ОПК) - совокупность научно-исследовательских, проектно-конструкторских, испытательных организаций и производственных предприятий, выполняющих разработку и производство военной и специальной техники, амуниции, боеприпасов и т. п. для государственных силовых структур и на экспорт (около половины продукции), а также гражданской продукции в рамках конверсии (свыше 40%).

## Программа выбора предпочтений

Сенаторова Е.О.

Научный руководитель – Юдин В.В.

РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск

Процесс разработки технических устройств, как правило, сопряжен с необходимостью выбора одного из известной совокупности технических решений. Неправильный выбор приводит к снижению технической эффективности устройства разработки, а в конечном итоге – к снижению экономической выгоды от его практического использования.

Целью данного исследования является разработка алгоритма сравнения технической и экономической эффективности устройств, выполняющих одинаковую функцию, но имеющих различную техническую реализацию. Заданной совокупности из  $m$  классов устройств ставится в соответствие последовательность оценок, характеризующих степень предпочтений при выборе.

Любое техническое устройство характеризуется совокупностью некоторых параметров, каждый из которых должен удовлетворять определенным условиям. Следовательно, необходимо рассмотреть области допустимых значений выходных параметров конкретных устройств. Область числовых значений выходных параметров для конкретного  $r$ -го класса устройств  $G_r$  должна принадлежать области допустимых значений  $G$ . Положение области  $G_r$  внутри области  $G$  характеризует запас надежности функционирования устройства. Поэтому оно может служить критерием предпочтения.

В ходе данного исследования была сформирована матрица запасов. Она образована совокупностью значений, характеризующих степень уязвимости устройства. Все элементы этой матрицы являются неотрицательными числами.

Технические устройства могут быть охарактеризованы набором критериев. Для этих критериев предложены различные числовые выражения: максиминный, совокупный и затратный.

Максиминный критерий предполагает получение гарантированного запаса, при котором из всех наихудших вариантов, определяемых по параметрам с минимальным запасом, выбирают наилучший, в смысле наибольшего минимального запаса.

Совокупный критерий предполагает суммирование оценок, характеризующей запасы надежности по каждому из параметров. При этом учитывается то обстоятельство, что каждый из параметров может иметь три вида ограничений: ограничения сверху, ограничения снизу и двухсторонние ограничения.

Затратный критерий предполагает знание функций затрат по каждому из параметров, которые устанавливают аналитическую связь дополнительных затрат с отклонением конкретных параметров от их наилучшего значения, при этом получению прибыли соответствуют отрицательные затраты.

Для вычисления критериев разработана программа, осуществляющая вычисление всей совокупности критериев, ранжированных их по приоритету.

## **Роль информационных ресурсов в инновационной деятельности**

Сокова Е.А.

Научный руководитель – Гучанов И.Н.

МАИ, г. Москва

В современных условиях функционирования инновационного предприятия информация становится стратегически важной и выступает, как один из важнейших ресурсов. Информационный ресурс – совокупность накопленной информации, зафиксированной на материальном носителе в любой форме, обеспечивающей ее передачу во времени и пространстве для решения научных, производственных, управленческих и других задач.

Информационный процесс является необходимым условием функционирования любого производства. Специализированная информационная система обеспечивает учет всех необходимых ресурсов и затрат и позволяет контролировать происходящие процессы на производстве.

Современный этап научно-технической революции связан с массовым созданием информационных технологий, проникающих во все сферы деятельности человечества. Машинизированные системы органично вписываются в материальное производство и социальную среду.

Компьютеры, разнообразные по выполняемым конкретным функциям, в процессе производства осуществляют информационно-управленческую работу. Компьютеры повышают возможности переработки информации и управления сложными техническими, производственными и социальными системами с учетом обратной связи, что позволяет улучшить информационную производительность труда работников

Информационная техника не создает и не увеличивает интеллектуальный потенциал человечества. Она является его технологическим орудием, дополняя и замещая людей как агентов информационных связей. В настоящее время информационный сигнал поступает не к человеку, а к искусственному устройству, машине, которая реагирует на него, выступая средством практического использования информационно-организационных возможностей человека и общества.

Инструментом эффективного использования информации выступает информатизация как процесс, обеспечивающий удовлетворение социальных и индивидуальных потребностей, нужд и интересов за счет выявления, преобразования и обеспечения доступа к информационным ресурсам общества посредством современных информационных технологий и развитой информационной инфраструктуры.

Информационные ресурсы имеют ряд особенностей, вытекающих из специфики информации, что обуславливает их радикальный характер действия на повышение производительности труда и его эффективность. По расчетам Д. Бреннера, использование информационных технологий повышает производительность труда более чем в миллион раз.



## **Эвристика и эвристические методы решения задачи**

Суслов А.А.

Научный руководитель – Крючков В.Л.

МАИ, г. Москва

Любая продуктивная деятельность, в своей сущности, является творчеством. Но это творчество может различаться из-за различного объема и глубины знаний, опыта, накопленного человеком в какой либо определенной области и интуиции. Исходя из этого, изобретательское мастерство во многом определяется умением видеть тенденции развития техники.

Любое новое техническое решение, как правило, базируется на большом исследовательском, инженерном, производственном опыте разработчика и невыполнимо без тщательного изучения специализированной технической и патентной литературы, непрерывного сопоставительного анализа уже с известными аналогами.

Подход, основанный на логических приемах и опирающийся на накопленный опыт, называется эвристическим методом.

Эвристика - отрасль знаний, которая изучает творческое, неосознанное мышление человека. Эвристические методы, опираясь на методические правила научного исследования и изобретательского творчества способны приводить к намеченной цели в условиях отсутствия четкой программы управления, нацеленной на решение поставленной задачи.

Существуют определенные методы решения задач, которые основаны на интуитивном подходе. Такими методами являются:

- Эвристические методы проектирования
- Методы инженерного (изобретательского) творчества
- Эвристический алгоритм, представляющий совокупность приёмов в поиске решения задачи, которые позволяют ограничить перебор
- Метод поиска, основанный на подсознательной вере и опирающийся на накопленный опыт

Исходя из выше сказанного эвристика, как отрасль знаний, и эвристические методы, как совокупность алгоритмов и путей достижения цели совокупностью приемов и методов способствуют решению определенной задачи, которая находится в условиях неполноты исходной информации или отсутствия четкой программы выполнения процесса решения задачи.

## **Технологические показатели лазерной резки алюминиевых сплавов**

Хайруллина Л.Р.

Научный руководитель – Смородин Ф.К.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Лазерная резка металлов и сплавов используется в настоящее время до 50% из всех лазерных применений обработки материалов. Сокращение стоимости лазерных технологий происходит за счёт увеличения скорости лазерной резки (ЛР) и повышения технологических показателей реза (ширины реза  $b$ , зоны термического влияния – ЗТВ, шероховатости поверхности реза  $Ra$ , отсутствие грата на нижней поверхности реза).

Целью работы была разработка технологий ЛР материалов авиастроения.

Технологические работы проводились на лазерном технологическом комплексе ЛТК-3 с CO<sub>2</sub> –лазером.

При поставке лазерного технологического оборудования «исполнитель», как правило, с оборудованием передаёт заказчику перечень основных параметров: указывается мощность лазерного излучения, диапазон скорости резки и применяемые газы и их давления резки различных материалов и диапазон толщин (сертификат).

Лазерная резка на сегодняшний день является одной из актуальных и перспективных видов технологий в авиа- и ракетостроении. Применение данной технологии востребовано на промышленных предприятиях оборонного назначения. Лазерная резка - современная технология, которая незаменима при работе с тонкостенным, а также легко деформируемым или хрупким металлом.

Лазерный луч минимального диаметра, сфокусированный оптическими линзами, не создаёт механического давления на изготавливаемую деталь. Резка лазером осуществляется за счёт испарения металла, которое происходит из-за воздействия высокой температуры луча. Поэтому лазерная резка характеризуется очень узким резом в отличие от, например, от плазменной или гидроабразивной резки.

Благодаря высокой автоматизации процесса, не требуется дополнительно обрабатывать боковую поверхность кромок реза.

Лазерный луч может беспрепятственно распространяться, минуя любые препятствия, поэтому резку металла лазером можно успешно проводить вне зависимости от того, каким именно образом обрабатываемый материал расположен в пространстве.

Не смотря на широкое применение лазерных технологий, её возможности практического применения, несомненно шире за счёт увеличения мощности и скорости реза, а также возможности улучшения технологических показателей реза путём совершенствования лазерных головок, а также оптимизации оптической схемы головок и интенсификации процесса параметров технологических газов.

Лазерное излучение, выходящее из излучателя, можно сосредоточить на небольшой площади обрабатываемой поверхности за счёт фокусировки потока энергии оптической системой. Фокусировка лазерного излучения в основном осуществляется одиночными линзами, реже линзовыми и зеркальными объективами с различными рабочими диаметрами и фокусными расстояниями.

Наиболее широкое применение в промышленности находит лазерная резка материалов в режиме испарения находит лазерная резка материалов в режиме плавления и удаления расплава из зоны реза. Получения глубоких резов сопряжено с образованием большого количества расплава. В этом случае сквозной рез может расплавляться, поэтому для удаления расплава используют дополнительную струю газа, подаваемого коаксиально излучению в зону обработки.

## СЕКЦИЯ № 3. Клиент-серверные модели и Web-разработка

Руководитель секции: к.т.н., доцент Силуянов А.В.

---

### Повышение эффективности запросов к СУБД MySQL на основе реструктуризации и индексной оптимизации

Аболмасов В.Г.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

В век цифровых технологий объемы используемых данных в Web-приложениях возрастают с каждым годом в геометрической прогрессии. В современных базах данных хранится огромное количество данных: пользовательские, справочная информация, информация о транзакциях. Быстрая работа динамического Web-приложения напрямую зависит от эффективного выполнения запросов к базе данных, именно поэтому это обстоятельство требует детального исследования перед разработкой приложения. В представленной работе будут рассмотрены такие вопросы, как реструктуризация запросов, а также использование индексов для увеличения эффективности запросов в СУБД MySQL.

Данная СУБД является одной из наиболее широко используемых систем в мире (на июнь 2013 года показатель составлял около 65% в мире). Первая версия данной СУБД была выпущена 23 мая 1995 года и до сих пор активно развивается. На её основе были созданы такие СУБД как: MariaDB, OurDelta, Drizzle и другие. MySQL является популярной системой как среди разработчиков небольших Web-ресурсов, так и среди крупных приложений. В виду популярности MySQL было решено использовать именно её в качестве исследуемой СУБД.

Основной проблемой многих начинающих Web-разработчиков является оптимизация запросов. Довольно часто можно встретить SQL запросы, использующие подзапросы. Рассмотрим пример базы данных содержащей в себе две таблицы: users – таблицу с пользователями и orders– таблицу с заказами пользователей. При создании запроса для выборки всех пользователей из таблицы users, у которых больше пяти записей в таблице orders имеют status = 1, многие начинающие разработчики наткнутся на проблему. Без использования оператора HAVING у них получится такой запрос:

```
SELECT * FROM users WHERE users_id IN (SELECT users_id FROM orders WHERE status=1)
```

Такой запрос будет выводить пользователей, у которых в таблице orders хотя бы одна запись имеет status = 1, что не соответствует условиям задачи. В то время как запрос можно записать с использованием операторов JOIN и HAVING:

```
SELECT u.* FROM orderso JOIN usersu ON u.users_id = o.users_id WHERE o.status=1 GROUP BY o.users_id HAVING COUNT(o.status) > 5
```

При использовании данных запросов в таблицах с количеством записей не более нескольких тысяч, разница во времени выполнения практически не будет заметна. Однако в больших таблицах разница может быть существенна. Различия заключаются в том, что в первом случае все запросы SELECT отрабатываются последовательно, а в случае с оператором JOIN — параллельно. Также в первом случае требуется время на слияние выборки основного запроса и подзапроса, что, в случае с большим объемом данных, может занять продолжительное время: от 1% до 5% от общего времени выполнения запросов. Тем не менее, данные во втором запросе, полученные с использованием оператора JOIN, требуют дополнительной памяти на объединение в результирующую выборку. И если таблица всё-таки небольшая, лучше использовать оператор IN для вложенных запросов, т.к. соотношение используемой им памяти в сравнении с JOIN будет меньше. Также частой ошибкой является запрос без использования DISTINCT, в случае, когда требуется лишь ограниченное количество записей.

Хорошей практикой считается использование индексов, благодаря чему можно в несколько раз ускорить выполнение запроса. Индекс позволяет выбрать записи без перебора всех данных из таблицы. Индекс представляет собой отсортированный набор значений. Индекс может содержать в себе как одну колонку, так и несколько, однако в этом случае решающую роль будет играть их порядок. Основным критерием выбора колонки для создания индекса, является частота поиска по искомому столбцу. Далеко не лучшей практикой является использование нескольких индексов в одной таблице, в виду того, что их хранение и использование требует определенного количества памяти. В то же время, крайне не рекомендуется использование большого количества индексов, т.к. зачастую это не требуется, однако может значительно потреблять память.

Оптимизация запросов является одной из наиболее важных проблем при разработке Web-приложения. Увеличение скорости выполнения запроса на основе его реструктуризации и создания индексов является одной из наиболее важных тем для начинающих разработчиков в виду того, что зачастую именно подобных мер не хватает в современных проектах.

## **Унификация формата данных при обмене информацией по протоколу HTTP в серверной части Web-приложения**

Бубнов А.В.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

При работе современного Web-приложения зачастую серверу требуется не только статично передать запрашиваемый документ, но и отреагировать на дополнительные параметры запроса. Пользователь может просто просматривать ленту новостей, а может воспользоваться функцией поиска, чтобы найти интересующую статью и затем оставить там комментарий. Таким образом, взаимодействие пользователя с Web-приложением можно разделить на две категории: получение информации и создание оной.

При работе с Web-приложениями для передачи информации используется HTTP протокол, а именно – HTTP-методы. Наиболее распространенными

являются методы GET и POST. Несмотря на то, что технология позволяет передавать параметры запроса любым методом, согласно стандарту HTTP, метод GET является идемпотентным (не производящим модификации на стороне сервера), в то время как создание, изменение и удаление информации должны осуществляться другими методами – например, POST.

Основная опасность кроется в процессе передачи данных: как их передаёт клиент серверу, и как обрабатывает. Таким образом, встает типичная проблема проверки входных данных. Неверное использование запросов может позволить злоумышленнику получить доступ к закрытой информации сервиса или изменить то, что изменять напрямую нельзя. Простейший пример – если содержимое запроса напрямую передавать в БД, то это открывает путь к SQL-инъекциям.

Можно выполнять проверку на каждой локации (скрипт, обрабатывающий определенный URL) индивидуально. Выходит, что для каждой локации, которая может обрабатывать данные запроса, нужно составлять правила их обработки (Controller). При добавлении новых локаций потребуется написать для них свои правила обработки данных. При этом существует опасность не предусмотреть все варианты развития событий, оставив тем самым «брешь» в защите сервиса. С развитием сервиса и расширением его функционала данная проблема встает острее.

Но можно поступить иначе – представить все данные, которыми оперирует сервис в виде сущностей, у которых определены все правила работы с ними (установка и получение значения, границы, правила обработки ошибок и исключительных ситуаций при обработке данных). Они хранятся и существуют отдельно от самих локаций и, таким образом, существуют на уровне ядра сервиса и доступны для любой локации – в модели.

Определив модель данных, которая будет содержать как сами данные (сущности), передаваемые серверу, так и правила их обработки, можно не только снизить опасность допустить ошибку, но и упростить дальнейшую разработку. На уровне модели определяется, какие атрибуты сущности могут подвергаться воздействиям извне, а также виду воздействия: участвуют ли они только в параметрах выборки (идемпотентные запросы) или же с их помощью может модифицироваться контент. При этом на уровне модели происходит проверка корректности данных. Исходя из этого, если все параметры удовлетворяют критериям модели, запрос обрабатывается на сервере.

В итоге, данный подход обладает рядом преимуществ:

- Универсальность – достаточно один раз описать правила обработки в модели и можно использовать в разных частях сервиса.
- Масштабируемость – не требуется описывать новые правила обработки при расширении функционала сервиса. Можно сразу воспользоваться сущностями, описанными в модели.
- Простота использования – чтобы разрешить принимать какие-либо данные, достаточно просто поставить соответствующий флаг в модели. В результате, управление обменом данными сводится к простому переключению флагов атрибутов.

Подводя итог, отметим, что данный подход не только минимизирует ошибки при расширении Web-сервиса, но и упрощает сам процесс дальнейшей разработки и поддержки ресурса.

## **Методы оптимизация SQL-запросов для использования в работе Web-узлов**

Викулин М.А.

Научный руководитель – Квашнин В.М.

МАИ, г. Москва

В настоящее время все больше Web-узлов используют динамические страницы вместо статических. Форумы, блоги, интернет-магазины, образовательные порталы – для работы таких проектов уже не подойдет набор HTML-файлов, лежащих в директории сервера. Для осуществления обмена информацией сервера и клиента требуется полноценная база данных. При этом, чем более сложным и высоконагруженным будет проект, тем больше внимания необходимо уделять оптимизации работы с используемой базой данных.

Наиболее часто применяющиеся запросы – запросы SELECT, позволяющие получить необходимую информацию из базы данных. Для обеспечения быстротействия и отказоустойчивости всей системы код запросов требуется оптимизировать.

Самым простым и легким в исполнении шагом оптимизации является перечисление всех необходимых для работы полей в теле SELECT-запроса вместо использования символа \* (выбор всех существующих атрибутов). Очень часто в работе используются только несколько столбцов таблицы, и нет никакой необходимости выбирать все. С другой стороны, если поставленная задача требует посчитать количество строк в таблице, запрос вида "SELECTCOUNT(\*) FROMtable;" будет выполняться быстрее, чем тот же запрос с использованием COUNT(id). Во втором случае инкремент будет происходить только после того, как из строки будет получено значение столбца id, тогда как в первом – сразу при переходе к следующей строке в таблице. Таким образом, при указании конкретного поля в функцию COUNT к выполнению добавляется лишний шаг, что замедлит работу запроса (особенно в том случае, если таблица содержит большое количество кортежей).

Часто возникает ситуация, когда выбранные данные должны отображаться на странице. Обычно при таком раскладе пользователь использует фильтр для уточнения информации, которую хочет получить. В таких случаях стоит ограничить выборку данных с помощью выражения LIMIT. Например, если установить максимальное количество выбранных строк равное десяти, то при применении пустого фильтра пользователь получит только первые десять записей. Такой подход позволяет ускорить получение данных за счет ограничения их количества. Кроме того, выражение LIMIT рекомендуется применять при использовании выражения DISTINCT, так как выборка с исключением дубликатов значительно замедляет процесс выполнения запроса.

Множество однотипных запросов следует объединять в один с помощью операции IN. Например, вместо выполнения группы запросов вида "SELECTnameFROMpersonsWHEREid = X", где X принимает различные

значения, следует выполнить один запрос, в котором будут перечислены все идентификаторы: "SELECT name FROM persons WHERE id IN (x1, x2, x3)". Разница в скорости выполнения этих запросов будет расти с увеличением количества различных значений X.

При выборке большого количества кортежей сложные подзапросы, состоящие из нескольких уровней вложенности, также сильно замедляют выборку данных. В таком случае следует использовать выражения JOIN с таблицами из подзапросов. Операция IN, используемая для подзапросов, крайне высокочувствительна для выполнения. Фактически выполняется отдельный подзапрос для каждой строки результата. При возвращении одной, десяти или пятидесяти строк конструкция с подзапросом будет корректно работать. Возможно, даже быстрее, чем запрос с JOIN. Однако с выборкой в пятьсот строк время выполнения запроса значительно возрастет. С другой стороны, выражение JOIN более ресурсоемко по памяти. Ведь держать в памяти одновременно всю таблицу значений и оперировать ею – накладнее, чем выполнять подзапросы для каждой строки, сразу же освобождая память. Для каждого запроса нужно выполнять конкретные замеры по времени и решать, какой из методов будет выгоднее использовать.

## **Использование HTML5 и JavaScript для реализации клеточных автоматов типа Brian's Brain**

Володченко В.С.

Научный руководитель – Лидовский В.В.

МАИ, Ступинский филиал

WWW-браузер фактически представляет собой интеллектуальный графический терминал, подключенный к глобальной сетевой операционной системе, ядра которой образуют миллионы физических и виртуальных серверов. Компьютеры разных аппаратных архитектур, с разным системным программным обеспечением, используя такой терминал, получают равноправный доступ к ресурсам сети. Ресурсы могут предоставляться в виде данных и в виде программного обеспечения, которого с каждым годом становится всё больше. Можно даже предположить, что сетевые прикладные программы со временем вытеснят многие локальные, привязанные к конкретным ОС.

Основное средство для написания клиентских сетевых программ – это язык программирования JavaScript. Другие средства, например, VBScript, Dart или Tcl, имеют в настоящее время незначительное поле применимости. Написание программ-сценариев для браузера требует их тесной интеграции с HTML. Язык HTML5 является основой для множества других веб-технологий: DOM, CSS, SVG, WOFF. JavaScript, совместно с другими технологиями HTML5, фактически достиг цели, которую ставили в 90-е перед языком Java: полная независимость от аппаратуры и ОС (При этом стоит заметить, что Java и JavaScript являются совершенно разными языками. – Ред.).

Реализация клеточных автоматов – это задача, известная своей высокой вычислительной сложностью. Для того, чтобы иметь возможность рассчитывать поведение автоматов на достаточно больших поверхностях, используют

непростой в реализации хэш-алгоритм. Такой алгоритм реализован, в частности, в программах Golly и Xlife. Хэш-алгоритм очень неэффективен для автоматов хаотического типа, поэтому использовать такие автоматы с широко используемой программой Golly затруднительно. Автоматы типа Brian'sBrain относятся к хаотическому типу, но генерируемые ими образцы имеют множество регулярностей, особенности которых не вполне изучены.

Клеточный автомат выполнен в виде прямоугольного поля с тороидальной топологией. Работа клеточного автомата происходит по шагам. Используется оптимизация, при которой в большинстве случаев достаточно прочитать состояние лишь трёх соседей из восьми.

Для визуализации состояния поля используется canvas – элемент HTML5. На каждом шаге визуализации сначала рисуется пустое поле, а поверх него отрисовываются молодые и старые клетки, что позволяет уменьшить количество вызовов функции рисования и увеличить производительность визуализации.

Для анимации используется функция window.requestAnimationFrame, она обеспечивает встроенный программный интерфейс (API). Частота кадров и, соответственно, скорость смены поколений ограничена частотой кадров экрана, при этом ни одно поколение не будет пропущено. Реализовано ручное заполнение поля с помощью мыши.

В дальнейшем планируется ускорить генерацию изображения с помощью WebGL, что позволит большую часть работы по отрисовке поля перенести на видеоадаптер. Также будет улучшен алгоритм вычисления следующего поколения. Будет добавлен режим «полный газ».

Клеточные автоматы хаотического типа моделируют некоторую среду. Их уже давно используют для работы с моделями газовых сред. Подобное направление может быть естественно связано с программами освоения космоса и развития авиационной промышленности. Материалы проекта размещены в открытом доступе по адресу: <https://github.com/VaSimple/brians-brain>.

## **Способы хранения иерархических структур в реляционных базах данных. Достоинства и недостатки**

Вялов А.С.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

Зачастую в современных информационных системах используются сложные структуры данных, содержащие рекурсивные связи. Данные могут быть упорядочены в древовидные или иерархические структуры. В древовидной структуре каждая запись называется узлом. У узла может быть несколько дочерних объектов и один родительский. Верхний узел, у которого нет родителя, называется корнем. Нижние узлы, не имеющие дочерних объектов, называются листьями, при этом узлы в середине листьями не являются.

Наиболее распространенная структура, используемая большинством разработчиков программного обеспечения для хранения древовидной структуры данных, называется «список соседства».



Id	parent_id	Text
1	NULL	Корень
2	1	Узел
3	2	Узел
4	1	Узел
5	5	Узел

Таблица 1. Список соседства

Основным недостатком данного способа хранения древовидных структур является невозможность рекурсивного выбора всех потомков узла одним SQL запросом. Для выбора потомков, приходится применять левое соединение, количество которых равно уровню рекурсии. Большинство производителей PCyБД поддерживают расширение SQL (стандарт SQL-99 определяет синтаксис рекурсивного оператора WITH) для поддержки иерархий, хранящихся в формате списка соседства. Вторым недостатком является сложность удаления целого поддерева: для этого необходимо сделать несколько запросов, чтобы найти всех потомков, а затем удалить, начиная с самого нижнего уровня, двигаясь вверх, чтобы соблюсти сохранность внешнего ключа. Достоинствами данного метода является простота обновления и добавления новых узлов.

Одной из альтернатив списка соседства является метод «перечисление путей» (табл. 2). Форму данного метода можно наблюдать в иерархии каталогов у операционных систем. Например, в UNIX - путь, такой как `/usr/local/lib/`, является перечислением путей файловой системы, где `usr` – родитель директории `local`, которая в свою очередь является родительским объектом для директории `lib`.

id	path
1	1/
2	1/2/
3	1/2/3/
4	1/4/

Таблица 2. Перечисление путей

Недостатком данного метода является то, что базой данных не может быть принудительно установлено, что путь сформирован правильно или что значения пути соответствуют существующим узлам. Обслуживание строки пути зависит от логики работы приложения и является трудозатратной процедурой. Достоинством является возможность выбора предков и потомков путем сравнения пути узла с шаблоном.

Другой альтернативой списку соседства является «таблица замыканий». Данный способ реализует хранение всех путей по дереву, а не только путей с прямыми связями «родитель/потомок». Для реализации метода необходимо создать новую таблицу, которая будет хранить связи между узлами. Для каждой пары узлов, связанных отношением «предок/потомок», хранится отдельная строка, даже если они разделяются в дереве несколькими уровнями.

Запросы для извлечения предков и потомков из такой таблицы становятся очень простыми. Для удаления поддерева необходимо удалить все связанные с ним строки в таблице связей. Также хранение путей в отдельной таблице

обеспечивает более гибкое хранение взаимосвязей между узлами. Например, оно допускает принадлежность узла нескольким деревьям. Недостатком же данного метода является увеличение дискового пространства для хранения взаимосвязей между данными. Таким образом, наиболее универсальным методом является – «таблица замыкания».

## **Разработка автоматизированной информационной системы «Титановые сплавы»**

Галай Н.А., Громова М.Д.

Научные руководители – Егорова Ю.Б., Чибисова Е.В.

МАИ, Ступинский филиал

Титановые сплавы широко используются в авиа-, ракето-, кораблестроении, в медицине и многих других отраслях науки и техники. За годы исследования титана и его сплавов накоплен большой теоретический, практический и справочный материал, который целесообразно обобщить с использованием современных информационных технологий. В МАИ (ранее в МАТИ) совместно с отраслевыми НИИ проводится научно-исследовательская работа по созданию автоматизированной информационной системы «Титановые сплавы», частью которой является база данных, содержащая стандартные справочные данные (химический, фазовый состав, механические, физические, технологические свойства и т.п.) и дополнительные научные и технологические сведения, которые отсутствуют в нормативной документации (коэффициент  $\beta$ -стабилизации, структурные и прочностные эквиваленты по алюминию и молибдену, температура полиморфного превращения, прокаливаемость, количество  $\beta$ -фазы и др.).

Для поиска информации по различным параметрам, быстрой фильтрации и сортировки данных был разработан пользовательский интерфейс. Для исследователей, инженеров и технологов, постоянно занимающихся работой в данной области, АИС может служить хорошей справочной системой. Однако для научно-исследовательских и производственных целей существует необходимость в хранении, обобщении и обработке промышленных данных по химическому составу и механическим свойствам различных полуфабрикатов. Именно поэтому было принято решение о создании новой БД, с помощью которой становится доступной статистическая обработка данных с целью нахождения корреляций между различными свойствами, а также прогнозирование свойств промышленных полуфабрикатов из титановых сплавов.

Система создана на основе СУБД Microsoft SQL Server и объединена с уже существующей БД, содержащей справочную информацию. База данных состоит из 23 таблиц, позволяющих хранить название марок сплавов, номера отдельных плавок и полуфабрикатов, а также ряд физических, механических, технологических и других свойств. Таблицы организованы с учетом требований нормальных форм, при этом отсутствует избыточность данных. В ходе работы были проверены связи между таблицами, настроены режимы обновления и удаления данных. Схема БД была создана с помощью CASE-средства CA ErwinDataModeler. Для пользователя система будет иметь вид веб-сайта. Кроме

этого предусмотрено проектирование веб-интерфейса, над которым ведется работа в настоящее время. Реализуется разделение прав доступа (пользователи и администратор системы). Рядовым пользователям будет разрешено просматривать информацию, проводить стандартные операции поиска, сортировки и фильтрации данных. Администратор имеет возможность вносить изменения в БД: обновлять информацию, удалять старые и добавлять новые данные. Для разработки интерфейса используется среда Microsoft Visual Studio.

На первом этапе планируется развертывание системы в локальной сети Ступинского филиала МАИ с использованием технологии «клиент-сервер». В дальнейшем существует возможность создания на основе системы информационного ресурса с доступом в сети Интернет. Он будет полезен не только студентам, исследователям и преподавателям, но также и сотрудникам профильных предприятий.

## **Использование архитектурного стиля REST при разработке Web-сервисов**

Дровосеков В.В.

Научный руководитель – Герасимова И.Н.

МАИ, г. Москва

REST – (Representational State Transfer, передача состояния представления) это архитектурный стиль для распределенных систем данных для передачи любых видов информации. В основе архитектурного стиля лежит концепция определения ресурсов по URL.

Описаны следующие шесть условий, налагаемых на архитектуру, допуская индивидуальную реализацию компонентов:

- Клиент-серверная архитектура – сервер и клиент имеют одинаковый интерфейс, что позволяет улучшить масштабируемость.
- Статус-сервер – состояние клиента не хранится на сервере, состоянием занимается исключительно сам клиент. Это позволяет упростить доработку и сопровождение сервера, делает его более стабильным.
- Кэшируемость – как и на WorldWide Web, клиенты и посредники могут кэшировать ответы. Ответы должны явно или неявно определять себя как кэшируемые, или наоборот, чтобы запретить клиентам повторное использование устаревших или некорректных данных в ответ на последующие запросы. Хорошо управляемое кэширование частично или полностью устраняет некоторые взаимодействия клиента и сервера, дальнейшее повышение производительности и масштабируемости.
- Многослойная архитектура – клиент не может однозначно определить, подключается ли он непосредственно к серверу или к посреднику по пути подключения. Таким образом, через посредника обеспечивается масштабируемость системы, так же обеспечивается общий кэш и балансировка нагрузки на сервер. Кроме всего прочего, посредник может потребовать соблюдения политики безопасности от клиента.
- Код по требованию (опциональный элемент структуры) – серверы могут временно расширить или настроить функциональность клиента путем передачи исполняемого кода. Таким образом, допустимо включать

скомпилированные компоненты, такие как Java-апплеты и клиентские сценарии на языке JavaScript. Является необязательной частью.

- Единый интерфейс – интерфейс между клиентом и сервером. Он упрощает и разъединяет архитектуру, которая позволяет каждой части развиваться независимо друг от друга. Четыре руководящих принципа такого интерфейса подробно описаны ниже.

Только «Код по требованию» можно не включать в архитектуру, так как он является необязательным ограничением в REST. При нарушении других ограничений, служба не может быть однозначно названа RESTful.

Если условия соответствия архитектурному стилю REST и соблюдение его ограничений соблюдены, то это позволяет любому приложению получить требуемые свойства: производительность, надежность, простота интерфейсов, масштабируемость, модифицируемость и портативность компонентов.

RESTfulWeb-сервис (RESTfulweb API) – это простой Web-сервис, реализованный по принципам REST и на основе HTTP. Он представляет собой набор ресурсов с тремя определенными аспектами:

- Базовый URI для Web-сервиса.
- Тип содержимого Интернет для данных, поддерживаемых Web-сервисом. Часто это JSON, но можно использовать любой другой действительный тип содержимого Интернет (например, XML, Atom, YAML и др.).
- Большое количество операций, которые поддерживает Web-сервис, используя основные механизмы, такие как GET, PUT, DELETE, POST.

На данный момент, технология REST является наиболее распространенной и популярной в своем сегменте из-за простоты, небольшого времени обработки запросов и возможности кэширования, что позволяет с помощью неё увеличить производительность и масштабируемость проекта.

## **Практика использования CMS MODX Revolution на примере главного сайта Российской государственной библиотеки**

Живов А.В.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

Как правило, CMS предоставляет визуальное представление для управления сайтом – редакторы страниц и контента. Задача каждой системы управления контентом – обеспечить наиболее удобный и гибкий пользовательский интерфейс для создания и поддержки Web-сайтов. Но не всегда удобство и гибкость сочетаются в одной системе. Некоторые CMS (Wordpress, Joomla!) приоритет отдали удобству, нежели контролю над всеми аспектами управления и создания Web-сайта. Система MODX, напротив, предоставляет большие возможности Web-разработки и позволяет придать проекту уникальность, модифицировав CMS под нужды конкретной задачи. Поэтому MODX – это не только система управления контентом, но и каркас для проектирования таких систем (CMF). Данная система позволяет добавить любой PHP или JavaScript код, исходя из существующей необходимости.

К достоинствам, которыми руководствовалась организация при выборе рассматриваемой системы:

- Гибкое регулирование прав доступа. В рамках практической части представленной работы, на сайте РГБ было реализовано создание группы «модератор», которая позволяет изменять только наполнение сайта без возможности изменения механики серверной части.
- Интуитивно понятное дерево ресурсов и других компонентов, которое позволяет с помощью мыши добавлять или удалять новые ресурсы, шаблоны, чанки, сниппеты и др.

Из минусов можно добавить, что при переходе между функционалом в административной панели, она полностью перезагружается. Это не является особо большой проблемой, но когда требуется быстро изменить 5-10 разных ресурсов, половина времени тратится на обновление панели. Тем не менее, данная проблема была решена установкой компонента AjaxManager. Тем самым при каком-либо действии перезагружалась не вся панель администрирования, а только та область, которая подвергалась изменениям.

Также удобное дерево, о котором говорилось ранее, при наличии большого количества ресурсов очень долго строилось. По самым скромным подсчётам только на тестовой версии сайта РГБ было около 2000 новостей, а каждая новость – это отдельный ресурс, т.е. отдельная HTML страница. Данная проблема была решена установкой компонента Collections.

Дочерние ресурсы у блока «Новости» больше не отображались в дереве. Их можно было увидеть только при заходе на сам ресурс новостей, где они структурировано показывались в таблице с продвинутой пагинацией. Также появился поиск по дочерним ресурсам, массовые действия (возможность изменить все ресурсы сразу). Поля таблицы настраиваются индивидуально.

Еще один недостаток появился в процессе разработки. Вначале был всего один общий шаблон, использовавшийся по аналогии со слоями в Yii2. Недостаток заключается в том, что дополнительные поля (TV) привязываются не к ресурсам или к группам ресурсов, а к шаблонам. Следовательно, модератор не смог бы понять какое дополнительное поле, в каком ресурсе используется, что сильно затруднило бы процесс наполнения сайта информацией. Было принято решение хранить содержимое шаблона в чанке, и создать несколько разных шаблонов, в которых вызывается один и тот же чанк. С помощью данного функционала мы смогли сделать псевдопривязку дополнительного поля к ресурсу. В нашем решении шаблон стал ответственен только за выбор используемых дополнительных полей, тогда как сам код шаблона был перенесён в чанк.

Исходя из вышесказанного, MODX на данный момент является одной из перспективнейших CMS/CMF. Данное решение отличается большой гибкостью. Конечно, система имеет свои недостатки, но, как показывает практика, в своем проекте с помощью нестандартных решений и использования дополнительных компонентов, недостатки были обращены в преимущества.

## **Применение паттерна «объектный пул» при разработке программного обеспечения**

Золотов Д.В.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

Объектный пул – порождающий шаблон проектирования, реализация которого содержит набор инициализированных и готовых к использованию объектов. Когда системе требуется объект, он не создается, а берется из пула. А после использования, он не уничтожается, а возвращается в пул для дальнейшего использования.

Применение паттерна «объектный пул» может значительно повысить производительность системы в ситуациях, когда программа создает только ограниченное количество экземпляров некоторого класса, при этом создание и удаление требует больших затрат. Благодаря, объектному пулу можно избежать создания новых объектов, если будут повторно использованы объекты, с которыми программа уже завершила работу, не удалив их, а вернув в пул. Особенно заметно повышение производительности, когда объекты часто создаются и уничтожаются.

Управлять ресурсами объектного пула можно централизованно с помощью одного объекта, или децентрализованно с помощью нескольких. Для централизованного управления класс «объектный пул» проектируется с помощью паттерна «Singleton» (одиночка), тем самым все многократно используемые объекты, свободные в некоторый момент времени, хранятся в одном и том же пуле объектов.

Если при запросе все объекты пула заняты, то будет отказ в получении объекта, либо, в случае многозадачной системы, придётся подождать, пока один из объектов не освободится. Для исключения подобных ситуаций пул должен уметь создавать новые объекты по мере необходимости. При этом он также должен реализовывать механизм периодической очистки неиспользуемых объектов.

Объекты в пуле, планируемые к многократному использованию, должны иметь метод для возврата в своё начальное состояние, чтобы при повторном использовании объекта не было таких данных, что остались со значениями от прошлого использования. Если объекты после возвращения в пул оказываются в неправильном или неопределённом состоянии, то наличие таких объектов превращает пул в «объектную клоаку», что может стать причиной утечки памяти.

## **Создание автоматизированной информационной системы оценки качества образования в вузе с помощью обратной связи**

Зубакова Е.Г.

Научный руководитель – Чибисова Е.В.

МАИ, Ступинский филиал

Каждый год студенты вузов изучают множество новых дисциплин. Зачастую возникает необходимость в улучшении образовательных программ, качества

преподавания дисциплины. Для этого нужно проводить постоянный контроль не только над уровнем знаний студентов, но и над степенью их удовлетворенности качеством преподавания дисциплины. Проведение данного рода опросов в традиционной бумажной или устной форме бывает достаточно трудоёмким, особенно на этапе обобщения результатов опроса.

В связи с этим возникает вопрос о создании информационной системы оценки качества образования в вузе с помощью обратной связи, автоматизирующей процесс опроса студентов, подведения итогов, и предоставляющей преподавателю необходимую информацию о том, насколько удачно читается дисциплина. Это будет полезно также для своевременного предоставления руководству объективной информации о динамике удовлетворенности студентов качеством преподавания дисциплин.

Такая программа должна использовать текстовую и графическую форму представления информации, обладать дружественным пользовательским интерфейсом, содержать вопросы с выбором варианта ответа и вопросы с выставлением оценки. Также предусмотрены открытые вопросы анкеты, ответы на которые формулируются респондентами в свободной форме. Предполагается анонимное участие в опросе, указываются только шифр группы респондента и название дисциплины.

Данная система организована в виде клиент-серверного приложения на основе локальной вычислительной сети Ступинского филиала МАИ. Для хранения результатов тестирований разработана база данных в СУБД Microsoft SQL Server 2014, ведётся разработка Web-интерфейса в среде Microsoft Visual Studio.

Планируется обеспечение двух режимов работы программы – пользовательского, для заполнения анкет, и администраторского, предусматривающего возможность просмотра всех результатов опроса, добавления, удаления и редактирования данных. Вход в систему в режиме администратора происходит с помощью ввода логина и пароля.

В дальнейшем для удобства обработки результатов исследования будет предусмотрен их экспорт в один из офисных редакторов (например, Microsoft Office Excel).

Программа интересна тем, что в ней можно собирать различного рода статистику.

На основе полученных данных можно вычислить:

- процент респондентов, которые выбрали тот или иной вариант ответа на вопрос;
- средние значения результатов анкетирования (для вопросов с выставлением оценки).

Возможен также сбор ответов на открытые вопросы анкеты в форму, удобную для просмотра преподавателем (например, соединение ответов студентов в единый текст-отзыв по вопросу).

Система опросов может служить основой для создания опросов и анкет разной направленности, для этого достаточно поменять набор вопросов и новый опрос готов к использованию.

## **Профилактика DoS-атак медленного чтения на сервере Apache**

Горчаков А.Я., Инжуватов К.А.  
Научный руководитель – Кейно П.П.  
МАИ, г. Москва

В представленной работе рассматривается проблема DoS-атаки медленного чтения (Slow-ReadDosAttack) на отказ в обслуживании серверов Apache и методы защиты от нее. DoS (DenialofService) – атака на сервер, проводимая с целью довести его до отказа в обслуживании клиентов, то есть создание таких условий, при которых обычные пользователи (клиенты) не смогут получить доступ к предоставляемым ресурсам сервера, либо затруднить его.

Отличительными чертами медленных DoS-атак (SlowDoS) являются относительно небольшое количество задействованных в них клиентских подключений и наличие определенной тактики, заключающейся в использовании тех или иных уязвимости конкретного сервера.

МедленныйDoS не требует больших ресурсов и может осуществляться даже с одной машины. Для проведения медленныхDoS-атак злоумышленниками могут использоваться специальные программы, такие как Slowloris и R.U.D.Y (R U DeadYet?). Эти программы эксплуатируют уязвимости Slow POST и Slow HTTP Headers.

В основном медленные DoS атаки фокусируются на методах уменьшения скорости отправки данных на целевой веб-сервер. На этот раз атака основана на понижении скорости, с которой клиент (атакующий) может получать ответные данные, отсылаемые веб-сервером – отсюда и название «DoS-атака медленного чтения». Сервер не может завершить процесс, пока клиент (атакующий) не примет ответ, получаемый медленно. Таким образом, со временем сервер теряет возможность отвечать за входящие запросы (потому что никак не может ответить атакующему). Практика показывает, что веб-сервера Apache, nginx, lighttpd, IIS с настройками по умолчанию уязвимы к подобным атакам.

Получив график работы сервера в момент HTTP атаки медленного чтения, мы видим, что сервер потерял способность обрабатывать запросы через 20 секунд после начала атаки.

Slow-ReadDosAttack позволяет организовывать атаки на отказ в обслуживании, с недостижимым раньше соотношением необходимой мощности/канала атакующего компьютера (компьютеров) и атакуемого сервера. Огромное количество малых и средних сайтов на сегодняшний день подвержены этой атаке. Причем зачастую со стороны сервера сложно даже диагностировать, что сайт атакуют – трафик не превышает нормальных значений.

## **Анализ корпоративных информационных систем обработки данных**

Исаенкова Ю.А.  
Научный руководитель – Силуянова М.В.  
МАИ, г. Москва

Сейчас во многих машиностроительных и инжиниринговых компаниях идет борьба за повышение эффективности и производительности труда. Этого



возможно достичь за счет развития и применения корпоративных информационных систем (ИС) и ERP-систем. Подготовка и принятие решений в среде ERP-систем стало естественным фактором в конкурентной борьбе компаний, крупные холдинги, функционирующие в соответствии с мировыми стандартами, обязаны опираться на самые современные информационные технологии, получившие мировое признание. Рынок ERP-систем в России наводнен зарубежными решениями, однако с течением времени всё чаще встречаются и отечественные разработки. Это говорит о востребованности программных продуктов такого рода, и на текущий момент всё больше крупных предприятий принимает решение о внедрении ИС или ERP-системы.

Наиболее распространенным классом систем обработки данных являются информационные системы. Для обсуждения технологий современных информационных систем необходимо проведение анализа для четкого определения, в чем заключаются их специфические особенности, чем они отличаются от других систем обработки данных, какие функции они могут выполнять и какими ресурсами они обладают.

Создание ИС с целью поддержания деятельности в какой-либо сфере позволяет лицу, занимающемуся этой деятельностью, взаимодействовать не с реальными объектами предметной области системы, а с информационной системой, не выходя из своего офиса. Такой подход позволяет получать сведения о состоянии сущностей и процессов предметной области информационной системы не путем непосредственных измерений или наблюдений в реальном мире, а используя информационную модель. Достоинство модельного подхода состоит в том, что он позволяет анализировать и оценивать последствия различных управленческих решений без проведения натурального эксперимента. Важную роль в моделировании предметной области ИС играют ее информационные ресурсы. В большинстве моделей информационные ресурсы системы представляют статистическую модель предметной области, характеризуя ее текущее состояние.

К числу функций, которые должны выполнять ИС для решения стоящих перед ними задач, связанных с поддержкой динамической информационной модели предметной области и с удовлетворением информационных потребностей ее пользователей следует отнести: сбор и регистрация информационных ресурсов, хранение, обработка, актуализация и обработка вопросов пользователей. Пользователи ИС – компоненты прикладного программного обеспечения – осуществляют доступ к ресурсам ИС с помощью интерфейсов прикладного программирования.

В результате анализа систем обработки данных определены ключевые функции ИС: управление распределенными информационными ресурсами, тиражирование данных, синхронизация копий; защита физической целостности информационных ресурсов и их восстановление при разрушении; обеспечение информационной безопасности в системе; управление метаданными.

Функциональные возможности информационных систем, различающихся одной или несколькими такими функциями, могут быть очень разными. Поэтому номенклатура перечня ключевых функций, которыми должна обладать какая-либо разрабатываемая информационная система, является важной частью проектно-технической документации, существенным образом влияющей не

только на качественные показатели создаваемой системы, но и на процесс ее создания.

## **Нагрузочное тестирование программного комплекса интерпретатора декларативного языка моделирования динамических Web-приложений**

Казакова А.Н.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

В современном мире большое внимание уделяется разработке динамических интернет-проектов. Не последнюю роль в процессе разработки играет правильно подобранная методика тестирования и выявления аномалий. Этому будет и посвящена данная работа, в которой затронута разработка методики тестирования для проекта BlockSet, состоящего из собственного декларативного языка моделирования Web-приложений BML и его интерпретатора.

Интерпретатор – это комплексная система, предназначенная для обработки исходного кода языка BML и генерации данных на основе логики, записанной на этом языке. Ядро интерпретатора является главным звеном системы, управляющим множеством вспомогательных компонентов. Ядро, взаимодействуя с компонентами системы, собирает данные и передает их шаблонизатору, который в свою очередь, генерирует конечный документ для отправки его в браузер клиента.

Ожидается, что интерпретатор будет функционировать в составе высоконагруженной системы. Тестирование высоконагруженных систем включает в себя несколько методик, ключевая из них – это нагрузочное тестирование.

В данном случае оно включает в себя:

- исследование проблемы
- синтезирование модели теста;
- отладка нагрузочного стенда;
- поиск стандартных сценариев выполнения испытаний;
- выполнение нагрузочных испытаний;
- исследование полученных результатов.

Испытания производятся с целью отражения реальных условий работы высоконагруженной системы. В конкретном случае мы можем использовать два вида нагрузочного тестирования: со статическим выводом контента и с динамической генерацией.

Для проведения испытаний была задействована утилита Siege. Данная утилита способствует имитации притока пользователей на используемом сервере. Причем порядок работы и численность пользователей задается при запуске через командную строку. Программа имеет три главных прототипа работы: режим грубой силы, режим имитации Интернета и режим регрессионного тестирования. В данной работе рассматривается режим грубой силы, т.е. одновременного обращения множественных запросов по одному адресу.

Тестирование выявляет объем прямых накладных расходов при работе в нескольких режимах. Испытания проводились для различного количества пользователей от 10 до 150. Для этого был написан специальный скрипт на языке PHP и три программных модуля на C++ для режимов CGI и FastCGI. Для последнего было осуществлено две реализации: с использованием библиотек `fcgi` и `fastcgi++`. Поскольку разница между ними оказалась несущественной, технологию FastCGI было решено рассматривать только на основе библиотеки `fcgi`.

Технология CGI показывает довольно низкий результат, однако, несмотря на это, обработчик выполнил все запросы без единого отказа. При этом FastCGI демонстрирует относительную стабильность. На кривой интерпретатора PHP видно, что при увеличении числа одновременно подключаемых пользователей снижается количество обрабатываемых запросов. Поскольку при увеличении числа пользователей до пятидесяти, FastCGI показывает лучшие результаты по сравнению с интерпретатором PHP, программный модуль интерпретатора выполнен на основе платформ FastCGI и CGI. Несмотря на то, что CGI показал низкий результат, было решено добавить и эту технологию, поскольку разработки для обеих платформ мало отличаются друг от друга.

Разработка интерпретатора является актуальной задачей в рамках практической реализации методологии BlockSet, рассчитанной на использование широким кругом пользователей, в том числе и на хостинг-площадках. Именно поэтому было уделено большое внимание исследованию поведения интерпретатора при высоких нагрузках. В ходе проведения нагрузочного тестирования было выявлено превосходство платформы FastCGI в сравнении с другими динамическими платформами.

## **Разработка инструментария построения интерактивных схем движения транспортных систем с прокладкой кратчайшего маршрута средствами современных Web-технологий**

Калинина М.В.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

В настоящее время происходит активное развитие городской инфраструктуры линейного типа, таких как: трамваи, троллейбусы, монорельсы, метро, железнодорожный транспорт и др. В свою очередь с развитием таких систем происходит рост потребности общества в использовании интерактивных схем.

Целью работы является разработка интерактивного Web-приложения, выполненного в виде программного комплекса, решающего множество различных задач. Основной целью проекта является наглядное представление визуальных данных: схемы движения транспорта и расчёта кратчайшего маршрута пути. Главными достоинствами проекта является: сохранение качества изображения при его масштабе, простая в исполнении модификация объектов (при необходимости) и предоставление визуальной истории изменения схемы во времени с шагом в один год.

Предварительно был рассмотрен вопрос актуальности поставленной задачи и проведен анализ большого количества интернет-сервисов посвященных

исследуемой тематике, были проанализированы существующие технологии и пути решения, требующиеся для достижения поставленной цели. Составленный сравнительный анализ ранее используемых технологий, подробно указывает на достоинства и недостатки каждого из них.

В состав технологии решения задачи входило:

Выбор технологии разработки (XHTML, HTML5, Silverlight, AdobeFlash, JavaFX), с возможностью поддержки устаревших версий браузеров.

- Выбор технологии визуализации данных (Canvas, SVG), большое внимание уделяется описанию формата векторной графики SVG и рассмотрению аналогов как растрового, так и векторного типа.
- Выбор формата хранения данных (JSON и XML). В работе представлен разработанный единый формат хранения данных схемы на основе JSON с указанием специфичных свойств каждого объекта. В данном формате представлена только структурная информация схемы без прямого указания параметров построения, что отвечает современной парадигме разделения структуры и представления.
- Выбор алгоритма поиска кратчайшего пути (Алгоритм Дейкстры, Алгоритм Форда-Беллмана, Алгоритм Флойда и др.). Описан оптимальный алгоритм поиска пути при расчёте времени, затрачиваемого на выполнение маршрута.

Результатом проведенной работы стало Web-приложение построения интерактивных схем транспортного движения с демонстрацией истории его развития с шагом в один год и нахождением кратчайшего маршрута, а также создание общего инструментария и алгоритма интерактивного построения схемы движения городского транспорта.

## **Сравнительный анализ технологий декларативной Web-разработки на стороне сервера**

Кейно П.П.

Научный руководитель – Силуянов А.В.

МАИ, г. Москва

Декларативному программированию на серверной стороне Web, несмотря на малую распространённость, посвящены труды многих учёных. Как правило, такие языки не являются Тьюринг-полными, наоборот, они являются специализированными, т.е. предметно-ориентированными языками (*англ. DSL, Domain-specific language*), заточенными на решение узко-специализированных задач, но решающих их, как правило, лучше, чем языки общего назначения.

Сфера покрытия языка WebDSL (*англ. Web Domain-SpecificLanguage*, проблемно-ориентированный язык для Web), как утверждает его автор, профессор ИлкоВиссер, интерактивные динамические Web-приложения с богатой предметно-специфичной моделью данных. К таким приложениям автор относит приложения с базой данных и пользовательским интерфейсом, имеющие несколько представлений данных и предоставляющие возможность изменять эти данные через браузер. Отдельным допущением языка является статичность модели данных, что означает, что она строится в процессе разработки и не изменяется во время исполнения.

В основу WebDSL взят управляемый технологией подход (*англ. technology-driven*), то есть построенный на базе уже существующих технологических практик по внедрению языка в своей предметной области. Так, язык WebDSL построен на базе технологий, сосредоточенных вокруг языка Java: JPA-JSF-Seam. Таким образом, инструментарий языка WebDSL не является самостоятельной технологией, а представляет собой расширение уже существующей архитектуры.

Другой язык, разработанный профессором Майлом Ханусом, также представляет собой декларативный язык Web-разработки – Spicely. С технологической точки зрения язык является надстройкой над «Curlгу» – встраиваемый язык программирования поверх языка Haskell. Особенностью языка является его ориентированность на модель «сущность-связь» (*англ. ER, entity-relationship*). Это означает, что весь программный код языка может быть сгенерирован на основе ER модели.

Второй немаловажной особенностью является то, что язык является Web-ориентированным. Таким образом, любое действие с данными (создание, просмотр, модификация, удаление) может быть произведено через стандартные средства браузеров. Также язык поддерживает «из коробки» аутентификацию и авторизацию. Она внедряется путём расширения начальной структуры данных такими сущностями, как «имя пользователя» и «пароль». Язык поддерживает и маршрутизацию URL (*англ. routing*), что позволяет задавать схему соответствия адресов с контроллерами приложения.

Конечно, многообразие декларативных языков серверной стороны не ограничивается описанными выше технологиями. Существует также язык преобразования XML-документов XSLT, однако, его более низкоуровневая природа в сравнении с представленными языками заставляет отодвинуть его за пределы исследования.

Все описанные выше языки работают в своих совершенно различных средах. Выполнив детальный сравнительный анализ, коллектив разработчиков и исследователей во главе с автором представленной работы разработали методологию BlockSet. Её практическая реализация значительно отличается от остальных инструментариев. Если рассмотренные инструменты функционируют в составе уже имеющихся языков программирования, то в BlockSet присутствует самостоятельный программный модуль – интерпретатор BML, написанный на компилируемом языке. Сам по себе BML (*англ. BlockSet Modeling Language*) является декларативным XML-подобным языком, описывающим базовые сущности методологии.

К таким сущностям относятся: модель (*англ. Model*) – задаёт структуру проекта. Здесь описываются взаимосвязи между объектами. Модель уникальна и не может быть объявлена более одного раза; локация (*англ. Location*) – элемент, ассоциируемый с динамической Web-страницей и содержащий лишь те объекты, которые используются на данной странице. К вышеупомянутым объектам относятся набор (*англ. Set*) и блок (*англ. Block*). Набор является надстройкой над базой данных, из чего следует вывод, что он точно также может зависеть от других наборов, т.е. находиться в отношениях. При этом строить дополнительные сущности вроде связующих таблиц или вторичных ключей не требуется – инструментарий находится уровнем выше баз данных и работает с

этими сущностями без участия разработчика. За целостность базы данных отвечает синхронизатор. Таким образом, в отличие от Spicely, в BlockSet база данных создается на основе исходного кода, но не наоборот. Следующий элемент – блок. Он является атомарной структурой данных и ассоциируется с полем в базе данных. Разница в том, что блок отвечает за валидацию данных и правильное их представление на итоговой странице. Сами данные впоследствии будут переданы в шаблонизатор, где будут «склеены» с заранее подготовленным шаблоном.

Аутентификация и авторизация в проекте осуществляется с помощью авторизационного набора. Авторизационный набор представляет собой обычный набор, но со специальным зарезервированным именем и обязательным наличием блоков с именами, соответствующими имени пользователя и паролю.

Роутинг URL осуществляется через локацию. Локация идентифицируется по базовому адресу, представляющему собой некий шаблон адреса URL, с которым сопоставляется запрошенный пользователем ресурс. Если сопоставление найдено, выполняется логика работы данной локации.

Подводя итог вышесказанному, отметим, что методология BlockSet и язык VML сочетают в себе гибкий принцип построения Web-приложений с помощью высокоуровневых декларативных инструментариев разработки и моделирования, соблюдающих оптимальный уровень абстракции. При этом в работе были усовершенствованы решения, внедрённые в смежных проектах. Проект и методология BlockSet найдут своё применение как среди начинающих разработчиков, так и среди профессионалов отрасли, особенно в тех случаях, когда требуется быстрое и качественное решение.

## **Разработка панели регистрации доменных имен с поддержкой различных регистраторов**

Киселев В.К.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

В настоящее время существует разнообразные панели регистрации доменных имен, но, к сожалению, все они имеют привязку к ограниченному количеству регистраторов. Это в свою очередь неудобно при регистрации доменов, поскольку каждый регистратор предоставляет возможность приобретения домена в определенных зонах и за свою стоимость. В связи с этим была поставлена задача разработки системы регистрации доменов с поддержкой разных регистраторов. Была проведена работа по созданию панели (Web-приложения) регистрации доменных имен с возможностью подключения любого регистратора.

Актуальность работы состоит в том, что существует ограниченное количество подобных систем и они достаточно дорогие. На данный момент разработана панель регистрации доменных имен с поддержкой множества регистраторов (таких как REG.RU, RU-CENTER, HEXONET) с возможностью быстрого подключения дополнительных модулей работающих с интерфейсом других провайдеров доменных имён. При этом пользователь имеет право выбора регистратора в отдельной доменной зоне, руководствуясь личными

предпочтениями или наиболее низкой ценой. При разработке данной панели использовались современные технологии Web-разработки, такие как: PHP5, HTML5, CSS3, MySQL. Модули регистраторов представляют собой унифицированный программный интерфейс, состоящий из методов, через которые передаются данные пользователя, а также информация о проводимом действии (регистрация и продление, обновление DNS серверов и состояния делегирования, изменение регистрационных данных). Данные методы унифицировано возвращают информацию о выполненном действии в случае успеха или код ошибки, если данные, переданные регистратору, не удовлетворили его.

Планируется техническая доработка системы, внедрение новых алгоритмов, подключение новых модулей различных регистраторов, масштабирование системы во времени. Исходя из всего вышесказанного, следует вывод, что данная система будет востребована благодаря своей доступности и функционалу.

## **Способы перебора всех возможных комбинаций заданного регулярного выражения**

Ковалев А.В.

Научные руководители – Мокряков А.В., Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

На данный момент времени нет алгоритма, способного посчитать все возможные комбинации заданного регулярного выражения. Перед нами стоит задача разработать такой алгоритм или доказать невозможность его реализации.

### 1. Терминология

Регулярные языки могут быть заданы:

- регулярными множествами или выражениями;
- конечными автоматами.

#### 1.1. Регулярные множества

Для каждого множества можно найти регулярное выражение, обозначающее это множество. Примером регулярного выражения (множества) могут служить следующие выражения:  $ab$ ,  $ab^*$ ,  $a|b$ ,  $(ab|c)^*$ .

Для последнего выражения соответствуют следующие множества:

$(ab|c)^* = ab | abc | abab | c | cc | cab \dots$  и т.д.

#### 1.2. Конечные автоматы

Для распознавания регулярных множеств служат конечные автоматы – наиболее известный подход к реализации сопоставления с регулярными выражениями. По регулярному выражению строится конечный автомат, в котором одно или несколько состояний объявлены «начальными», одно или несколько состояний – «терминальными» (конечными) и некоторые состояния соединены дугами.

Автомат называется недетерминированным, т. к. в каждый момент могут быть активны сразу несколько состояний. После проектирования такого автомата, наглядно можно понять, сколько возможных множеств можно перебрать, удовлетворяющих заданному регулярному выражению.

Для упрощения и ускорения сопоставлений, из автомата убирают дуги, обозначающие немедленный переход из одного состояния в другое. Процесс удаления таких дуг называется «детерминизацией», а сам автомат – «детерминированным».

Недостатком такого автомата является увеличение его размеров, состояний и переходов, влияющих на конечный перебор всех вариантов.

## 2. Постановка задачи

Наша задача состоит в том, чтобы выбрать подходящий путь для нахождения всех возможных комбинаций, и создать для такого решения свой алгоритм.

- Разберём следующие вопросы:
- Упрощение регулярного выражения
- Метод вычисления количества возможных вариантов
- (с повторениями и без)
- или
- Метод перебора всех возможных вариантов комбинаций в ДКА (детерминированном конечном автомате).

### 2.1. Упрощение регулярного выражения

Для двух вышеописанных случаев мы будем использовать алгоритмы упрощения исходного регулярного выражения:

#### 2.1.1 Условие избыточности

Если мы имеем некоторое множество с алфавитом  $L = \{x, y, xy \dots\}$ , определенное квантификатором “+” (от одного и более), то мы можем сделать эквивалентную замену:

$$x+ = xx^*$$

$$(xy)+ = xy(xy)^*$$

#### 2.1.2 Условие конечности множества

Если в регулярном выражении имеется квантификатор “\*” (от “ε” до ∞), то количество комбинаций, подходящих заданному регулярному выражению, неограниченно много. Для устранения неопределённости такого рода, используем следующую замену:

$$xx^* = x\{1,50\} \text{ (от 1 до 50)}$$

Также имеют смысл следующие эквивалентные замены:

$$(x^*)^* = x^*$$

$$x|x = x$$

$$(xy)|(yx) = (yx)|(xy)$$

### 2.2. Метод вычисления количества возможных вариантов

Найдем количество возможных комбинаций в следующем регулярном выражении:

$$A?B?A?B?$$

Если у нас слагаемые (A, B) не повторялись бы, т. е. регулярное выражение имело бы следующий вид:

$$A?B?C?D?$$

то решением было бы выражение  $(2 * 2 * 2 * 2) - 1 = 15$ , где 2 – кол-во состояний (может быть или не быть).

В нашем же примере переменные повторяются, т. е. вариантов 15 минус повторения.

$$АВАВ \text{ или } АВАВ$$



АВАВ или АВАВ

АВАВ или АВАВ или АВАВ и т.д.

Для данного и аналогичных примеров найти общее математическое решение по нахождению пересечений таких комбинаций не удаётся. Проблемой служит неизвестное поведение роста некоторой функции повторений таких комбинаций с добавлением новых слагаемых или групп чередующихся слагаемых. Например,  $A^?A^?B^?A^?B^?A^?B^?A^?A^?$ , где группа «АВА» может встретиться больше 6 раз, каждая из которых разбивается на ещё отдельные такие группы.

### 3. Вывод

Подбор математической модели для решения поставленной задачи невозможен из-за выше описанных причин. В нашем случае для решения данной задачи остаётся второй метод – метод перебора всех возможных вариантов комбинаций в ДКА (детерминированном конечном автомате).

Предметом нашей следующей задачи является детерминированный конечный автомат. Нашей задачей будет являться создание механизма детерминированного автомата для перебора всех возможных комбинаций по заданному регулярному выражению, а также обеспечение высокой скорости для вычисления экспоненциально растущих состояний детерминированного автомата.

## Применение преобразований Фурье в анализе звукового сигнала

Комаров А.С.

Научный руководитель – Силуянов А.В.

МАИ, г. Москва

В настоящее время существует множество различных алгоритмов анализа и модификации звукового сигнала, работающие с частотной информацией, но на практике в большинстве случаев оказывается, что эта информация представлена в виде зависимости амплитуды от времени, что затрудняет применение таких алгоритмов. Чтобы обработать подобную информацию, сначала необходимо перевести ее в частотный вид, затем произвести с ней все желаемые манипуляции, а после снова преобразовать в исходный вид. Здесь нам на помощь приходит дискретное преобразование Фурье.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N}kn} \quad k = 0, \dots, N-1$$

Дискретное преобразование Фурье – одно из преобразований Фурье, широко применяющееся в алгоритмах обработки цифровых сигналов, компрессии изображений и звуковых данных, а также в других областях науки, связанных с анализом частот в дискретном сигнале. У такого преобразования есть ряд преимуществ:

- Все преобразования являются обратимыми, причем обратное преобразование имеет схожую форму;
- Комплексные экспоненты являются собственными функциями дифференцирования, что позволяет превращать линейные дифференциальные уравнения с постоянными коэффициентами в обычные алгебраические;

- Оно превращает сложную операцию свертки в простое умножение.

Дискретное преобразование Фурье требует в качестве входных данных дискретную функцию. Такую функцию можно создать путём дискретизации. Оно помогает в решении дифференциальных уравнений в частных производных и свертки. Также можно отметить его использование в статистике, при анализе временных рядов. Однако при работе со звуком зачастую возникает необходимость обработки в реальном времени, и применение дискретного преобразования Фурье, вычисляемого за  $O(n^2)$  действий, затруднительно. Вместо него используют так называемые быстрые преобразования Фурье.

Быстрое преобразование Фурье – это математическая функция, которая позволяет проводить спектральный анализ сигналов. Оно имеет сложность  $O(n \log(n))$ , а значит выполняется значительно быстрее, однако имеет один недостаток. Теория быстрого преобразования Фурье строится на предположении о периодическом сигнале, и для идеального преобразования нужно очень точно выделить период сигнала, один или несколько, что в случае с реальным сигналом сделать невозможно. Такая ситуация приводит к разрывности исходной функции к искажению расчетного частотного спектра. Для подавления краевых эффектов разрывности реальных функций используются оконные функции, которые снижают амплитуды в краевых точках, что способствует улучшению результатов преобразований. Существует много разновидностей оконных функций, например: прямоугольное, Хэмминга, Ханнинга, Блэкмана-Харриса и др. Все они дают различные результаты, как по точности, так и по частотному разрешению и используются для разных видов анализируемых сигналов.

## **Реализация системы контроля версий для разработки в Siebel CRM**

Косяков Ю.Ю.

Научный руководитель – Гуснин С.Ю.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день в системе контроля версий, встроенной в широко используемую систему управления взаимодействием с клиентами (CRM) Siebel от компании Oracle существует ряд недостатков.

Встроенная система контроля работает только в том случае, если разработка ведётся посредством переноса текущей версии объектов на локальную систему разработчика. При разработке и изменении объектов непосредственно на сервере предыдущие версии объектов не сохраняются, что порой доставляет неудобства, а иногда и приводит к серьезным проблемам в производстве.

Все данные об объектах, из которых строится CRM-система, хранятся в базе данных, в которой также содержатся пользовательские данные. Непосредственно система для работы с объектами извлекает данные о них из базы данных и посредством проприетарного алгоритма компилирует их в файлы с расширением `srf`, который в дальнейшем используется сервером (SiebelServer) и менеджером объектов приложения (ApplicationObjectManager).

При изменении объекта разработчиком данные о нем изменяются также и в базе без сохранения предыдущего состояния. Соответственно при

возникновении ошибок в изменённом объекте вернуть объект в работающем состоянии представляется затруднительным.

Существует несколько возможных решений данной проблемы, но мы рассмотрим только два из них:

- Создание программы, напрямую взаимодействующей с базой данных и перед каждым изменением сохраняющей по запросу разработчика предыдущее состояние объекта. Данный способ является относительно легко реализуемым, но не стабильным и небезопасным.
- Создание полноценной системы контроля версий на языке Java с использованием технологии SiebelJavaDataBean, предоставляемой компанией Oracle для прямого взаимодействия с менеджером объектов системы управления взаимодействием с клиентами (Siebel CRM ApplicationObjectManager). Данное решение более трудоемкое в создании, но при должном качестве реализации обеспечивает максимальную стабильность и гибкость полученного решения.

SiebelJavaDataBean – это набор библиотек, написанных на языке Java от компании Oracle. Он позволяет получать доступ ко всем данным системы Siebel, в том числе на запись и чтение любого объекта. По аналогии с существующим системами контроля версий в различных областях, система контроля для Siebel должна позволять разработчику приложения быстро создавать резервные копии каждого объекта по отдельности, всех объектов одного типа, таких как бизнес-компоненты, представления, таблицы и т.д., создавать ветвления для параллельной разработки двумя и более разработчиками, систему блокировки редактируемого объекта (на основе встроенной в Siebel системы блокировки).

Данное решение позволяет значительно увеличить эффективность разработки посредством увеличения темпа и качества разработки, а также минимизировать эффект от ошибок, сделанных разработчиком в процессе разработки.

## **Переменные в CSS (пользовательские свойства)**

Морозов А.С.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

Даже на небольших сайтах, таблицы стилей могут содержать большое количество кода, в котором встречается много повторяющихся значений. Например, цветовая схема, используемая в документе, может содержать три основных цвета, многократно применяющихся в различных элементах. Чтобы изменить основной цвет, необходимо пройти по всему файлу и изменить его значение. Задача еще больше усложняется, когда стили формируются из нескольких CSS файлов.

Во многих языках программирования есть переменные, специальные идентификаторы, хранящие определенное значение. До недавнего времени в CSS отсутствовал такой функционал, и разработчики использовали различные препроцессоры, чтобы упростить разработку и поддержку своих проектов. Но переменные в препроцессорах больше похожи на константы, они статичны, их нельзя изменять после определения. Теперь в CSS появились настоящие динамические переменные. Спецификация определяет подмножество свойств,

называемых пользовательскими. Имена таких свойств начинаются с двух дефисов, а значением может быть любое допустимое значение CSS, включая ключевые слова. В отличие от остальных CSS свойств, пользовательские свойства регистрозависимы, так `--color` и `--COLOR` – это разные свойства.

Пользовательское свойство определяет переменную, значение которой можно получить, используя функцию `var()`. Первый аргумент функции – это имя пользовательского свойства, значение которого будет подставлено вместо `var()`. Второй, необязательный, аргумент – значение по умолчанию, которое будет использовано, если пользовательское свойство не определено или содержит пустое значение (`--color;`). Функция `var()` может быть любой частью значения в любом свойстве (в том числе пользовательском), и не может быть нигде использована кроме значения свойства.

```
:root {
  --main-color: #09d;
  --margin: 2em;
}
article {
  padding-top: calc(var(--margin) * 2); /* 4em */
  color: var(--main-color); /* #09d */
  background-color: var(--bg-color, #fff); /* #fff */
}
```

**Листинг 1.** Пример использования CSS переменных

В CSS переменные участвуют в каскаде, т.е. переменная определенная где то в родительском элементе, может быть использована или переопределена в любом дочернем элементе.

```
body {
  --margin: 10px;
}
body >img {
  --margin: 5px;
  margin: var(--margin); /* 5px */
}
```

**Листинг 2.** Переопределение переменной в дочернем элементе

Если после подстановки переменной, значение становится не валидным для этого свойства (в свойстве `color` вместо цвета получили пиксели), то значением свойства будет, либо вычисленное значение родителя, если оно наследуется, либо значение по умолчанию. Все свойства, использующие функцию `var()` будут автоматически обновляться при изменении переменной переданной в `var()`.

Переменные в CSS – это новый мощный инструмент разработчика. Например, можно вынести цвета, шрифты и размеры отступов в переменные для более удобного изменения. А реализовать адаптивный макет с использованием сложных сеток гораздо проще с помощью переменных и медиа-выражений. Плюс ко всему, переменные – это свойства элемента, их можно получать и изменять с помощью JavaScript, что обеспечивает еще больше возможностей их использования.

## **Разработка Web-приложения по организации научных конференций и семинаров с системой обработки заявок (на примере конференции «Гагаринские чтения»)**

Новиков А.Ю.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

Современные Web-приложения являются неотъемлемой частью отрасли Web-разработки. Целью работы было создание структурированного ресурса для обработки заявок участников, обладающего интуитивно понятным пользовательским интерфейсом. В рамках реализации проекта, стояла задача разработки модулей личного кабинета, авторизации, подачи и верификации заявок, а также компоненты для загрузки и управления пользовательскими файлами.

Вся информация о пользователях, секциях и заявках хранится в базе данных MySQL, доступ к которой осуществляется при помощи расширения PHPDataObjects. Это обеспечивает безопасность и защиту ресурса от несанкционированного доступа, а также гибкость разработки.

Обычный посетитель (гость) имеет доступ к перечню предстоящих конференций (секций), а также он может просматривать программу, т.е. список тем и авторов утвержденных докладов. При регистрации пользователь создает личный профиль с информацией о себе, а после авторизации, попадает в личный кабинет, где имеет возможность подавать свои заявки, проверяемые в свою очередь секретарями.

Личный кабинет секретарей отличается возможностью менять общую информацию о конференции (такую как дата и время начала, описание и т.д.) в рамках своей секции, а также просматривать, принимать и отклонять заявки, поступившие на секцию.

Администратор проекта обладает самыми высокими полномочиями: только он может назначить определенного пользователя секретарем определенной секции. Таким образом, разграничиваются права доступа к сервису.

Обычный посетитель (гость) имеет доступ к перечню предстоящих конференций, а также он может просматривать программу, т.е. список тем и авторов утвержденных докладов. При регистрации пользователь создает личный профиль с информацией о себе, а после авторизации, попадает в личный кабинет, где имеет возможность подавать свои заявки, проверяемые в свою очередь секретарями.

Личный кабинет секретарей отличается возможностью менять общую информацию о конференции (такую как дата и время начала, описание и т.д.) в

рамках своей секции, а также просматривать, принимать и отклонять заявки, поступившие на секцию.

Администратор проекта обладает самыми высокими полномочиями: только он может назначить определенного пользователя секретарем определенной секции. Таким образом, разграничиваются права доступа к сервису.

Каждой заявке может быть присвоен один из пяти статусов:

- ожидание загрузки файлов;
- ожидание проверки руководителями;
- утвержденная;
- отклоненная;
- отозванная по желанию пользователя.

При смене статуса докладчику автоматически отправляется соответствующее уведомление на электронную почту, а также сохраняются дата и время изменения.

В качестве стилового фреймворка был использован Bootstrap 3, обладающий преимуществами для подобного рода Web-приложений, а именно: интуитивно понятными элементами взаимодействия с пользователем, легкостью разметки страницы, а также высокой скоростью загрузки.

Готовых некоммерческих систем управления конференциями в открытом доступе практически не существует, а коммерческие продукты предоставляют слишком громоздкий функционал, поэтому представленное в работе решение является оптимальным для выполнения возложенных на него задач.

## **Межпроцессное взаимодействие в архитектуре синхронизатора логических структур декларативного языка моделирования динамических Web-приложений**

Новиков В.Е.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

Во время разработки ядра интерпретатора были выявлены проблемы с оперативным обновлением внутренних структур данных. В случае если разработчик пожелает поменять структуру BML, это может повлечь значительные изменения во внутренних архитектурах, в том числе и в структуре базы данных. Их перестроение может занимать продолжительное время. Таким образом, если логика выполнения и процесс перестроения будут выполняться линейно, это повлечёт за собой серьёзные задержки в выполнении пользовательского запроса.

Для решения такой проблемы было принято решение разделить механизм перестроения внутренних структур и непосредственной обработки пользовательских запросов. Перестроение асинхронно выполняет синхронизатор. Задача синхронизатора обеспечить безболезненный переход от одной логики к другой, в то время как, интерпретатор хранит в оперативной памяти старые данные, загруженные ранее, и исполняет их до полного обновления. После прохождения обновления интерпретатор может начать исполнять логику без задержек, согласно изменениям разработчика, не

беспокоясь при этом, что возникнут ошибки при использовании обновлённых структур.

В основу разработки эффективного программного комплекса, обеспечивающего синхронизацию данных, входит грамотно решённая задача распределения выполняемых функций во времени. К примеру, функционал перестроения базы данных не может выполняться вместе с основным алгоритмом, т.к. само перестроение займет продолжительное время, что приведёт к блокировке работы программы при её последовательном исполнении.

Межпроцессное взаимодействие было решено организовать с использованием технологии неблокирующих сокетов «non-blockingsocket». Благодаря отсутствию блокировки программа не будет ожидать ответа одного клиента, а будет обрабатывать только тех, кто уже готов отправить данные. Это позволит нам значительно увеличить скорость ответа на запросы интерпретатора.

Синхронизатор является неотъемлемой частью единого программного комплекса, обеспечивающей вынесение критически-затратных функций интерпретатора в отдельное приложение и их распределение во времени. В процессе разработки было решено множество технических задач, а сам проект является комплексным инженерным решением в сфере сетевых технологий. Архитектура синхронизатора построена с учётом распределения во времени, что позволяет использовать программный комплекс на высоконагруженных системах.

## **Разработка программы для взаимодействия студенческой группы в сервисе Telegram**

Павлов И.В.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

Telegram – бесплатный кроссплатформенный мессенджер для смартфонов и других устройств, позволяющий обмениваться текстовыми сообщениями и медиафайлами различных форматов. Его достоинствами являются высокая защищённость данных пользователей и их переписок, простота использования и скорость доступа к сервису. Именно эти качества являются решающими при выборе сервиса для реализации программы-бота по взаимодействию студенческой группы.

Программа находится на сервере разработчика. Она регистрируется в сервисе Telegram и доступна к использованию всеми пользователями. Чаще всего студенты используют почтовые сервисы или социальные сети для взаимодействия между собой. Плюсы данного бота относительно распространённых способов:

- Скорость доступа
- Защищённость информации
- Отсутствие лишних данных

Для доступа к программе необходимо добавить бота в список контактов.

Бот имеет следующие основные команды:

`/createGroup` – создание группы;

`/joinGroup [login] [password]` – войти в группу;

`/leaveGroup` – покинуть группу;

`/addPost` – добавить новость в группу;

`/news [count]` – посмотреть последние посты;

`/files` – получить список файлов, находящихся в группе;

`/getFileLink [fileID]` – получить ссылку на скачивание файла;

`/setShedule [file | text]` – добавить расписание в файловом или текстовом формате;

`/getShedule` – получить расписание;

`/sheduleNow` – получить расписание на данный момент времени.

Для разработки данного комплекса были поставлены следующие задачи:

- Выбрать сервис, язык и технологии для разработки;
- Сформулировать перечень возможностей программы;
- Спроектировать модель базы данных.

По итогам работы был выбран сервис Telegram, язык программирования C# 6.0 и СУБД MySQL. В перспективах развития проекта прослеживается добавление нового функционала, который позволит покрывать нужды руководителя нескольких групп.

## **Разработка Web-ориентированного приложения для обработки клиентской информации Steam**

Палка Н.П.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

В наше время достаточно развита система сервисов поставки лицензионного программного обеспечения. Одним из таких сервисов является Steam. Помимо лицензирования он также является своеобразной социальной сетью, где пользователи сети могут достаточно широко взаимодействовать друг с другом. Клиентская база Steam превышает 125 миллионов человек. Среднее число пользователей, которые входят в Steam ежедневно – 7-8 миллионов человек. Но графический интерфейс оставляет желать лучшего: для получения информации о пользователе приходится прилагать относительно большое количество усилий, поэтому было решено разработать сервис, который бы позволял получать наиболее полную информацию о человеке и выводил это на одну страницу.

Работа была разбита на несколько подзадач:

- Получение уникального ключа разработчика Steam для получения доступа к API;
- Разработка/поиск библиотеки для получения необходимых данных;
- Разработка адаптивной Web-страницы для вывода данных на экран.

Для решения поставленных задач была реализована система, основанная на ASP.NET MVC. Разработанное Web-приложение полностью адаптивно и корректно отображается на любых устройствах, таких как PC или смартфоны.



Получение клиентской информации реализовано с помощью сторонних внешних модулей: PortableSteamWebAPI, SteamKit.

Пользовательский интерфейс представляет собой Web-страницу, где пользователю предлагается ввести ID или никнейм клиента Steam, после чего вся необходимая и полная информация выводится в таблице. Интерфейс интуитивно понятен и дружелюбен.

Программа была реализована на языке C# с применением технологий ASP.NET MVC, TwitterBootstrap, JavaScript. Для добавления внешних модулей использовался NuGetPackageManager.

## **Переполнение буфера в низкоуровневых системах**

Проценко С.Д.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

В настоящее время переполнение буфера является наиболее часто применяемым способом взлома компьютерных систем. Переполнение буфера может вызывать аварийное завершение или зависание программы, ведущее к отказу обслуживания. Отдельные виды переполнений позволяют злоумышленнику загрузить и выполнить произвольный машинный код от имени программы и с правами учетной записи, от которой она выполняется.

Предположим, что 10-байтный буфер предназначен для хранения пароля, предоставляемого пользователем. Если программа не проверяет количество символов, которые были введены пользователем, и записывает 14 байт в буфер, то лишние 4 байта будут помещены поверх адреса возврата. Таким образом, это изменит адрес, по которому будет передано управление, когда завершится подпрограмма, и с которого программа продолжит исполнение после этого. С одной стороны, пользователь, сделавший это ненамеренно, добавит некую случайную последовательность. Однако пользователь может подставить в качестве адреса возврата и требуемый ему адрес. Это вызовет переход управления в любую точку программы по его выбору. В результате может быть выполнен произвольный код, который он поместил в текущую область памяти с привилегиями данной программы. Чтобы такого не случилось, мы можем представить десятый байт как конец строки, что приведет к отбрасыванию последующих данных, однако не стоит забывать, что это может привести к нежелательным последствиям, в том числе, при определенных условиях, к повышению уровня привилегий. Как правило, требуется более тщательная обработка подобных ситуаций.

Для предотвращения переполнения буфера используют различные приемы. Рассмотрим следующие примеры: система обнаружения вторжения (служит для обнаружения и предотвращения попытки удаленного использования переполнения буфера), защита от повреждения стека (служит для проверки, не был ли изменен стек вызова), защита пространства исполняемого кода в UNIX-подобных системах (служит для ограничения большинства действий злоумышленников путем рандомизации адресного пространства и/или запретом одновременного доступа к памяти на запись и исполнение), защита пространства исполняемого кода в системе Windows (служит для проверки

целостности стека), использование безопасных библиотек (для строк и списковых структур данных, которые были разработаны для предотвращения и/или обнаружения переполнений буфера, позволяет избежать многих уязвимостей).

Таким образом, уязвимости, вызванные переполнением буфера, довольно распространены в информационной сфере и являются актуальным предметом исследования в отрасли информационной безопасности.

## **Облачная платформа AmazonSimpleStorageService и её особенности**

Пятницкий Н.С.

Научный руководитель – Силуянов А.В.

МАИ, г. Москва

Появление облачных технологий позволило любому пользователю иметь в распоряжении продвинутую инфраструктуру для хранения файлов. Она выдержит любую нагрузку пользователей; может бесконечно расширяться и её стоимость намного ниже, чем построение собственного центра обработки данных.

Аббревиатура AmazonS3 обозначает AmazonSimpleStorageServer – простое хранилище файлов от Amazon. В дата-центрах Amazon используется специально разработанная архитектура и распределенные файловые системы, позволяющие бесконечно масштабироваться. Те же технологии, которыми давным-давно использовались крупные IT-компании для хранения огромных массивов данных, но в виде услуги для пользователей. Amazon S3 гарантирует сохранность данных. Любой объект в избыточном количестве хранится одновременно в нескольких местах. Как только объект попадает в хранилище, S3 обеспечивает его надежность, проверяет и в случае необходимости увеличивает недостающую избыточность данных.

Несмотря на большой рынок облачных хранилищ, Amazon до сих пор остается самым первым и наиболее стабильным хостингом. Риск потери пользовательских паролей, данных стремится к нулю. Регистрация в нём строгая, а набор услуг обширен, что позволяет хранить различные объемы информации.

Amazon S3 – это очень простое хранилище. Когда пользователь загружает данные, им присваивается уникальный ключ объекта, который в дальнейшем может быть использован для получения этих файлов. Каждый объект находится внутри так называемого Bucket'a – это основное понятие S3, означающее контейнер для хранения любого количества объектов. Но поскольку ключ может быть строкой, то он может имитировать иерархию каталогов. Проще говоря, если у нас есть файл thesis.zip в каталоге science, то при загрузки такого файла в «облако» S3 допустимо присвоить ему ключ science/thesis.zip.

Название Bucket'a должно быть уникальным, потому как он является идентификатором для доступа к объектам Bucket'a извне. Например, вышеупомянутый объект с названием science/thesis.zip находится в BucketCloud'e, то к нему можно обратиться, используя URL <http://cloud.s3.amazonaws.com/science/thesis.zip>. Обращаться к Bucket'am может либо только владелец, либо остальные пользователи, если им предоставить

доступ. С помощью атрибутов объекта включается шифрование, настраивается безопасность и права доступа для конкретных пользователей, что актуально для корпоративных целей. Также есть необычная услуга: за скачку файлов будет сниматься плата не с владельца облака, а с пользователя, кто заинтересован в запрашиваемой информации. Однако в таком случае нивелируется анонимность, т.к. нужно точное определение пользователя, с которого взимается плата.

Amazon S3 предоставляет API с широкими возможностями. Для удобства пользователя существует плагин S3Fox для браузера Firefox. Он предоставляет полный функционал в хранилище S3. В целом, он выглядит он как обычный файловый менеджер – с одной стороны локальные диски пользователя, с другой – его облачное пространство. Что немало важно, этот плагин имеет вкладки, позволяющие работать с несколькими учетными записями Amazon. Пользователь, не владеющий техническими нюансами, сможет освоить интерфейс, т.к. он интуитивно понятен.

Как мы видим, Amazon S3 очень удобное облачное хранилище. Несмотря на то, что услуги сервиса платные, AmazonS3 гарантирует сохранность личных данных пользователя, обеспечивая их постоянную доступность из любой точки планеты.

## Элемент-запросы с помощью EQCSS

Рузанов А.М.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

Элемент-запросы – это новый способ мышления в адаптивном Web-дизайне, где различные реагирующие условия применяются к элементам на странице помимо ширины или высоты браузера.

За последнее время объем трафика с мобильных устройств значительно возрос, пользователям стало удобно просматривать необходимую информацию с телефонов и планшетных ПК, находясь в пути. Перед разработчиками появилась непростая задача: обеспечить корректное отображение страниц – ведь все удобство переносных устройств заключается в их минимизированном размере, и диагональ экрана скромных размеров не может не повлиять на восприятие при просмотре интересующего контента.

С целью исключить сложные переадресации и сохранить канонический URL, разработчики отказались от созданий двух версий сайта и приступили к реализации так называемого «резинового» макета при помощи таблицы стилей. Вместо атрибута `width` для контейнеров стали указывать `max-width`, а `height` был заменен атрибутом `min-height`, чтобы крупный шрифт или многострочный текст не нарушал границы контейнера. Картинки стали появляться с размерами, рассчитанными в процентном отношении к странице. Так появился «резиновый» макет – хорошая идея, но несет вместе с собой некоторые ограничения. К тому же, ссылаясь на ранее сказанное, почему лишь две версии сайта (мобильная и основная) являются решением? Ведь, несмотря на то, что ширина области просмотра у браузеров мобильных устройств на базе Android и iOS по умолчанию 800px и 980px соответственно, экраны мобильных устройств сильно различаются по своим возможностям.

К счастью все современные браузеры сейчас поддерживают медиа-запросы. Медиа-запросы выявляют устройства с различными разрешениями экрана и некоторыми другими характеристиками и создают адаптивный макет. Подобный макет подстраивается под разрешение монитора и окна браузера. При достижении определенных заданных значений медиа-запрос способен менять стиль на более удобный для пользователя и не только. Например, использование метатега `device-width` в сочетании с медиа-запросами позволяет нам при изменении ориентации экрана менять целиком макет страницы.

Можно сказать, что в EQCSS усовершенствовались датчики распознавания окружающего и внутреннего пространства. В отличие от `@media`, `@element` запросы знают не только ширину и высоту браузера. Мы способны прописывать реагирующие условия для целого ряда различных ситуаций: определенного количества текста или дочерних элементов. Подключаемый модуль EQCSS, написанный на чистом JavaScript, позволяет уже сегодня писать элемент-запросы внутри CSS.

Опишем порядок действий, необходимый для использования EQCSS. Сначала необходимо добавить скрипт перед окончанием тела страницы HTML. Далее самым простым способом задействовать CSS путём подключения через `<style>`, либо `<link>` в HTML. В данном CSS допустимо использовать нотацию EQCSS. Также если, мы все-таки решили изолировать EQCSS от CSS, у нас есть возможность хранить его во внешних файлах `.eqcss` и связывать с помощью элемента `<script>` следующим образом:

```
<script type="text/eqcss" src="styles.eqcss"> ... </script>
```

Либо сразу включить его в HTML-код страницы:

```
<script type="text/eqcss"> ... </script>
```

Тот факт, что данная структура подстраивает содержимое страницы не только под браузер, а главным образом меняет контент в зависимости от различных элементов, содержащимися внутри страницы, значительным образом улучшает адаптацию тяжеловесных сайтов в мире мобильных устройств.

## **Разработка математической модели оценки эффективности Web-технологий в сравнении с методологией BlockSet и языка BML**

Старчаус И.С.

Научные руководители – Мокряков А.В., Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

Повсеместное развитие сети Интернет привлекает все больше пользователей к освоению технологий Web-разработки, предоставляющих им широкие возможности для созданию своих собственных интернет-проектов. Но в тот самый момент, когда начинающий разработчик знакомится с отраслью, у него возникает проблема выбора наиболее гибкого, эффективного, но в тоже время простого в освоении инструментария. Именно решению этой проблемы и посвящена данная работа. В ней рассмотрено, как можно максимально точно исследовать эффективность инструментария, благодаря разработке оценочной модели. Примером такой модели послужит исследование эффективности декларативного языка моделирования BML, который является основой методологии BlockSet.

Разработка математической модели, как правило, начинается с исследования предметной области, представляющей собой здесь конкурирующие технологии. В данном случае сравнение происходит между языками BML, PHP, Python, а также с наиболее популярными инструментариями, используемыми с представленными языками. Далее необходимо разработать методику сравнения и определить набор функционала, который может предоставить технология. Но из-за того, что понятие «функционал» достаточно обширное, его стоит рассматривать на уровне более мелких составляющих. В данном случае – это анализ и сравнение по критериям конкретных блоков. В качестве критериев, можно выделить следующие:

- Восприятие – данный критерий помогает определить, насколько понятен код обычному человеку, который не обучался этому ранее;
- Скорость обучения – определение зависимости результата обучения от времени;
- Гибкость – как много можно реализовать различного функционала с помощью простых конструкций, не прибегая к необоснованным усложнениям;
- Трудоемкость;
- Инструкции;
- Набор рецептов – сравнение по данному критерию поможет определить, насколько просто и быстро можно реализовать поставленную задачу, с помощью готовых рецептов;
- Скорость обработки;
- Затраченные ресурсы.

Стоит обратить внимание на то, что такие пункты, как «восприятие» и «скорость обучения» объединяются в общее понятие «порог вхождения» и напрямую зависят от количества времени, затраченного на изучение технологии (в данном случае, языка BML и методологии BlockSet в целом), что внесёт свои изменения в создание метода подсчёта коэффициента. Кроме того, необходимо учитывать то, что набор функционала напрямую связан с таким понятием, как «вероятность ошибки». Для того чтобы избежать такой зависимости в течение всего времени разработки проекта необходимо уделять этому должное внимание.

Исходя из вышесказанного, следует вывод, что задача создания оценочной модели и выражения численных характеристик коэффициентов эффективности позволит максимально объективно определить как достоинства, так и недостатки разрабатываемого инструментария в сравнении с конкурентами.

## **Разработка кроссплатформенных мобильных приложений средствами Web-технологий**

Тарасенко С.С.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день рынок мобильного программного обеспечения предлагает пользователям широкий выбор платформ, каждая из которых имеет свои возможности и особенности реализации. Учитывая этот факт, нетрудно

представить несколько сложной и затратной с финансовой точки зрения задачей становится разработка универсального ПО для всех мобильных платформ.

Для решения данной проблемы компания NitobiSoftware разработала фреймворк PhoneGap (ApacheCordova), позволяющий при помощи Web-технологий (HTML, CSS, JavaScript) собирать полноценные кроссплатформенные приложения. Основной средой исполнения PhoneGap-приложения является браузер (конкретно, компонент WebView мобильной операционной системы), который отображает оптимизированные под мобильные устройства Web-страницы. Помимо всего прочего, PhoneGap расширяет стандартное API компонента WebView системы, добавляя такие возможности как доступ к сенсорам устройства, доступ к файловой системе и нативные уведомления.

Основным принципом работы фреймворка PhoneGap является автоматическое разделение кода под каждую из используемых в проекте мобильных платформ, достигаемое за счет единого программного интерфейса – API фреймворка (реализованного на JavaScript). Например, для того, чтобы приложение отобразило нативное уведомление, нет необходимости внедрять программный код для каждой платформы, достаточно вызвать соответствующий метод PhoneGap API, указав необходимые параметры.

Кроме основных возможностей фреймворка PhoneGap, разработчику предоставляется богатейший выбор различных инструментариев Web-технологий. Например, это различные JS-библиотеки и фреймворки, такие как jQuery, AngularJS, VueJS. Колоссальные возможности при разработке интерфейсов и представлений, благодаря возможностям CSS3 и HTML5.

К сожалению, у данного подхода также есть свои недостатки. Одним из них является относительно низкая производительность по сравнению с нативным приложением. Это объясняется тем, что средой исполнения PhoneGap-приложения является браузер. Помимо этого, также следует понимать, что в каждой мобильной платформе компонент WebView использует различные движки. Android и iOS используют Webkit, WindowsPhone использует InternetExplorer (в новых версиях – Edge), а Firefox OS использует Gecko. Каждый из этих движков также имеет свои особенности, что говорит о том, что на выходе приложение, построенное за счет Web-технологий, скорее всего, будет иметь некоторые различия в работе на разных платформах. Но, даже учитывая все выше приведенные нюансы, оптимизация приложения, собранного при помощи такого инструмента как PhoneGap/Cordova будет гораздо проще и менее затратным, нежели разработка нативного приложения под каждую платформу.

## **Моделирование связей сущностей в MySQL и PHP в рамках ресурса о свободном программном обеспечении**

Хорьяков И.В.

Научный руководитель – Гущин А.Н.

БГТУ «ВОЕНМЕХ», г. Санкт-Петербург

Сегодня современному пользователю для решения поставленной задачи необходимо определиться с используемым при этом программным

обеспечением (ПО). Это ПО может быть как платным, так и свободным. Свободное программное обеспечение (СПО) распространяется бесплатно при условии соблюдения лицензионных соглашений. В сложившихся обстоятельствах свободные лицензии становятся основным механизмом, позволяющим пользователям не нести лишние финансовые затраты, а авторам технологично и легально передавать неопределенному кругу лиц права на использование своих разработок.

Отличительной особенностью ресурса о свободном программном обеспечении является поиск необходимого продукта по требуемому набору выполняемых функций, обрабатываемых и генерируемых форматов, по нужной операционной системе и свободным лицензиям.

Отсюда следует, что база данных должна содержать в себе данные о функциях, форматах, лицензиях и операционных системах, соответствующих каждой программе. Необходимо обеспечивать ссылочную целостность базы данных. Обычно это достигается путём организации связей между таблицами по ключам. Но в данном случае мы ввели дополнительные таблицы: `ofp` (обрабатываемые форматы/программа), `vfp` (выполняемые функции/программа), `osp` (операционная система/программа), `lfp` (лицензия/программа), `gfp` (генерируемые форматы/программа). Они были введены в дополнение к основным – `program` (программы), `func` (выполняемые функции), `os` (операционные системы), `offormats` (обрабатываемые форматы), `gformats` (генерируемые форматы), `license` (лицензия).

Заполнение этих таблиц осуществляется с помощью PHP-скрипта, который при добавлении или модификации программы добавляет во все таблицы новые данные или убирает ненужные. При добавлении новых данных необходимо проверять их наличие в соответствующей им основной таблице. Если такие данные уже имеются в таблице, то необходимо изменять только дополнительную таблицу, добавляя новые записи `id` программы и `id` функции/формата/ОС/лицензии. При обновлении уже существующей записи, необходимо сначала удалить несоответствующие записи в дополнительных таблицах, затем обновить необходимые поля в основных таблицах и назначить новые связи в дополнительных.

Дополнительные таблицы в паре с PHP-скриптами имитируют связи между таблицами, обеспечивая ссылочную целостность, что позволяет быстро и эффективно обращаться к базе данных.

## **Общепринятые практики разработки, верстки и дизайна создания «посадочных страниц»**

Храпин С.Н.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

Для начала необходимо дать определение «посадочная страница» или «целевая страница» (`landingpage`) и её предназначение. С одной стороны, это обычная страница, для создания которой используются все те же стандартные технологии верстки (`HTML`, `CSS` и т.д.), для бизнеса – это страница,

подталкивающая пользователей к определенному действию, а для пользователя это страница на которую тот переходит с другого ресурса.

«Целевые страницы» создаются, как правило, по трем основным причинам

- Привлечь новых пользователей, заставив зарегистрироваться и подписаться на рассылку;
- Продать какой-либо продукт или услугу;
- Заставить пользователя скачать и установить то или иное программное обеспечение.

Самой важной частью любой хорошей «посадочной страницы» является элемент под названием «calltoaction» (призыв к действию). Этот элемент буквально заставляет пользователя обратить на него внимание. Например, если мы откроем страницу, посвященную GoogleChrome, то первое что нам бросится в глаза, это кнопка «скачать» по центру экрана – это и есть наш призыв к действию.

Второй элемент по значимости – заголовок. Главное правило заголовка – это его эффективность. Она заключается в том, что бы дать пользователю сразу понять, где он находится и заинтересовать его остаться на странице. На той же самой странице GoogleChrome можно продемонстрировать пример отличного исполнения заголовка.

Следующий элемент – простота. Это очень важный пункт при создании «посадочных страниц». На странице должен быть только один «calltoaction», много свободного пространства и элементы должны явно отделяться друг от друга. На странице не должно присутствовать лишнего текста.

Далее обратим внимание на такой элемент, как траектория взгляда. Элементы страницы должны вести пользователя последовательно по контенту, а не сбивать с толку.

Другой важный пункт – релевантность. При переходе из источника на страницу, она должна быть обязательно посвящена указанному в ссылке материалу.

На первый взгляд, создание посадочных страниц не представляет особой сложности, однако на практике такой процесс включает в себя не только технологические аспекты, но и элементы юзабилити и даже психологии. В комплексе, правильно составленная посадочная страница является эффективным средством для продвижения тех или иных продуктов на рынок, а её создание – сложным процессом, вовлекающий специалистов в области UI/UX, дизайнеров, верстальщиков и фронтенд-программистов.

## **Практика использования трехзвенной архитектуры для построения высоконагруженной системы**

Цимбал А.А.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

В современных высоконагруженных системах одним из самых важных факторов является обработка множества одновременных клиентских запросов. Обычно на помощь приходит трёхуровневая архитектура, или же, как её ещё



называют архитектура Frontend/Backend. Эта архитектура подразделяется на три уровня: Frontend-сервер, Backend-сервер и Storage (хранилище данных).

Сервер Frontend обычно проектируют как легковесный Web-сервер чтобы максимально быстро обрабатывать запросы и при этом затрачивать минимальное количество ресурсов. Частой практикой при построении этого звена является использование программного продукта nginx и написания приложения, работающего по принципу событийно-ориентированного программирования (*англ. event-driven programming*) обработки запросов. В задачу Frontend-сервера входит:

- Отдача статических данных. К таким данным относятся: CSS, JavaScript, файлы изображений и другие неизменяемые данные. Если бы каждый запрос на отдачу статических данных шёл на Backend-сервер, то ему бы не хватало памяти и процессорных ресурсов при обработке первостепенной логики.
- Проксирование (*англ. reverse proxy*) запроса на Backend-сервер. Это одна из самых главных задач Frontend-сервера, которая помогает решить проблему, связанную с медленными клиентами.
- Балансировка нагрузки между Backend-серверами. Хотя это и довольно полезно задействовать сервер, который наименее нагружен, но проблема в том, что этот фактор трудно определить. Поэтому чаще всего Backend-сервер выбирается случайным образом. Редко можно встретить грамотную балансировку нагрузки, ведь иногда более простым решением является увеличение производительности Backend-серверов, когда происходит увеличение их количества (горизонтальное масштабирование), но такое решение не каждый может позволить из-за дороговизны оборудования.

Кроме задач, описанных выше, Frontend-сервер также может выполнять функции кэширования ответа от Backend-сервера, авторизации пользователей, сборки SSI, использования SSL, сжатия данных через gzip, обработки картинок.

Роль же Backend (Application)-сервера заключается в использовании бизнес логики приложения и генерации динамических документов. На каждый запрос, полученный от сервера Frontend, Backend-сервер запускает обработчик в приложении, зависящий от технологии, реализуемой в нем. Исполнение приложения зависит от архитектуры Backend-сервера, то есть является ли приложение совмещённым или вынесено в отдельный демон. При этом также важную роль играет среда запуска приложения, к ним относятся: CGI, FastCGI, SCGI, mod\_php, mod\_perl и др.

Сам по себе Backend-сервер с помощью приложения связывает себя с третьим уровнем – хранилищем данных, к которому относится база данных. На этом уровне все зависит от правильной организации хранения данных и от типа используемой СУБД.

Трёхзвенная архитектура хорошо себя показала на высоконагруженных системах за счёт распределения по уровням, которые обладают своими функциями и своей масштабируемостью. Многие крупные Web-проекты используют данную архитектуру в качестве основы.

## Сервер системы GPS-мониторинга подвижных объектов

Чеглаков И.Н.

Научный руководитель – Филимонов Н.С.

МАИ, г. Москва

В докладе рассматривается разработка серверной части системы GPS-мониторинга подвижных объектов. Результатом является backendWeb-приложение, состоящее, в свою очередь, из двух частей: первая для работы с клиентской частью, вторая – для получения данных с отслеживаемых устройств.

Система представляет собой сервис, который позволяет отображать маршруты и сохранять их. Подобная система может использоваться для любых видов задач отслеживания: контроль автотранспорта, слежение за ценным грузом, наблюдение за детьми и пожилыми родственниками, туризм. Также важным является вопрос безопасности: можно сделать закрытую систему мониторинга треков в пределах одной фирмы или организации и избежать пересылки координат куда-либо еще.

В качестве способа хранения и представления географических координат в разработанном приложении был выбран формат GPX – открытый формат хранения данных о координатах, основанный на XML.

Первая часть сервера представляет собой программу на языке PHP. Этот язык был выбран, поскольку в нем удобно работать с объектной моделью документа (DOM – DocumentObjectModel). Кроме того, в языке PHP есть встроенные функции для работы с форматом JSON (JavaScriptObjectNotation): `json_decode()` и `json_encode()`, которые преобразуют данные JSON в соответствующие типы данных PHP и обратно. В клиентской части системы, написанной на JavaScript, формируются запросы к серверу. Это GET- и POST-запросы, отправляемые через библиотеку jQuery с использованием Ajax. Сам опрос происходит с использованием модели polling. Каждую секунду происходит сканирование папок пользователей и проверка, изменились ли данные с момента последнего просмотра. Если данные изменились, то происходит считывание и проверка, находится ли пользователь в пределах текущего окна. Сервер передает клиенту список всех пользователей в пределах квадрата с указанием их последней известной координаты и времени, когда эта координата была получена сервером. Соответственно, клиент может определять активных и неактивных пользователей. Кроме того, сервер также предоставляет дополнительную информацию по отдельному пользователю: текущую точку, с указанием скорости, высоты над уровнем моря и пользовательских параметров; путь, пройденный за последние сутки, с указанием его длины; планируемый маршрут, если он задан пользователем и другую информацию, предоставляемую устройством. Взаимодействие клиента и сервера реализовано посредством HTTP.

Для реализации второй части прототипа использован язык программирования Python. Данный язык имеет много различных модулей для решения самых разных задач, в том числе и используемую в работе библиотеку SocketServer, с помощью которой можно создать сервер, принимающий данные с навигатора или смартфона в формате NMEA (NationalMarineElectronicsAssociation), и записывающий их в папки пользователя и ведущий журналирование событий.

После подключения устройства на сервер сначала поступает строка, содержащая логин (IMEI – InternationalMobileEquipmentIdentity, международный идентификатор мобильного оборудования), затем – пароль, статус и количество строк в формате NMEA. Далее проверяется, существует ли путь с таким логином и хеш пароля сверяется с хешем, хранящимся в папке пользователя. Для разбора сообщения NMEA используются Питоновская библиотека анализа регулярных выражений (re).

Автором разработан прототип серверной части системы GPS-мониторинга, реализующий функции сбора, хранения и обработки координат. Он функционирует на любом Web-сервере, поддерживающем среды PHP и Python. Вместе с клиентской частью сервер представляет собой полноценную систему GPS-мониторинга.

## **Разработка иерархической системы разграничения прав доступа к данным в методологии BlockSet**

Ярмухаметов Ф.Ф.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

Во многих современных Web-проектах каждый пользователь имеет возможность, каким-либо образом изменять контент, что в свою очередь может привести к нежелательным последствиям. Чтобы избежать несанкционированного редактирования контента используется технология разграничения прав доступа пользователей.

В представленной работе было принято решение использовать принцип разделения прав доступа «CRUD». CRUD (англ. Create, Read, Update, Delete) – группировка прав доступа по типу действий, совершаемых пользователем (создание, чтение, добавление, удаление).

Согласно спецификации методологии BlockSet любой Web-проект состоит из наборов (англ. Set) – коллекций данных, и блоков (Block) – конкретных данных. Следовательно, необходимо определить права доступа для каждой из этих сущностей. Наиболее удобное для этого решение является создание специального блока, который размещался бы в каждом наборе и определял бы права CRUD для набора и блоков, расположенных в нем. Также необходимо задать права для конкретных блоков и наборов, а не на общие группы.

В результате согласно спецификации получается, что объявленный блок прав доступа распространяется на все вложенные элементы в данном наборе. Для того чтобы разграничить применение прав доступа был введен атрибут «scope» (область видимости), который может в качестве значений принимать как имена конкретных наборов и блоков, так и обобщённые значения: self, branch, child.

Атрибут self (на себя) – устанавливает права доступа только на набор, в котором объявлен блок прав доступа, и блоки, входящие в него.

Атрибут branch (ветвь) – устанавливает права доступа на наборы и блоки, в которые вложены в текущий набор, независимо от глубины вложенности.

Атрибут child (дочерний) – устанавливает права доступа на наборы и вложенные в них блоки, которые являются прямыми потомками от текущего набора.

Также допустимы их комбинации. Например «selfbranch» или «selfchild», которые позволяют увеличить область применения прав доступа. В случае необходимости указания прав доступа для конкретных вложенных наборов или блоков допустимо в качестве значений передать их имена через пробел. Имя набора предваряется символом решетки (#), а имя блока символом двоеточие (:).

Для того чтобы разграничить самих пользователей были введены группы. Каждая группа обладает определенными правами. Существует 9 стандартных групп (таблица 1), а также существует возможность создавать пользовательские группы. У каждой группы установлены определенные права доступа.

Название в системе	Название группы	Права доступа	Описание
admin	Администратор	CRUD	Стандартные группы, создаются автоматически
supermod	Супермодератор	CRUD	
moder	Модератор	CRUD	
banned	Заблокирован	----	
<i>owner</i>	<i>Владелец</i>	-RU-	Устанавливает разрешения для владельца (создателя) экземпляра набора.
<i>user</i>	<i>Пользователь</i>	-R--	Любой авторизованный пользователь системы.
<i>search</i>	<i>Поисковый робот</i>	-R--	Устанавливается всем поисковым машинам, индексирующим ресурс.
<i>guest</i>	<i>Гость</i>	-R--	Любой неавторизованный пользователь.
<i>all</i>	<i>Все</i>	-R--	Любой пользователь.

Таблица 1. Стандартные группы прав доступа

Результатом работы является гибкий инструмент контроля доступа к контенту проекта для пользователей. Предусмотрена возможность создавать права доступа как для конкретных пользователей, так и для групп. Проработан функционал разграничения области видимости для различных частей проекта.

## **СЕКЦИЯ № 4. Механика и моделирование материалов и технологий**

Руководитель секции: д.ф.-м.н., профессор Гольдштейн Р.В.,  
зав. лабораторией ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, Член-корр. РАН,  
Заслуженный деятель науки РФ

---

### **Развитие электрофизического метода для неразрушающего контроля и диагностики материалов и изделий в процессе усталостных испытаний**

АбуГазал А.А., Лисенков А.В., Морозов А.А.

Научный руководитель – Сурин В.И.

НИЯУ МИФИ, г. Москва

Для автоматизации контроля электрофизических свойств материалов в процессе усталостных испытаний разработана измерительная система, в основе которой лежат экспериментальные и теоретические представления [1-3]. В состав измерительного стенда входят несколько функциональных узлов и модулей. Образец, представляет собой тонкую металлическую пластину размером 176x50x1,5 мм. Амплитуда и симметричность колебаний пластины могут быть изменены исходя из условий эксперимента. Это позволяет исследовать пластины с подготовленными концентраторами напряжений: отверстиями, надрезами, проточками, а также без концентраторов напряжений. Проектирование стенда производилось с учетом результатов экспериментов, полученных на установке для определения механических напряжений в зубчатом соединении, а также результатов, полученных при циклических испытаниях на изгиб. Благодаря чему достигнуто существенное снижение шумов системы нагружения и увеличена чувствительность измерительной системы. Для автоматизации и эффективного управления экспериментом необходимо производить сбор данных в режиме реального времени, а затем обрабатывать и представлять их в виде графических зависимостей. Сбор экспериментальных данных осуществляется при помощи программно-логических элементов информационно-измерительной системы. Это позволяет регистрировать данные непосредственно с информационных датчиков. Размеры и состав систем мониторинга и управления процессами широко варьируются от рабочих систем с несколькими переменными, до больших распределенных систем управления. Для визуального наблюдения за образованием и ростом трещин использовалась видеокамера. Число электрофизических датчиков при этом было сокращено до трех. Контроль температуры на поверхности образца в процессе циклических испытаний осуществляется при помощи термопары. Разработанный программный комплекс позволяет оперативно обрабатывать поступающую информацию, формировать базу данных и производить необходимые расчеты, используя инструменты CAD, а также содержит необходимые тестовые и диагностические программы.

Литература.

1. Сурин В.И., Оборин С.Б. Обнаружение усталостных повреждений при

многоцикловых испытаниях материалов//Динамика систем, механизмов и машин: Материалы VI Международной научно-технической конференции. – Омск: ОмГТУ, 2007, кн.1, с.345–348.

2. Сурин В.И., Евстюхин Н.А. Электрофизические методы неразрушающего контроля и исследования реакторных материалов. М: МИФИ, 2008. – 167 с.

3. Сурин В.И., Зорина Т.Н., Коротин А.Ф. Поверхностная потенциометрия металлических материалов при длительных усталостных испытаниях// Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. Аннотация докладов. –М.: НИЯУ МИФИ, 2010. т.2. – 344 с.

## **Волны Лэмба в неразрушающей диагностике**

Авершьева А.В.

Научный руководитель – Кузнецов С.В.

НИУ МГСУ, г. Москва

Для неразрушающего контроля (НК) в ракетно-космической отрасли применяются в основном методы акустической, рентгеновской и механической диагностики. Однако ракетно-космическая промышленность стремительно развивается и используются новейшие материалы. Разрабатываются космические аппараты, которые предназначены для длительного использования. Это порождает новые проблемы для неразрушающей диагностики материалов и требует усовершенствования существующих методов НК для эффективной поддержки развивающейся ракетно-космической отрасли.

Пластины и оболочки широко используют в конструкциях летательных аппаратов. Благодаря своей проникающей способности волны Лэмба можно использовать в неразрушающей диагностике пластин на всех этапах производства и эксплуатации изделий. Волны Лэмба дисперсионные, их скорости распространения зависят от частоты. Исследование дисперсионных зависимостей очень важно при выборе оптимального волнового режима для определения физико-механических свойств материала и обнаружения внутренних повреждений, неоднородностей и дефектов. Взаимодействие волн с внутренними дефектами приводит к изменению этих зависимостей, что позволяет судить о геометрических и физико-механических свойствах внутренних дефектов.

Определение свойств материалов и характеристик дефектов в пластинах посредством распространения упругих волн получило значительное развитие за последние 20 лет, но распространение волны Лэмба в многослойных материалах с непостоянными физико-механическими характеристиками малоизучено.

В работе получены аналитическое и численное решение задачи распространения волн Лэмба в однослойных изотропных пластинах.

Аналитическое решение получено на основе формализма Коши. По результатам расчета построены дисперсионные кривые для однослойной изотропной пластины при вариации коэффициента Пуассона от -1 до 0,5. Получены зависимости скорости распространения волн Лэмба от коэффициента Пуассона.

Численное решение получено на основе метода конечных элементов (МКЭ). Рассматривали однослойную изотропную пластину, под действием

гармонической по времени сосредоточенной нагрузки. Устойчивое численное решение получено при частоте  $\omega \rightarrow 0$ . Реализована визуализация распространения волны Лэмба в пластине. Получена хорошая сходимость численного и аналитического решений.

Конечно-элементное моделирование (КЭМ) играет немаловажную роль в изучении волн Лэмба, позволяя детально изучать динамику волновых процессов и представлять результаты расчетов в наглядной форме. Использование КЭМ оказывает существенную поддержку экспериментальным методам НК, позволяя предсказывать место расположения дефекта и его характеристики. Однако реализация распространения волн в КЭ комплексах сталкивается с определенными трудностями, связанными с ограниченностью вычислительных ресурсов и неустойчивостью разностных схем.

Сравнительный анализ численных и аналитических результатов позволил определить круг проблем в реализации расчетов в КЭ комплексах, решение которых позволило свести к минимуму погрешности вызванные выбором частотного диапазона и оптимизацией размера шага расчета по времени, а также размером конечных элементов.

Полученные наработки позволяют приступить к непосредственному изучению взаимодействия волн Лэмба с внутренними дефектами.

## **Аппаратно-программный комплекс неразрушающего контроля свойств изделий авиа- и машиностроения**

Антонова М.Е.

Научный руководитель – Можегова Ю.Н.

КГТА им. В.А. Дегтярева, Энергомеханический колледж, г. Ковров

Современный уровень развития машиностроительной отрасли выдвигает жесткие требования к технологии изготовления изделий машиностроения и проводимому контролю их качества, поэтому разработка средств автоматизированного неразрушающего контроля качества изделий является актуальной задачей.

Предлагается создать конкурентоспособный аппаратно-программный комплекс экспресс- контроля свойств изделий из пористых материалов, осуществляющий производительный и высокоточный контроль.

В настоящее время в области автоматизированного неразрушающего контроля сделан серьезный скачок в развитии приборостроения. Среди отечественных производителей контроля механических характеристик материалов известны ультразвуковой дефектоскоп УД2-70 (контроль форм и размеров дефектов, пористости), динамический твердомер ТЭМП-4 (контроль твердости), рентгеновский аппарат Ратмир-250 (контроль дефектов), измеритель прочности бетона ОНИКС-2.5 (контроль только прочности бетона). Однако ни одно из известных устройств, в отличие от разрабатываемого комплекса, не позволяет осуществлять одновременный контроль физических (пористость) и механических (твердость, прочность, теплопроводность) свойств материалов.

Принцип действия разрабатываемого аппаратно-программного комплекса основан на газодинамическом методе контроля, в основе которого лежит математическая модель течения газа через контролируемый пористый материал.

Пористость является параметром, характеризующим как структуру материала, так и определяющим его механические свойства.

Устройством содержит измерительные камеры и рабочую камеру, образующие с контролируемым изделием под усилием  $Q$  герметичные полости. Камеры соединены через систему трубопровода с вакуумным насосом. Для исключения перетечки газа между полостями, каждая из них имеет возможность отключения от общей магистрали посредством клапанов. Полость рабочей камеры соединена клапаном с атмосферой. Насос имеет возможность отключения от магистрали посредством клапана. Каждая полость имеет выход на датчики давления газа, информация с которых автоматически через систему управления передается на ЭВМ, снабженную встроенным датчиком времени. Рабочая камера снабжена датчиком температуры, который подключен к ЭВМ.

Путем последовательного смещения измерительных камер по длине образца обеспечивается детальный контроль участков изделия на требуемое значение пористости, что позволяет выявить явный и скрытый брак.

Вид и размеры измерительных и рабочей камер выбираются в зависимости от конфигурации детали или тех сечений, на которых необходимо определить параметры пористости.

Таким образом, предлагаемый аппаратно-программный комплекс автоматизированного неразрушающего экспресс контроля физико-механических свойств изделий из пористых материалов, таких как металлокерамика, пластик, сложные керамические системы и др., позволяет осуществить процесс контроля свойств изделий машиностроения.

## **Моделирование взаимодействия гипопругого тела с шероховатой плоскостью**

Астапов Ю.В.

Научный руководитель – Маркин А.А.

ТулГУ, г. Тула

В работе приведены результаты решения некоторых задач, моделирующих взаимодействие плоского гипопругого тела с абсолютно жесткой шероховатой поверхностью. Полагается, что тело испытывает конечные деформации. Используются определяющие и эволюционные соотношения, а также условие равновесности процесса деформирования, приведенные в работе [1].

В общем случае в рассмотренных задачах зона контакта деформируемого тела с жесткой поверхностью переменна и подлежит определению. Наличие сил трения между контактирующими поверхностями моделируется законом сухого трения Кулона.

Задача теории упругости решается численно методом конечных элементов с использованием треугольных симплекс-элементов. Дискретизация по параметру нагружения производится методом пошагового нагружения. Для учета действия контактных усилий используется подход, основанный на предположении, что при достаточной малости характерного размера конечных элементов в области, граничащей с областью контакта, можно считать нормальное и касательное усилия приблизительно равными соответственно значениям компонент тензора истинных напряжений Коши в этих элементах. На каждом шаге нагружения



организуется итерационный процесс, основанный на алгоритме Удзавы поиска седловой точки функционала.

Предложенные алгоритмы проверялись на ряде тестовых задач. Алгоритм учета сил трения отработан на задаче, моделирующей сдвиг упругого бруса по шероховатой плоскости под действием давления на боковой поверхности бруса. В этом случае можно считать область контакта известной и постоянной. Полученные в результате решения распределения нормальных и касательных усилий в зоне контакта качественно соответствуют результатам, полученным в работе [4].

Для задач с изменяющейся зоной контакта дополнительно вводятся условия, обеспечивающие взаимное непроникновение тел. Учет этого условия производится посредством дробления шага нагружения. Решена задача о нагружении цилиндрического тела, контактирующая зона которого ограничена полукругностью в плане. При малых деформациях результаты численного решения хорошо согласуются с аналитическим решением, полученным по теории Герца.

Учет геометрической нелинейности и силы трения удовлетворительно согласуется с результатами, полученными в работах [2, 3]. Проведено качественное сравнение распределений контактных давлений и зависимостей ширины полосы контакта от приложенной внешней нагрузки при различных коэффициентах трения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №15-01-01875\_a.

Литература.

1. Маркин А.А. Термомеханика упругопластического деформирования / А.А. Маркин, М.Ю. Соколова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 320 с.

2. Chandrasekaran N. A finite element solution method for contact problems with friction / N. Chandrasekaran, W.E. Haisler, R.E. Goforth // International journal for numerical methods in engineering. – 1987. – V. 24. – P. 477-495.

3. Dintwa E. On the accuracy of the Hertz model to describe the normal contact of soft elastic spheres / E. Dintwa, E. Tifskens, H. Ramon // Granular matter. – 2008. – V. 10. – P. 209-221.

4. Wriggers P. Finite element formulation of large deformation impact-contact problems with friction / P. Wriggers, T. Vu Yan, E. Stein // Computers&Structures. – 1990. – V. 37.–№3. – P. 319-331.

## **Упругие характеристики углеродных алмазоподобных фаз**

Баимова Ю.А.<sup>1</sup>, Волков М.А.<sup>2</sup>

Научные руководители – Дмитриев С.В.<sup>1</sup>, Лисовенко Д.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИССМ РАН, <sup>2</sup> ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, г. Москва

Углеродные алмазоподобные фазы – это объемные углеродные наноматериалы, где часть атомов углерода образует четыре валентные связи с соседними атомами, как в алмазной структуре, однако решетка таких структур отличается от решетки алмаза. Основой для создания алмазоподобных фаз могут служить различные полиморфы углерода – графен, фуллереноподобные молекулы, углеродные нанотрубки. Такие структуры вызывают большой интерес исследователей наряду с наноалмазами, поскольку могут быть

эффективно использованы для разработки защитных покрытий деталей машин, т.е. защите материалов и устройств от внешних воздействий. Не смотря на то, что наноалмазы и алмазоподобные структуры исследуются на протяжении последних десятилетий, их механические свойства все еще остаются малоизученными.

Ранее, анализ упругих свойств других углеродных структур показал, что они могут иметь отрицательный коэффициент Пуассона, что характерно для материалов, получивших название ауксетики. Подобные структуры при растяжении становятся шире в направлении, перпендикулярном направлению растяжения. Представляется интересным провести планомерный поиск материалов-ауксетиков среди различных углеродных наноструктур.

В данной работе рассматривается девять устойчивых алмазоподобных углеродных фаз, составленных из фуллереноподобных молекул различной величины и размерности –  $C_4$ ,  $C_6$ ,  $C_8$ ,  $C_{24}$  и  $C_{48}$ . Структуры и устойчивые конфигурации алмазоподобных углеродных фаз были получены методом молекулярной динамики с использованием свободно распространяемого программного пакета LAMMPS, в котором для описания межмолекулярных взаимодействий используется хорошо апробированный потенциал AIREBO. Восемь из рассмотренных структур имеют кубическую анизотропию, и одна – тетрагональную. Используя полученные в методе молекулярной динамики модули податливости, были рассчитаны технические коэффициенты упругости девяти углеродных алмазоподобных фаз – коэффициент Пуассона, модуль сдвига и модуль Юнга.

Среди восьми фаз с кубической анизотропией четыре имеют отрицательную и четыре – положительную анизотропию. Полученные данные показали, что три из рассмотренных структур являются частичными ауксетиками [1]. Средний коэффициент Пуассона для всех представленных кристаллических материалов оказывается положительным и меняется в пределах от 0.21 до 0.38. Исследованные в работе структуры, с учетом их ауксетичности, могут быть использованы для разработки композитных наноматериалов с заданными свойствами.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 16-32-00483-мол\_a.

Литература

Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С., Волков М.А. Отрицательный коэффициент Пуассона для кубических кристаллов и нано/микротрубок. Физическая мезомеханика. 2013 г., Т.16, №6, С.13-31.

### **Двухуровневая математическая модель деформирования ГЦК-поликристалла с учетом случайного распределения характеристик**

Баранов М.А., Никифоров А.С.

Научный руководитель – Волегов П.С.

ПНИПУ, г. Пермь

Пластические деформации приводят к существенным изменениям внутренней структуры материала, которая меняется на всех масштабных уровнях. Процесс деформирования приводит к изменению дефектной структуры кристалла, переориентации кристаллических решёток зерен, а также к изменению самой

зеренной структуры. Изменение мезо- и микроструктуры существенно влияет на поведение материала на макроуровне, поэтому актуальными становятся модели, описывающие эволюцию внутренней структуры материала.

Целью работы является разработка математической модели деформирования поликристалла с гранецентрированной кубической (ГЦК) решёткой и исследование влияния случайного нормального распределения величины начальных критических напряжений сдвига дислокаций на характер процесса деформирования.

В качестве основного механизма неупругих деформаций поликристалла рассматривается движение краевых дислокаций по кристаллографическим системам скольжения при достижении в них критических касательных напряжений. Скорости сдвигов определяются при помощи упруговязкопластического соотношения типа Хатчинсона. Неупругая составляющая тензора скорости деформации определяется как сумма произведений ориентационных тензоров систем скольжения на скорость сдвигов по этим системам. В качестве определяющего соотношения используется закон Гука в скоростной релаксационной форме. Ориентация кристаллической решетки отдельных зерен задана произвольно, с помощью углов Эйлера.

Разработанная математическая модель неупругого деформирования реализована численно, в результате моделирования получены кривые деформирования, соответствующие различным значениям параметров закона распределения (математического ожидания и дисперсии). Расчёты проводились для поликристалла из 100 зёрен до достижения интенсивности деформаций порядка 5%. Анализ результатов моделирования показывает, что в случае нормального распределения критических касательных напряжений среднее число активных систем скольжения существенно меньше, чем в случае принятия начальных критических напряжений одинаковыми по всем системам скольжения всех зерен; этот факт демонстрирует, что в реальном поликристалле неравномерность начальных условий является существенным фактором, определяющим весь процесс деформирования. Появление систем скольжения с меньшими критическими напряжениями сдвига приводит к возникновению выделенных направлений для скольжения, что может рассматриваться как доказательство неустойчивости пластической деформации.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4917.2015.1, гранта РФФИ №14-01-96008 p\_урал\_a.

## **Анализ весовой эффективности тороидоцилиндрических оболочек**

Бардадим Д.А., Саломатов А.Ю.

Научный руководитель – Яковлев В.С.<sup>1</sup>

НИИ СиПТ ВУНЦ ВМФ «ВМФ», г. Санкт-Петербург;

<sup>1</sup>ИПМаш РАН, г. Москва

Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) для создания объектов работающих под повышенным давлением требует новых подходов к созданию конструкций, учитывающих особенности технологии и свойства материала. В этом аспекте привлекают внимание тороидальные оболочки как новое эффективное решение для форм прочных корпусов подводных объектов.

Следует отметить, что создание тороидальных конструкций из ПКМ оказывается технологически более простой процедурой, чем создание аналогов из металлов.

Особенностью работы является рассмотрение цилиндрического корпуса работающего под повышенным давлением, состоящего из множества тороидов – тороидоцилиндрической оболочки. Внутрь тороидов подаётся газ или жидкость под давлением.

На первом этапе работы было проведено моделирование напряженно-деформированного состояния и оценка устойчивости тороидоцилиндрической оболочки.

Для анализа весовой эффективности в качестве критерия совершенства конструкции был принят параметр характеризующий относительную массу как отношение массы конструкции к её объёму. Для тороидоцилиндрических оболочек следует иметь в виду, что объёмы, характеризующие вместимость и водоизмещение существенно различны. При этом относительная масса по вместимости всегда больше водоизмещающей.

По полученным аналитическим зависимостям проведена численная оценка с позиций равной несущей способности весовой эффективности тороидоцилиндрической оболочки по сравнению с эталонным подкрепленным цилиндром, выполненных из трансверсально изотропного материала.

Анализ результатов численного эксперимента показал, что тороидоцилиндрические оболочки в весовом отношении по сравнению с цилиндрическими традиционной архитектуры имеют существенное преимущество (до 50%) при поддержании внутриволостного давления в определённом отношении к наружному. Для каждой тороидоцилиндрической оболочки существует оптимальное соотношение между давлением в полости тороида и внешним давлением, при котором достигается минимальная весовая нагрузка конструкции.

Произведенная оценка весовой эффективности в случае, когда разрушающая нагрузка соответствует критической нагрузке, позволила сделать выводы:

- при малых радиусах сечения тороидов относительно радиуса оболочки в целом (соотношение  $< 0,1$ ) определяющим условием разрушимости является требование устойчивости и преимуществ тороидоцилиндрическая оболочка в весовом отношении не имеет по сравнению с эталонной;

- при больших радиусах сечения тороидов относительно радиуса оболочки в целом (соотношение  $\geq 0,1$ ) определяющим становится условие прочности, и весовая эффективность возрастает. Однако с увеличением внешней нагрузки картина меняется на противоположную.

Таким образом, основываясь на закономерностях механики оболочек, найдены области рационального применения тороидоцилиндрических оболочек из ортотропных материалов, обладающих меньшей массой (до 40%), чем цилиндрические оболочки традиционной архитектуры при прочих равных условиях.

## Исследование тонкого стержня из функционально – градиентного материала

Барсегян О.С.

Научный руководитель – Мокряков В.В.

МАИ, г. Москва

В данной работе рассмотрены стержни с разными распределениями концентраций титана и гидроксиапатита. Один конец стержня был закреплен, а на другой действовали растягивающая и изгибающая силы.

Концентрация каждого из компонентов стержня меняется по заданным зависимостям:

- Материал полностью состоит из титана;
- Материал полностью состоит из гидроксиапатита;
- Однородный материал, состоящий из 50% титана и 50% гидроксиапатита;
- Концентрация титана линейно уменьшается от 100% до 0% от закрепленного конца стержня до противоположного, соответственно, концентрация гидроксиапатита линейно увеличивается от 0% до 100%;
- Концентрация гидроксиапатита линейно уменьшается от 100% до 0% от закрепленного конца стержня до противоположного, соответственно, концентрация титана линейно увеличивается от 0% до 100%;
- Первая половина, содержащая закрепленный конец стержня, состоит из титана, вторая – из гидроксиапатита;
- Первая половина стержня состоит из гидроксиапатита, вторая – из титана.

Поскольку рассматривался тонкий стержень, сечения которого однородны, то можно считать, что он имеет строение с последовательными связями, поэтому было выбрано правило смеси и вычислены необходимые коэффициенты [0]. Произведя аналитические вычисления, получили значения смещений под действием растягивающих сил, а также прогиб стержня [0-0].

Также рассмотрено решение обратной задачи. Целью, которой являлось определение состава стержня и распределение его компонентов, имея смещения конца стержня под действием растягивающей и изгибающей сил.

Исходя из результатов, получены следующие выводы:

- Общее растяжение стержней с составом  $\frac{1}{2}$  титана и  $\frac{1}{2}$  гидроксиапатита при различном распределении концентраций данных материалов одинаково;
- Общее растяжение складывается из растяжений отдельных частей стержня и не зависит от того, как они расположены в стержне;
- Общий изгиб стержня существенно зависит от распределения концентраций составляющих стержня, что позволяет нам построить стержень с определенными свойствами.

Литература.

1. Фудзии Т., Дзако Т.Л. Механика разрушения композиционных материалов. Пер. с японск.- М.: Мир, 1982. С. 232.

Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир, 1975. С. 872.

Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1988. С. 712.

- Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970. С. 940.  
Феодосьев В.И. Сопrotивление материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. С. 592.

## **Математическое моделирование гидропривода станков прошивочно-протяжной группы**

Бекаев А.А., Кузьминский Д.Л.

Научный руководитель – Максимов Ю.В.

МАМИ, г Москва

Практически все современные автоматизированные станки оснащены электромеханическими приводами, однако полностью отказаться от применения в той или иной степени гидропривода, например для станков прошивочно-протяжной группы, не всегда представляется возможным. Объясняется это тем, что гидропривод имеет ряд преимуществ перед электромеханическими передачами. Главные из которых - малый вес и объем, приходящийся на единицу передаваемой мощности; высокий КПД; простота бесступенчатого регулирования скоростей и широкий диапазон их регулировки; способность воспринимать значительные динамические нагрузки и легкость защиты от перегрузок; малая инертность; высокая надежность работы; высокая частота реверсирования и автоматического управления; универсальность применения.

Анализ ранее опубликованных работ отечественных и зарубежных исследований показал, что между процессом резания и приводом станка существует прямая и обратная взаимосвязь, состоящая в изменении режима работы одного параметра под влиянием другого. Так, при врезании режущего зуба многозубого инструмента (например, протяжки) в обрабатываемую поверхность изделия, неизбежно возникает ударная нагрузка, вызывающая не только вынужденные колебания (вибрации) заготовки и режущей части инструмента, что усложняет процесс многолезвийного резания, но и резкие колебания давлений в гидросистеме протяжного станка, нарушающие плавность рабочего хода инструмента. В результате чего, на обрабатываемой поверхности детали возникают разновысотные неровности, нередко выходящие за допустимые пределы заданных значений параметров качества и точности обработки.

Вместе с тем, существующие расчетные методики, описывающие, в большинстве случаев, идеализированные процессы многолезвийного резания, обладают рядом недостатков и ограничений, что не всегда делает их пригодными для решения практических задач, стоящих перед современной наукой и производством.

В настоящей работе представлена универсальная методика расчета типового гидропривода станочного оборудования, на примере прошивочно-протяжного гидропресса модели ПР-3. Универсальность методики заключается в возможности ее применения для различных моделей станков прошивочно-протяжной группы, гидропривод которых, в большинстве случаев, аналогичен гидроприводу рассмотренного типового пресса.

Основной областью практического использования полученных результатов НИР является конструкторско-технологическая подготовка производства на

предприятиях машиностроения, подготовка курсов лекций, практических и лабораторных занятий, написание магистерских и кандидатских диссертаций.

Таким образом, проведенные исследования позволяют дополнить ранее известные результаты исследований, а предложенные решения не только соответствуют современным тенденциям развития науки, но и являются принципиально новыми.

Работа выполнена в рамках проектной части госзадания от Минобрнауки РФ (Проект №9.1548.2014/К, тема: «Система управления качеством обрабатываемой поверхности детали в процессе многолезвийной обработки»).

### **Моделирование пористого охлаждения лопаток**

Березин В.В., Тумаков Е.А., Ибрагимов А.И.

Научный руководитель – Байгалиев Б.Е.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В настоящее время одной из проблем создания воздушно-космического самолёта является разработка новых лопаток двигателя, способных переносить большие тепловые нагрузки в земных и космических условиях. В охлаждаемых лопатках высокотемпературных газовых турбин используется заградительное воздушное охлаждение, которое осуществляется вдувом относительно холодного воздуха на наружную поверхность профиля лопатки через отверстия или щели в стенке лопатки («плёночное охлаждение»), а также изготовлением её из пронцаемого (пористого) материала («пористое охлаждение»). Варианты выполнения плёночного охлаждения лопаток возможны, когда оболочка целиком или отдельные её части изготавливаются в виде навитой проволоки или сплетённых сеток, – так называемый материал «металла резина». Поиск способов охлаждения лопаток газотурбинных установок привёл к идее изготовления их целиком из пористого материала. Охлаждаемая лопатка, содержащая полости для прохода охлаждающей среды, может быть полностью отформована из пористого материала, проволочные переплетения которого образованы упруго-пористым нетканым материалом «металла резина», изготовленным по любой известной технологии. Оценка эффективности охлаждения лопатки, полностью выполненной из пористого материала, в настоящей работе осуществлена численным моделированием такого способа её охлаждения. Численное моделирование основано на решении системы уравнений Навье-Стокса для модели турбулентной вязкости Eddy Viscosity Transport Equation, в которой модель пористости является одновременно обобщением уравнений Навье-Стокса и закона Дарси, используемого для потоков в пористой среде.

Полученные численными методами результаты моделирования пористого охлаждения позволяют сделать следующие выводы:

- При отсутствии сведений о вязкостном и инерционном коэффициентах, определяющих расходную характеристику, данные коэффициенты с достаточной точностью можно получить расчётным путём в среде Ansys CFX для периодического фрагмента пористого тела.

- Наблюдается удовлетворительное согласование расходных характеристик в среде Ansys CFX для периодических фрагментов пористых тел и модели течения в соответствии с законом Дарси.
- Величины вязкостного и инерционного коэффициентов, полученные расчётом в среде Ansys CFX, удовлетворительно согласуются с аналогичными величинами, вычисляемыми по формулам работы, для пористых тел, образованных сферическими частицами.
- Диссипация энергии, вследствие вязкого трения при движении среды через пористое тело, незначительна и может не учитываться.

## **О механических характеристиках наноструктурных материалов**

Битюцких А.С., Хордигов А.Э.

Научный руководитель – Суменков А.Л.

РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва

В последние несколько лет наблюдается стремительный рост получения новых, современных материалов и производства изделий из них. Так, нитридные и оксидные наноматериалы широко применяются в различных отраслях промышленности: авиастроении, химической промышленности, строительстве и т.д. Это покрытия деталей и их элементов, режущие инструменты, абразивные и огнеупорные материалы, пигменты, катализаторы, фильтры и многое другое.

Получение новых наноструктурных материалов вызывается существенно более высокими характеристиками этих материалов по сравнению с «обычными». Наноматериалы благодаря своим малым размерам имеют свойства, значительно отличающиеся от свойств атомов, и «традиционных» материалов. Малые размеры наноструктурных материалов вызывают снижение температуры спекания и плавления, повышение скорости этих процессов, увеличение однородности и плотности покрытий и конструкционной керамики, появление неравновесных фаз. Более чем существенно повышаются механические свойства наноматериалов по сравнению с используемыми материалами: растут твердость (до 7 раз), предел прочности (до 8 раз), предел текучести (до 3 раз), значительно проявляются эффекты пластичности у керамики, сверхпластичности у металлов и т.д.

Наноструктурные материалы достаточно часто применяются в виде покрытий, наночастиц, нанопленок. Во многих отраслях промышленности используют объемные наноструктурные материалы, порошковые материалы и комплекующие наноизделия.

При проведении процессов получения и переработки наноструктурных порошков применяются такие механические операции, как измельчение, дозирование, транспортирование, смешение, прессование и др. Качественное проведение этих процессов определяют механические свойства нанопорошков, прежде всего, аутогезия (слипаемость), коэффициенты внутреннего и внешнего трения. Указанные механические свойства зависят от гранулометрического и фазового состава порошков (которые, в свою очередь, зависят от параметров процесса их синтеза), а также от параметров окружающей среды: температуры, влажности, давления. Таким образом, появляется возможность получения наноструктурных порошков с заранее заданными механическими свойствами,



что, в свою очередь, открывает перспективы разработки технологии управления свойствами новых материалов, повышающей их эксплуатационные характеристики.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния среднего размера частиц нанопорошков на коэффициенты внутреннего трения.

Объектами были плазмохимические порошки оксида алюминия, диоксида титана и нитрида кремния со сферической формой частиц и их средним размером от 0,03 до 1,0 мкм. Дисперсный состав определялся по величине удельной поверхности (метод БЭТ) и на основе электронно-микроскопических исследований.

Коэффициенты внутреннего трения определяли на приборах линейного плоскостного сдвига по известной методике. Усилие фиксировали чувствительным тензометрическим элементом.

Оказалось, что для всех представленных объектов исследования при уменьшении среднего размера частиц нанопорошков коэффициент внутреннего трения возрастает. Причём самое значительное увеличение наблюдается при величине среднего диаметра частиц менее 0,1 мкм. По-видимому, этот факт можно объяснить увеличением доли поверхностной энергии и числа некомпенсированных связей на поверхности частиц наноструктурных порошков.

### **Численное исследование влияния давления и скорости на процесс динамического канально-углового прессования титанового образца**

Бодров А.С., Зелепугин А.С.

Научный руководитель – Зелепугин С.А.

ТулГУ, г. Тула

Объемные ультрамелкозернистые (УМЗ) металлы и сплавы, полученные с помощью методов интенсивных пластических деформаций (ИПД), обладают улучшенными, по сравнению с крупнозернистыми аналогами, свойствами – повышенной прочностью, высокой усталостной прочностью, ударной вязкостью, коррозионной и радиационной стойкостью и др. Динамическое канально-угловое прессование (ДКУП) – один из методов получения объемных УМЗ металлов и сплавов с помощью ИПД, разработанный во ВНИИ Технической физики Российского федерального ядерного центра (г. Снежинск). Метод ДКУП является развитием метода равноканального углового прессования (РКУП) и позволяет существенно повысить скорость пластического деформирования образца и использовать образцы больших размеров при меньшем количестве проходов, чем в РКУП. В процессе ИПД при измельчении структуры повышаются прочностные свойства материала, при этом при ДКУП сохраняются высокие пластические характеристики, что в РКУП недостижимо. Экспериментальные исследования показывают, что необходимы широкомасштабные численные исследования процессов ДКУП для выявления особенностей интенсивного пластического деформирования и установления эффективных параметров данных процессов. В данной работе численно в трехмерной постановке исследуется процесс интенсивного пластического деформирования образцов из титана при динамическом канально-угловом

прессовании для динамической схемы нагружения. Расчеты проведены методом конечных элементов в рамках модели повреждаемой упругопластической среды [1-4]. Определены значения начальной скорости образца и действующего на образец давления, обеспечивающие успешное прохождение образца через пересечение каналов при незначительном уровне поврежденности материала и сохранении конечной формы образца, близкой к начальной.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания №2014/223 (код проекта 1943).

Литература.

1. Зелепугин С.А., Зелепугин А.С., Бодров А.С., Олимпиева Н.В. Трехмерное моделирование процессов пластического деформирования металлических образцов при динамическом канально-угловом прессовании // Изв. вузов. Физика. 2013. Т. 56. № 7/3. С.50–52.

2. Бодров А.С., Олимпиева Н.В., Зелепугин А.С., Зелепугин С.А. Численное моделирование процессов динамического канально-углового прессования титановых образцов // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2015. №5(37). С. 56-63.

3. Бодров А.С., Зелепугин А.С. Влияние давления и скорости на процесс ДКУП титанового образца // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XII Международной конференции студентов и молодых ученых. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2015. С. 70-72.

4. Бодров А.С., Олимпиева Н.В., Зелепугин С.А. Трехмерное моделирование процессов пластического деформирования титановых образцов при динамическом канально-угловом прессовании // Наука. Технологии. Инновации. Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых. Новосибирский государственный технический университет. Новосибирск, 2013. Часть 3. С. 62-65.

### **Модель релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочненном призматическом образце в условиях ползучести**

Бочкова Т.И.

Научный руководитель – Радченко В.П.

СамГТУ, г. Самара

Методы поверхностного пластического деформирования являются одним из приемов повышения ресурса деталей и элементов конструкций. Одной из проблем является оценка устойчивости наведенных остаточных напряжений к высокотемпературным нагрузкам. Актуальность работы подтверждается необходимостью оценки кинетики полей остаточных напряжений при температурном или температурно-силовом нагружении упрочненных элементов конструкции, поскольку поверхностное пластическое упрочнение является штатной технологией в авиадвигателестроении, нефтехимическом и машиностроительном комплексах.

Поскольку толщина упрочненного слоя на два порядка меньше характерного размера призматического образца, то в качестве математической модели использовалось упрочненное полупространство. Исходной информацией для

расчета напряженно – деформированного состояния в упрочненном слое является экспериментально определенная эпюра одной компоненты тензора напряжений при выполнении гипотезы плоских сечений и отсутствии вторичных пластических деформаций в области сжатия упрочненного слоя.

Решение задачи состоит из нескольких этапов. На первом восстанавливаются остаточные напряжения и пластические деформации после процедуры упрочнения при «комнатной» (нормальной) температуре  $T = T_1$ . Предполагая, что далее происходит «мгновенное» прогревание образца до температуры  $T = T_2$  и при этом не происходит образования новых пластических деформаций, рассчитывается перераспределение напряжений за счет изменения модуля Юнга. На третьем этапе решается задача о кинетике напряженно-деформированного состояния в упрочненном слое вследствие ползучести  $T = T_2$  при заданной длительности температурной выдержки. Задача решается численно «шагами по времени». Для этой цели разработано алгоритмическое и программное обеспечение. Наконец, на последнем этапе производится («мгновенно») температурная разгрузка и пересчитываются напряжения при модуле Юнга, соответствующего первоначальной температуре.

Для проверки адекватности разработанного метода выполнено сравнение расчетных значений с экспериментальными данными для плоских образцов из сплава ЭП 742 при  $T = 650^\circ\text{C}$  (длительность температурной выдержки – 100 часов) для четырех режимов упрочнения. Установлено соответствие расчетных и экспериментальных данных как после процедуры упрочнения, так и после ползучести. Показано, что в процессе ползучести происходит уменьшение (по модулю) остаточных напряжений в 1,4 ÷ 1,6 раз.

### **Разработка методики и определение коэффициентов теплового расширения нестандартных образцов**

Бухалов В.И.

Научный руководитель – Гольдштейн Р.В.

МАИ, г. Москва

Одной из важных механических характеристик материалов является температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР). Обычно он измеряется в специальном приборе – дилатометре, для которого изготавливаются образцы стандартной геометрии. Однако, вследствие технологических и структурных ограничений изготовление стандартных образцов не всегда возможно. Цель работы состояла в создании методики, основанной на принципе электронной 3D-спекл-интерферометрии, и проведении в соответствии с ней измерений ТКЛР непосредственно на заготовках, вышедших из-под пресса, без изготовления специальных образцов.

В ходе работы собрана установка для измерения ТКЛР малогабаритных цилиндрических образцов, решены вопросы равномерного нагрева образцов и регистрации изменения их размеров, согласованных с измерениями температуры при быстром естественном остывании образцов.

Методика измерения ТКЛР цилиндрических заготовок - образцов включала:

1) установку образца на опоры, в качестве которых использованы два параллельно расположенных консольных пластинчатых чувствительных

элемента; 2) нагрев образца до температуры, несколько превышающий заданный диапазон измерения ТКЛР; 3) синхронную регистрацию изменений температуры образца при его естественном охлаждении и суммарных микроперемещений чувствительных элементов в местах установки на них образца с помощью 3D-спекл-интерферометра, 4) расчёт ТКЛР в заданных температурных диапазонах.

Выполнено тестирование методики измерения на образце из алюминиевого сплава с известным значением ТКЛР, показавшее достаточное согласование измеренных значений ТКЛР с табличными данными, проведены измерения ТКЛР образцов из алюмо-матричного композиционного материала системы Al-Si в диапазоне температур от комнатной (23°C) до 250 °C.

По результатам работы выполнено сравнение ТКЛР Al-Si образцов с табличными данными для Al образца и отмечено, что значение ТКЛР алюминия существенно снижается при добавлении в него кремния.

### **Численные решения плоских задач теории упругости со свободной дилатацией частиц**

Волков А.В., Соляев Ю.О.

МАИ, г. Москва

Модель сред со свободной дилатацией частиц была предложена в 70-х годах в русскоязычных работах К.З. Маркова [1] и в более известных работах американских авторов S.C. Cowin и J.W. Nunziato [2]. Модель является частным случаем сред с микроструктурой Миндлина, и она предназначена для описания деформированного состояния сред, содержащих малое объемное содержание пор. В данной модели параметр объемного содержания пористости является дополнительной кинематической переменной модели. Аналогично всем неклассическим моделям механики деформируемых тел с микроструктурой, модель содержит в себе дополнительные уравнения равновесия и расширенный спектр определяющих соотношений. Обобщение модели на случай учета поверхностных дефектов на границах пористых сред был получен в начале 2000-х годов в работах Лурье С.А., Белова П.А. и др.

В настоящем докладе обсуждается возможность построения численных решений для задач плоской теории упругости с учетом свободной дилатации частиц среды. В частности, рассматриваются решения задачи о равновесии толстостенного полого цилиндра со смещенным отверстием и задачи о концентрации напряжений вокруг кругового отверстия в тонкой пластине. Полученные численные решения сопоставляются с известными аналитическими решениями, полученными в работах S.C. Cowin и J.W. Nunziato. С точки зрения физического смысла, получаемые решения позволяют описать напряженно-деформированное состояние среды, содержащей пористость, объемное содержание которой изменяется в процессе деформирования среды (поры закрываются в сжатой области материала, и, наоборот, объемное содержание пор увеличивается в растянутой области). Построенные решения позволяют получить уточненные оценки концентрации напряжений в пористом материале, а также оценить влияние масштабных факторов на его напряженно-деформированное состояние. Для построения численных решений в работе используется метод конечных элементов.

Литература.

1. Марков К.З. К теории упругости сред со свободной дилатацией частиц. Теоретическая и прикладная механика. 1974. – Т.6. – № 1. – С. 93-99.
2. Cowin, S.C., Nunziato, J.W., 1983. Linearelasticmaterialswithvoids. JournalofElasticity. 1983. – V.13. – P.125–147.

## **Изменчивость некоторых упругих характеристик прямолинейно-цилиндрически-анизотропных моноклинных кристаллов**

Волков М.А.

Научные руководители – Городцов В.А., Лисовенко Д.С.

ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, г. Москва

Для описания упругих свойств материалов используются такие характеристики, как модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Для изотропных материалов последний ограничен между -0.5 и 1, а для анизотропных материалов, вообще говоря, такого ограничения нет. Материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона называются ауксетиками. Отрицательность коэффициента Пуассона у большинства анизотропных материалов наблюдается лишь для некоторых направлений. Такие материалы называют «частичными ауксетиками».

Изменчивость коэффициента Пуассона прямолинейно-анизотропных моноклинных кристаллов изучалась в работе [1], где определены глобальные экстремумы коэффициента Пуассона (при произвольной ориентации направления растяжения относительно кристаллографической системы координат) и экстремумы при частных ориентациях (направление растяжения совпадает с одной из кристаллографических осей). Согласно [1], более половины моноклинных кристаллов являются частичными ауксетиками. У нескольких из них глобальный минимум коэффициента Пуассона существенно меньше -1. Наибольшее количество ауксетиков при частных ориентациях наблюдается в случаях растяжения вдоль кристаллографической оси 2.

Механическое поведение нано/микротрубок в рамках механики сплошных сред часто описывают как деформацию цилиндрических оболочек. В работе использована альтернативная модель криволинейно-анизотропного стержня [2,3]. В рамках выбранной модели рассмотрены нано/микротрубки, для которых справедливы следующие локальные соответствия между координатными системами  $1 \rightarrow z$ ,  $2 \rightarrow -\varphi$ ,  $3 \rightarrow r$  и  $1 \rightarrow \varphi$ ,  $2 \rightarrow z$ ,  $3 \rightarrow r$  (123 – кристаллографическая прямоугольная система координат,  $r\varphi z$  – цилиндрическая система координат, относящаяся к нано/микротрубке).

Выполнен анализ задач радиально-неоднородного растяжения цилиндрически-анизотропных нано/микротрубок из моноклинных кристаллов при вышеуказанных локальных соответствиях координатных систем. Получены зависимости модуля Юнга и коэффициентов Пуассона от коэффициентов податливости и параметра толщины. На основании экспериментальных данных из справочника [4] выявлены нанотрубки-ауксетики при различных локальных соответствиях, определены критические значения параметра толщины, при которых происходит смена знака коэффициента Пуассона

Работа выполнена в рамках гранта НШ – 1275.2014.1 и гранта МК – 5891.2015.1.

Литература.

1. Волков М.А. Экстремальные значения коэффициента Пуассона триклинных и моноклинных кристаллов // Письма о материалах, 2014, Т. 3, Вып. 4, С. 167–170.

2. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. К описанию многослойных нанотрубок в рамках моделей цилиндрически анизотропной упругости // Физическая мезомеханика, 2009, Т. 12, №5, С. 5–14.

3. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. Модули Юнга и коэффициенты Пуассона криволинейно анизотропных гексагональных и ромбоэдрических нанотрубок. Нанотрубки-ауксетики // ДАН, 2013, Т. 452, № 3, С. 279–283

4. Landolt-Börnstein. Group III: Crystal and Solid State Physics. 29a. Second and Higher Order Constants // Berlin, Springer, 1992.

### **Совершенствование технологии изготовления охотничьих стреловидных пуль и металлических оперенных контейнеров**

Гризоголазова Т.О.

Научный руководитель – Панфилов Г.В.

ТулГУ, г. Тула

В настоящее время эффективность стрельбы из гладкоствольного охотничьего оружия существенно повысилась вследствие применения патронов со стреловидными пулями, стабилизируемыми на траектории оперением, т. е. стабилизаторами с лопастями определенной конструкции, взаимного расположения и геометрических необходимых размеров. Наиболее яркими представителями указанных охотничьих боеприпасов являются: из зарубежных брендов – французский патрон со стреловидной пулей «Совестр», пришедшего из разработок их военно-промышленного комплекса и отечественный патрон «зенит» разработки ОАО «ЦНИИТОЧМАШ».

Для штамповки стреловидных поражающих элементов с целью использования их в охотничьих патронах, в ТулГУ было разработано и апробировано радиально-штампующее устройство с поступательным движением рабочего инструмента. При воздействии пуансона на рабочие бойки, происходит перемещение бойков по клиновым скатам вкладышей корпуса. При этом бойки сходятся радиально к оси симметрии и выдавливают лопасти, образуя плоский торец стабилизатора, исключающий операцию обрезки.

Разработаны различные комплекты бойков для изготовления комбинированных и монолитных стрел. Их особенностью является то, что для существенного уменьшения разнотолщинности лопастей заключительную шлифовку функционально важных поверхностей производят в сборе.

Одним из перспективных направлений совершенствования охотничьих патронов является разработка конструкций, позволяющих осуществлять доставку дроби в контейнере на определенные расстояния и последующее ее отделение.

Гильза пластмассового ведущего устройства разделена на четыре сектора сквозными пазами таким образом, что общим соединительным элементом остается дно. При выстреле клиновой кольцевой выступ подпятника срезает дно и при выходе из канала ствола сектора ведущего устройства разлетаются независимо.

Разработана конструкция однопульного дальнобойного патрона, в котором используется аналогичное, разделяющееся при выстреле, контейнерное ведущее по стволу пластмассовое устройство. Также установлены: конструкция самой стреловидной пули и таблица объемов и масс отдельных элементов, позволяющая выполнить последующие внутренне баллистические и внешнебаллистические испытания.

Спроектированы конструкции патронов со стрелами, позволяющие работать по мишеням различного габарита. В частности создан пятипульный патрон для стрельбы по крупным мишеням. Он должен быть очень эффективен в условиях охоты на крупного зверя на дальних расстояниях, например в горах, или в условиях севера (на расстояниях до 700 м).

Создана принципиальная схема семипульного патрона для стрельбы по мишеням среднего размера, которая содержит стрелы диаметром 4,5 мм и отличается тем, что они соприкасаются друг с другом по цилиндрической образующей.

Имеются варианты конструкций патронов меньшей мощности, предназначенных для стрельбы по мелким перемещающимся мишеням.

В патроне «сотового типа» стреловидные пули, диаметр которых целесообразно варьировать от 1 до 2 мм, плотно укладываются в пластмассовый контейнер таким образом, чтобы они касались друг друга по цилиндрическим поверхностям.

### **Применение электронной спекл-интерферометрии для исследования дилатансии и трещиностойкости образцов мелкопористых материалов**

Дедовец А.Е.

Научный руководитель – Гольдштейн Р.В.

МАИ, г. Москва

В работе отражены экспериментальные исследования, связанные с применением электронной спекл-интерферометрии для регистрации полей перемещений боковых поверхностей образцов мелкопористых сред в процессе их продольного сжатия в прессе. Рассмотрена организация оптической схемы регистрации перемещений образцов, обеспечивающая минимальное влияние вибрационных помех при работе прессы. Показано, что применение методики 3D – спекл интерферометрии [1] способно обеспечить дилатометрические измерения по всей боковой поверхности образца.

Выполнен цикл испытаний на сжатие образцов из гипса в форме прямоугольных параллелепипедов. Получены характерные интерферограммы полей перемещений боковых поверхностей образцов при постепенном нарастании сжимающего напряжения, среди которых выделены интерферограммы, указывающие на, незаметные невооруженным глазом,

области будущего разрушения как сплошных образцов, так и образцов с искусственно созданными дефектами: косым надрезом и сквозным поперечным отверстием. Рассмотрен пример построения полей перемещений на боковых гранях образцов и алгоритм дилатометрического расчёта для пар точек, произвольно выбранных на этих гранях, по данным, снятым с интерферограммы.

Литература.

1. Гольдштейн Р.В., Козинцев В.М., Подлесных А.В., Попов А.Л., Солодовников С.И., Челюбеев Д.А. Способ дилатометрии. Пат. 2559797 РФ, 2015, бюл. № 22, 6 с.

### **Исследование вытяжки осесимметричной детали в программах AUTO-FORM и ABAQUS**

Довгаль М.В.

Научный руководитель – Типалин С.А.

МАМИ, г. Москва

Одним, из наиболее часто используемых видов деталей, являются осесимметричные. В связи с этим большой актуальностью пользуется вопрос о снижении стоимости производства таких деталей. Одним из способов позволяющих решить данную проблему является предварительное моделирование данного процесса с помощью специализированных программ.

В настоящее время на производстве все чаще используют программы для моделирования процессов.

Такие программы дают возможность;

- провести анализ полученной детали;
- сравнить различные методы обработки;
- сэкономить материал, время и рабочую силу на проведении экспериментов;
- заранее выявить местоположения чрезмерных деформаций, напряжений, утонений и предотвратить брак на этапе разработки;
- выбрать наиболее подходящий, эффективный, качественный, простой, метод обработки.

В работе выполнено компьютерное моделирование и проведено исследование процесса вытяжки осесимметричной детали на основе программа для компьютерного моделирования процессов Auto-Form и Abaqus.

### **3D структурно-геометрическая модель межфазных и межграничных объемов титановых сплавов**

Дьяченко М.А.

Научный руководитель – Нестеров П.А.

МАИ, Ступинский филиал

3D компьютерное структурно-геометрическое моделирование полиэдрического структурного строения и его визуализации базируется на материаловедении, термодинамике, кристаллографии металлических материалов, и заключается в преобразовании теоретически обоснованной и



экспериментально подтверждённой информации о структурном строении металлов и сплавов, в геометрическую модель. Предложена 3D структурно-геометрическая модель поликристаллической структуры титана, псевдо- $\alpha$ -титанового сплава VT20 и  $\alpha$ + $\beta$ - титанового сплава VT6. При этом использовались теоретические представления о равновесных формах кристаллитов в соответствии с принципом Гиббса-Вульфа и условиях полного дополнения изолированным многогранником пространства без промежутков, наложений и комбинаций с другими многогранниками. Принятый чисто геометрический подход, избирательного и последовательного притупления более острых межфазных  $\alpha\beta$  двугранных углов остаточной  $\beta$ -фазой в вершинах, а затем в рёбрах с сокращением граничных поверхностей изолированного  $\alpha$ -кристаллита и заменой  $\alpha\alpha$  границ на  $\alpha\beta$  границы с более низким уровнем энергии и образование единого объёма остаточной  $\beta$ -фазы без  $\beta\beta$  границ согласуется с обобщёнными Мак Лином данными об относительном соотношении энергии межфазных/межграничных границ. Предполагается, что каждая структурная составляющая представляет собой сплошную, однородную, изотропную деформируемую среду.

Исходя из важности задач управления параметрами 3D моделей пространственного структурного строения металлов и сплавов и, как следствие, вероятного управления механическими свойствами и их прогнозирования предлагается 3D моделирование межкристаллитных и межфазных объёмов. В качестве структурной единицы 3D структурно-геометрической модели межграничных и межфазных объёмов принята «элементарная ячейка, как геометрическая схема трёхмерной периодичности размещения атомов в кристаллическом пространстве и образующая в условиях термодинамического равновесия форму многогранников» с объёмными дефектами - приграничными вакантными объёмами. Для этого в качестве базового выбран представительный объём тетракайдекаэдра с параметрами кратными параметрам элементарных ячеек  $\alpha$ - и  $\beta$ -титана, полностью заполняющих объём между тетрагональными гранями кристаллита. Это позволяет, варьируя углами разворота массива кристаллических решеток в тетракайдекаэдре вокруг кристаллографических осей с их заданной фиксацией только относительно грани (001) тетракайдекаэдра, получить многообразие типов границ, с отличными формами и вакантными объёмами. Для однофазной, однородной структуры межкристаллитные зоны будут представлены в виде сплошного, однородного, изотропного пространственного каркаса, заполняющего сопряжённые вершины, рёбра и грани в объёме, соответствующем принятой кристаллографической толщине границ.

Содержательное достоинство 3D структурно-геометрического подхода к конструированию равновесного полиэдрического структурного строения  $\alpha$ -, псевдо- $\alpha$  и  $\alpha$ + $\beta$ -титановых сплавов с использованием компьютерного моделирования заключается в визуализации, расширяющей и упрощающей восприятие; масштабируемости структурных составляющих; возможности целенаправленного воздействия на отдельные параметры; разработке 3D моделей межкристаллитных и межфазных объёмов; количественной оценке таких стереологических параметров структурного строения как абсолютные

удельные межграницные и межфазные поверхности и объемы у сплавов с различной величиной зерна и объемной долей  $\beta$ -фазы.

## **Моделирование шероховатости поверхности для контактных тепло-прочностных задач**

Ежов А.Д.

Научный руководитель – Меснянкин С.Ю.

МАИ, г. Москва

Одним из определяющих факторов при оценке эксплуатационных свойств деталей конструкции является состояние шероховатости поверхности контактирующих поверхностей, представление которой в прочностных и тепловых расчетах является залогом адекватности характеристик, закладываемых в проектируемое изделие.

Традиционно микрорельеф контактирующих поверхностей деталей машин рассматривался как результат случайного процесса и представление контакта как соприкосновение абсолютно гладкой плоской поверхности с шероховатой поверхностью, состоящей из сферических неровностей постоянного радиуса.

Развитие теории контакта реальных поверхностей началось при появлении дискретной модели шероховатости, отличительной чертой которой является знание параметров распределения неровностей, полученных на основе результатов обработки экспериментальной кривой профилограммы поверхности.

Моделирование контакта микронеровностей взаимодействующих поверхностей в виде одиночного соединения сферических или конических выступов не принесло качественно новых решений. Большинство этих предположений были сделаны в период с 1950 по 1970 годы, когда других подходов к моделированию, таких как, например, компьютерное моделирование просто не представлялось возможным.

Одним из способов численного моделирования контакта является дискретизация реального профиля, в результате которой он представляется как набор стержней с элементарной площадью основания и соответствующей высотой. Часть авторов считает, что профилограмма поверхности в оригинальном виде сложна для дискретизации в виде конечно-элементной сетки из-за непредсказуемости рельефа и трудностей его математического описания.

Анализируя существующие подходы, следует отметить, что их применение для инженерных расчетов весьма затруднительно, так как они либо не обеспечивают необходимую точность расчетов площадей контакта, либо имеют сложный математический аппарат.

Взаимодействие твердых тел с реальной топографией поверхности, а также имея в виду, что процесс контактного взаимодействия в общем случае представляет собой совокупность процессов локального деформирования, происходящих вследствие дискретности контактов, можно правильно оценить только с учетом микро топографии поверхностей.

В работе предлагается современный метод оценки и моделирования микрорельефа поверхности, используя который, можно максимально близко приблизиться к реальному процессу контактирования, путем совместного

использования современных методов оценки характеристик шероховатых поверхностей и комплексов конечно-элементного анализа, которые позволяют описать расчетную модель на микроуровне.

### **3D-прототипирование как инструмент развития творческих способностей студентов**

Еромолов А.В., Никольская Л.В., Парамонов А.В.  
ТГПУ им. Л.Н. Толстого, г. Тула

Применение 3D принтеров постепенно становится идеальным решением для вовлечения студентов в образовательный процесс, делает обучение интересным и наглядным, развивают образное мышление, приучают будущих специалистов к автоматизированному программированию и проектированию. Студенты могут разрабатывать модели деталей на компьютере в 3D-редакторах и программах САПР, распечатывать, оценивать и тестировать их. 3D печать, включенная в учебную программу инженерных дисциплин, позволяет студентам реализовать свои конструкторские замыслы и идеи, тем самым увеличивает долю инноваций в их проектах. Реализация проектов позволяет находить узкие места технологий, ошибки проектирования, трудно определяемые на бумаге или компьютерной модели. Создав модель детали на компьютере в 3D программе, уже через небольшой промежуток времени можно получить её в материале и провести необходимые испытания, выявить недостатки и внести необходимые изменения в модель. Общим преимуществом применения 3D печати является значительное повышение интереса учащихся к учебному процессу за счет получения активного опыта, т.к. она дает возможность визуально и тактильно оценить и протестировать результаты их работы. Также несомненным плюсом является относительно невысокая стоимость готовых 3D-принтеров, для подобных целей можно использовать даже несложные и, соответственно, недорогие аппараты, которые может себе позволить практически любая школа или ВУЗ. Отметим также возможность собрать 3D-принтеры собственноручно по многочисленным инструкциям, например по проектам RepRap. Прототипирование применяется многими ведущими западными, и все чаще отечественными, высшими и общеобразовательными учреждениями.

Продуктом работы 3D-принтера являются готовые изделия, трехмерные физические объекты, создаваемые с нуля путем послойного нанесения (выращивания) слоев материала.

Отметим безопасность 3D-печати по сравнению с традиционными технологиями и станками благодаря отсутствию режущих инструментов, автоматизации процесса печати без непосредственного участия человека. Также несомненным плюсом можно отметить ход от монотонного малопроизводительного ручного труда при изготовлении деталей, что оставляет освободившееся время на творчество.

В Тульском государственном педагогическом университете им. Л.Н.Толстого на базе факультета технологий и бизнеса создана Студенческая научно-конструкторская лаборатория «3D-проектирования и прототипирования». Направлениями деятельности Лаборатории являются: 3d – моделирование и проектирование (Компас 3Д, AutoCAD); быстрое 3d – прототипирование (печать

прототипов изделий на 3D-принтере); конструирование изделий, моделей, прототипов (в частности 3D Принтеров на основе проекта RepRap). В учебный план студентов-магистров введена дисциплина «3D-моделирование и прототипирование изделий».

На текущий момент сформирован комплекс технологического оборудования достаточный для его самостоятельного освоения. Выявлены требования по установке и подключению оборудования. Проводятся работы по организации и размещению учебного и технологического комплекса с учетом требований по безопасности работы с оборудованием. С целью популяризации лаборатории среди студентов проводятся экскурсии с демонстрацией основных возможностей станков.

### **Растяжение нанотрубок и микротрубок с кубической цилиндрической анизотропией, полученных сворачиванием кристаллических плоскостей (011)**

Жезлова Е.А.

Научный руководитель – Лисовенко Д.С.

МАИ, г. Москва

В работах [1,2] предложена модель полого стержня с цилиндрической анизотропией для описания механических свойств нанотрубок и микротрубок. В этих работах в рамках подхода Сен-Венана рассмотрены задачи растяжения и кручения нано/микротрубок с гексагональной и ромбоэдрической цилиндрической анизотропией. При этом предполагалось, что нано/микротрубки получались сворачиванием кристаллических плоскостей (001), т.е. имело место локальное соответствие  $1 \rightarrow z, 2 \rightarrow -\varphi, 3 \rightarrow r$  ( $1, 2, 3$  – лабораторная декартова система координат,  $r, \varphi, z$  – цилиндрическая система координат, относящиеся к нано/микротрубке). В [3] рассмотрена задача растяжения нано/микротрубок с кубической цилиндрической анизотропией, полученных сворачиванием кристаллической плоскости (001). В работе учитывался угол хиральности (угол между главной кристаллографической осью и осью растягиваемой трубки).

В рамках подхода Сен-Венана рассмотрена задача растяжения нано/микротрубок с кубической цилиндрической анизотропией, полученных сворачиванием кристаллических плоскостей (011), т.е. имеет место локальное соответствие  $1 \rightarrow r, 2 \rightarrow \varphi, 3 \rightarrow z$ . В результате анализа получены аналитические выражения модуля Юнга и коэффициента Пуассона с учетом угла хиральности. Численный анализ проводился для нано/микротрубок из кристаллов алюминия Al, железа Fe и сплава Sm0.65La0.35S, которые являются неауксетиком, частичным ауксетиком и полным ауксетиком [1] соответственно. Упругие константы брались из справочника [4]. Численный анализ показал, что у нано/микротрубки из Al и Fe будет наблюдаться отрицательный коэффициент Пуассона. Коэффициенты Пуассона для нано/микротрубок из Sm0.65La0.35S остаются отрицательными при любых углах хиральности и толщинах трубок. Модуль Юнга для нано/микротрубок из этих материалов при фиксированном угле хиральности слабо зависит от толщины трубок. В случае фиксированной

толщины модуль Юнга может в разы изменяться в зависимости от величины угла хиральности.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ (грант НШ-1275.2014.1) и проекта РФФИ 16-01-00325.

Литература.

1. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. Мезомеханика многослойных углеродных нанотрубок и наночувств. Физическая мезомеханика, 2008 г., Т.11, №6, С.25-42.

2. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. К описанию многослойных нанотрубок в рамках моделей цилиндрически анизотропной упругости. Физическая мезомеханика, 2009 г., Т.13, №5, С.5-14.

3. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С., Волков М.А. Отрицательный коэффициент Пуассона для кубических кристаллов и нано/микротрубок. Физическая мезомеханика. 2013 г., Т.16, №6, С.13-31.

4. Landolt-Börnstein Group III. Condensed Matter. В.: Springer. 1992. V.29a. P.11-188.

## **Определение прочностных параметров подъёмника ножничного типа**

Зеленченков Н.С.<sup>1</sup>, Киреев Д.К.<sup>1</sup>

Научный руководитель – Лукиенко Л.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТКСиОТ, <sup>2</sup>ТГПУ им. Л.Н. Толстого, г. Тула

Из-за своей неприхотливости, простоты конструкции, позволяющей значительно экономить материал при изготовлении и высокой надёжности ферменные конструкции получили весьма широкое распространение в различных областях машиностроения: ферменные конструкции мостов; козловые краны; подъёмники ножничного типа; захватные устройства. Широко известны различные методы расчёта ферм (например, метод вырезания узлов) [1]. Однако, их применение весьма громоздко и трудоёмко. Между тем, развитое в настоящее время применение ЭВМ и широкое использование метода конечных элементов позволяет значительно повысить производительность расчётов, резко сократить время на принятие решения конструктором для обоснования необходимого и достаточного количества материала для изготовления конструкции.

В работе проведено исследование по выбору наиболее рационального сечения и объёма материала для подъёмника ножничного типа и захватного устройства [2], предназначенного для перемещения круглых грузов. Изучена возможность применения различного типа материалов, а также различные варианты поперечного сечения элементов конструкции.

Для исследований была использована программа APMStructure 3D, которая использует для решения метод конечных элементов [3]. При этом в качестве результатов исследователь получает полную картину нагруженности рассчитываемой конструкции: нормальные и эквивалентные напряжения, коэффициент запаса прочности по пределу текучести, перемещения элементов.

Использование такого подхода позволяет определить наиболее опасные зоны в сечении при его расчёте и очень удобно при анализе конструкции.

Результаты исследования зависимости коэффициента запаса прочности и эквивалентных напряжений в конструкции от приложенной нагрузки позволил определить, что предельно допустимой нагрузкой для исследуемой конструкции является 3000 Н, при которой величина коэффициента запаса прочности составляет 3,2.

Результаты выполненной работы будут использованы в учебном процессе при изучении курса «Техническая механика» и могут быть полезны при проектировании подобных устройств.

Литература.

1. Бать М. И., Джанелидзе Г. Ю., Кельзон А. С. Теоретическая механика в примерах и задачах: Учеб. пособие для вузов. Т. 1. - М.: Наука, 1990

2. Куркин С.А., Ховов В.М., Рыбачук А.М. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций. Атлас сварных конструкций. М.: Наука, 1991

3. Шелофаст В.В. Основы проектирования машин. М.: Изд-во АПМ, 472 с.

### **Плоская контактная задача для оснований с поверхностно неоднородными покрытиями и регулярной системы жёстких штампов**

Казаков К.Е.<sup>1,2</sup>, Курдина С.П.<sup>2</sup>

Научный руководитель – Манжиров А.В.

<sup>1</sup> ИИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, <sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Задачи контактного взаимодействия тел с покрытиями и систем жестких штампов тесно связаны как с задачами машиностроения, так и с задачами строительства комплексов сооружений. С точки зрения задач машиностроения, исследование задач множественного контакта позволит улучшить характеристики в областях контакта, что приведет к увеличению ресурса работы механизмов и приборов. С точки зрения строительства объектов недвижимости, разработка методов определения допустимых кренов объектов как на этапе планирования застройки, так и в условиях частичной застройки позволит скорректировать технологию возведения зданий и сооружений и разработать рекомендации по постепенному усилению инженерных и строительных конструкций.

В работе исследуются плоские задачи контактного взаимодействия поверхностно неоднородных стареющих вязкоупругих покрытий и регулярной конечной системы жестких штампов. Учитываются возрастные и структурные неоднородности покрытий, связанные с процессами их изготовления. Такие неоднородности могут описываться как быстро осциллирующими, так и разрывными функциями. Поверхностная неоднородность покрытий обычно обусловлена процессами, при которых покрытие непрерывно наносится на основной слой, а также поверхностной обработкой уже существующего слоя. Поверхностная неоднородность может быть также вызвана использованием различных материалов при изготовлении покрытий.

Рассмотрены различные варианты возможной постановки задачи. Получена система разрешающих интегральных уравнений, которая приведена к одному интегральному уравнению с тензорным ядром в функциональном векторном пространстве, для решения которого использован проекционно-спектральный метод.

Решение задач получено в аналитическом виде, причем в выражениях для контактных напряжений функция формы поверхности основания выделена в явном виде. Это позволяет проводить расчеты для покрытий, неоднородности которых описываются быстро осциллирующими и даже разрывными функциями. Также получены выражения для определения осадок и углов наклона штампов.

Авторы благодарят А.В. Манжирова за постановку задачи, полезные обсуждения и ценные советы. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Москвы в рамках научных проектов № 15-31-70002 «мол\_a\_мос» и № 16-31-00320 «мол\_a».

### **Разработка технологии получения нанокompозита и исследование его свойств**

Карлова П.В., Скидченко В.Ю.

Научный руководитель – Малышева Г.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Полимерные композиционные материалы постепенно вытесняют традиционные металлы и сплавы и все шире используются в качестве конструкционного материала в самых различных отраслях промышленности и в строительстве. Для повышения термической, радиационной стабильности полимерных матриц в их состав вводят углеродные наноматериалы (фуллерены, углеродные нанотрубки (УНТ), углеродные волокна).

Для увеличения термической стабильности (диапазона рабочих температур и при этом, наименьшей потери массы) силикоанового каучука был создан композиционный материал, в котором данный каучук выступает в качестве матрицы, а наполнителем служат многослойные углеродные нанотрубки.

Целью настоящей работы был выбор растворителя для диспергирования углеродных нанотрубок.

Основная задача заключалась в определении максимально возможного количества вводимый УНТ. Введение УНТ в силикоановую матрицу напрямую затруднительно из-за невозможности равномерного распределения наполнителя по объему матрицы. Для проведения диспергирования УНТ, в ходе подготовки к их введению в матрицу, использовались различные вещества, называемые дисперсионной средой.

Экспериментальные исследования проведены с помощью метода введения многостенных углеродных нанотрубок марки Baytubes® C 150 P (Bayer) (до 1%) в матрицу силикоанового каучука марки П-9628-2 с помощью механической мешалки IKA RW20 digital.

Для решения поставленной задачи изготовлены несколько образцов, в которых варьировалась дисперсионная среда (этанол, хлороформ, толуол, хлорбензол, дихлорэтан). УНТ помещались в дисперсионную среду и с

помощью ультразвука создавалась устойчивая коллоидная система. Далее, эта система смешивалась с помощью механической мешалки с матрицей. Затем исследовалась вязкость полученных образцов на вискозиметре САР 2000+. В дальнейшем, эти образцы исследованы методом термогравиметрического анализа (ТГА) на приборе Netzsch TG 209 F1 Perseus, оснащённом газовой кюветой с ИК-детектором Bruker Alpha, в алюминиевых тиглях Netzsch NGB810419.

По итогам экспериментов выбрана методика диспергирования многослойных УНТ. Дихлорэтан определен, как наиболее подходящее вещество, для использования в качестве дисперсионной среды. Температура начала термической деструкции полученного полимерного нанокompозита, по сравнению с исходным силоксановым каучуком была увеличена с 145,1 °С до 187,5 °С, потеря массы уменьшилась с 3,74% до 2,22%.

### **О подходе к численному моделированию роста трещин с учётом их упругого взаимодействия**

Каспарова Е.А.

Научные руководители – Гольдштейн Р.В., Шушпанников П.С.

ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, г. Москва

Изучение процессов образования и развития структур разрушения (упорядоченных нарушений сплошности) в упругих материалах представляет большой теоретический и практический интерес в связи с тем, что наличие подобного рода структур влияет не только на прочностные свойства материалов, но и на их теплофизические, электрические, фильтрационные и многие другие свойства.

Развитие структур разрушения во многом определяется характером упругого взаимодействия трещин [1] и приводит к изменению объема среды – дилатансии. Как следствие, дилатансия может служить индикатором происходящих в материале процессов разрушения [2].

В настоящей работе разработан подход и выполнено численное моделирование развития трещин и систем трещин различной исходной конфигурации в изотропной пластине, находящейся в условиях растяжения, с учётом упругого взаимодействия трещин. При моделировании особое внимание уделялось взаимосвязи дилатансии пластины с текущей конфигурацией системы трещин в ней.

Моделирование роста трещин осуществлялось методом конечных элементов, предполагающим перестройку сетки на каждой итерации использующейся численной процедуры [3]. Для нахождения коэффициентов интенсивности напряжений (КИН), характеризующих особенности напряжённо-деформированного состояния вблизи вершин трещин, использовался метод, основанный на вычислении инвариантных интегралов (аналогичных J-интегралу), описывающих взаимодействие реального упругого поля в пластине с трещинами и некоторых вспомогательных упругих полей [4]. По найденным КИН направления роста трещин на каждой итерации определялись с использованием критерия максимальных нормальных напряжений [5].



На основе разработанного численного подхода рассмотрены задача о встречном распространении в пластине двух параллельных краевых трещин и задача о росте трещины в окрестности двух близко расположенных круговых пор. Полученные результаты согласуются с теоретическими и экспериментальными результатами, известными из литературы, что подтверждает эффективность предложенного подхода.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 14-01-00869).

Литература.

1. R. Ghelichi, K. Kamrin. Modelling growth paths of interacting crack pairs in elastic media // *Soft Matter* – 2015. – Vol. 11, №40. – P. 7995-8012.

2. X. Lu, Q. Liu. Experimental investigation of dilatancy-bulking behavior of weak sandstone // *Adv. Mat. Res.* – 2011. – Vol. 197–198. – P. 1420-1424.

3. M. Kuna. Finite elements in fracture mechanics // Springer Dordrecht Heidelberg New York London, *Solid Mech. Appl.* – 2013. – Vol. 201.– 447pp.

4. M. Shtern, E.B. Becker, D.S. Dunham. A contour integral computation of mixed-mode stress intensity factors // *Int. J. Fract.* – 1976. – Vol. 12, №.3. – P. 359-368.

5. F. Erdogan, G.C. Sih. On the crack extension in plates under plane loading and transverse shear // *J. Basic Eng. T-ASME.* – 1963. – Vol. 85, №4. –P. 519-527.

## **Статическое описание случайной структуры, полей напряжений и деформаций в спеченных порошковых композитах**

Кокшаров В.С.

Научный руководитель – Зайцев А.В.

ПНИПУ, г. Пермь

На основе доказанных теорем о геометрическом смысле условных вероятностей был предложен новый метод аналитического построения многоточечных моментных функций случайной структуры 2D (волокнуистых) и 3D (дисперсно-упрочненных) армированных композитов матричного типа, который позволяет записать выражения в виде рядов с конечным числом членов [1]. Получены значения производных условных и безусловных моментных функций второго и третьего порядков случайной структуры композитов в точках, соответствующих нулевому значению аргументов, которые, как было показано, определяются отношением мер, связанных с межфазной границей и исследуемым фрагментом. Сформулированы и доказаны теоремы о знаке производных и о локальной изотропии случайных полей структуры [2–4]. Для 2D и 3D композитов были получены выражения для условных и безусловных моментных функций второго порядка полей напряжений и деформаций, определены закономерности взаимодействия в ансамбле частиц [5]. Проведены обобщения этих результатов на класс спеченных порошковых композитов, сформулированы и доказаны следующие теоремы.

Теорема 1. Производные условных и безусловных моментных функций второго порядка случайных полей напряжений и деформаций в 2D и 3D порошковых материалах в точках, соответствующих нулевому значению аргумента, отрицательны, их значения не зависят от направления, в котором ведется построение функций, и координационного числа, а величина обратно пропорциональна суммарному периметру (площади) границ зерен.

Теорема 2. Случайные поля напряжений и деформаций в 2D и 3D неоднородных порошковых материалах локально изотропны в приближении «малых расстояний».

На основании полученных результатов сделаны выводы о том, что искомые производные могут рассматриваться в качестве критерия для верификации и отбраковки существующих и разрабатываемых моделей, используемых при построении приближенных решений стохастических краевых задач механики неоднородных материалов. Оценка влияния законов распределения легирующих элементов, размеров и формы зерен на характеристики полей напряжений и деформаций требуют дополнительного исследования.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 15–01–08678).

Литература.

1. Зайцев А.В., Покатаев Я.К. Новый метод построения моментных функций второго порядка случайной структуры полимербетонов // Вестник ПНИПУ. Механика. 2007. № 15. С. 28–45.

2. Зайцев А.В., Лукин А.В., Трефилов Н.В. Закономерности скейлинга в случайных полях структуры однонаправленно армированных волокнистых композитов // Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7. № S1–1 С. 58–61.

3. Зайцев А.В., Лукин А.В., Ташкинов А.А., Трефилов Н.В. Случайные структуры двухфазных композитов: синтез, закономерности, новая оценка характерных размеров представительных объемов // Вестник ПНИПУ. Механика. 2004. № 12. С. 30–44.

4. Зайцев А.В., Лукин А.В., Трефилов Н.В. Компьютерный синтез, закономерности случайных структур и моделирование процессов разрушения волокнистых композитов при продольном сдвиге // Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7, № 5. С. 73–79.

5. Зайцев А.В., Кислицын А.В., Кокшаров В.С. Общие закономерности структуры, случайных полей напряжений и деформаций в волокнистых и дисперсно-упрочненных композитах // Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 4–4. С. 1485–1487.

## **Проектирование уплотнительных элементов из терморасширенного графита и композитов на его основе для трубопроводной арматуры**

Кокшаров В.С., Судаков И.А.

Научный руководитель – Зайцев А.В.

ПНИПУ, г. Пермь

Разработана модель начального режима работы уплотнительных колец (УК) [1, 2] и составных уплотнительных элементов (УЭ) из терморасширенного графита (ТРГ) для трубопроводной арматуры большого диаметра [3], учитывающая цилиндрическую анизотропию, экспериментально определенные упругие и прочностные характеристики ТРГ. Контактное давление определялось экспериментально на основе разработанной методики с использованием ультратонких пленок Fuji Prescale, размещаемых в зоне контакта. Получены новые численные решения задач для отдельных колец и их пакетов в режиме «приработки», квазистационарных условиях без износа, проведена оценка

начальной прочности при различных температурах и давлениях рабочей среды, различной толщине и количестве УК в сальниковой камере, различных режимах возвратно-поступательного и вращательного движения штока, а также различных условиях на поверхностях контакта.

Основной причиной выхода из строя трубопроводной арматуры является протечка во фланцевых соединениях, герметичность которых достигается путем точной установки УЭ, заданными моментами затяжки шпилек, обеспечивающих однородность давления по всей площади контакта, «жесткими» требованиями по шероховатости и отклонениям от параллельности поверхностей фланца. Для повышения прочности и износостойкости, было предложено новое конструктивное решение – армирование ТРГ перфорированной металлической пластиной (были определены эффективные свойства и коэффициенты концентрации напряжений [8–10]), вызвавшей неоднородность распределения давления на поверхности контакта УЭ и фланца, что было подтверждено качественным и количественным совпадением результатов тестовых расчетов и натуральных испытаний с использованием пленок Fuji Prescale на стенде для гидравлических испытаний на герметичность фланцевых уплотнений СИГ–1.400. Было показано, что перепады давлений, вызванные неоднородностью армированного УЭ, не оказывают влияния на эксплуатационные характеристики, а неоднородность контактного давления, вызванная отклонением от параллельности поверхностей фланца, приводит к значительным перепадам давлений и разгерметизации.

Работа выполнена в рамках задания № 2015/152 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части госзадания Минобрнауки РФ (код проекта – 1911).

Литература.

1. Зайцев А.В., Рогов Д.С. Моделирование начального режима работы кольца из терморасширенного графита в кранах с уплотнением по штоку // Известия Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14. № 4-5. С. 1235–1238.

2. Зайцев А.В., Злобин Н.Г., Исаев О.Ю., Смирнов Д.В. Моделирование условий эксплуатации и уточненный прочностной анализ уплотнительных элементов из терморасширенного графита // Вестник ПНИПУ. Механика. 2012. № 4. С. 5–19.

3. Зайцев А.В., Кокшаров В.С. Предков И.В. Механическое поведение составных уплотнительных элементов из терморасширенного графита для фланцевых соединений трубопроводов большого диаметра // Известия Самарского НЦ РАН. 2014. Т. 16, № 4-3. С. 542–546.

4. Дедков Д.В., Зайцев А.В., Ташкинов А.А. Концентрация напряжений в слое тканого композита с закрытыми внутренними технологическими порами // Вестник ПНИПУ. Механика. 2011. № 4. С. 29–36.

5. Дедков Д.В., Зайцев А.В., Ташкинов А.А. Эффективные упругие модули тканого композита полотняного плетения с локальными технологическими дефектами // Известия Самарского НЦ РАН. 2014. Т. 16, № 4-3. С. 526–530.

## Моделирование технологического процесса изготовления провода

Колесникова С.Ю.

Научный руководитель – Хаймович И.Н.

СГАУ им. С.П. Королёва, г. Самара

Для изготовления определённого вида и типоразмера провода требуется соответствующие технология изготовления и оборудование. Создание поточных автоматических линий затруднено из-за большой разницы во времени, необходимом для проведения соответствующих операций. Потому, необходим комплексный учёт особенностей каждой операции, являющейся частью общего производственного цикла. В настоящее время лидером в технологиях имитационного моделирования является профессиональный инструмент AnyLogic благодаря своей гибкости и отличительной черте – многоподходному моделированию.

Для составления модели производственной цепочки изготовления провода FLRY-25-С использовались фотографии рабочего места методом непосредственных замеров затраченного времени на каждую операцию.

В процессе анализа моделирования производственного цикла выявлены следующие проблемы:

- Производительность на первой линии снижена на 25% из-за снижения скорости волочения с 27 до 20 м/с.
- Причина: повышенная обрывность проволоки.
- Производительность скрутки снижена из-за неэффективного использования крутильных машин (1-й вместо 2-4-х).
- Длительное время хранения медной стренги-заготовки в цехе № 4 перед срабатыванием на крутильной машине и перед транспортировкой в цех №1.
- Причина: линия скрутки была занята на другое задание, недостаточная информированность персонала о готовности медной жилы.
- Лишний промежуточный пункт назначения медной жилы.

Причина: не оптимально выстроена транспортная цепочка.

В связи с проведёнными исследованиями предложены мероприятия по решению выявленных проблем с целью оптимизации процесса производства провода FLRY-25-С.

Создана новая модель производственного цикла изготовления провода с учётом вышеперечисленных мероприятий с увеличением скорости на первой линии до 27 м/с, использованием максимально возможного числа крутильных машин (4 шт.) и уменьшении времени простоя барабанов с проволокой между операциями.

Установлено, что соблюдение данных мероприятий позволяет сократить длительность производственного цикла провода FLRY-25-С на 68 часов, тем самым повысить производительность процесса на 40%.

Выводы:

- 1. Проведение имитационных экспериментов в AnyLogic позволяет оценить влияние изменения различных параметров системы на выход конечной продукции;

- 2. Выявлен ряд проблем в производственном цикле изготовления провода FLRY-25-C и предложены мероприятия по оптимизации данного процесса;
- 3. Внедрение предложенных мероприятий позволяет сократить длительность производственного цикла изготовления провода на 68 часов и увеличить производительность процесса на 40%.

## **Атомистическое моделирование структуры и фазовых переходов в чистом уране и сплаве U-Mo**

Колотова Л.Н.

Научный руководитель – Стариков С.В.

ОИВТ РАН, г. Москва

Сплав уран-молибден является одним из кандидатов на роль перспективного ядерного топлива для реакторов нового поколения на быстрых нейтронах. Данный сплав отличается высокими показателями плотности, теплопроводности, повышенной коррозионной и радиационной стойкостью. Чистый уран может находиться в трех различных кристаллических фазах. Наиболее стабильной является  $\alpha$ -фаза урана, обладающая ромбической решеткой. При высоких температурах наблюдается переход в тетрагональную  $\beta$ -фазу и кубическую объемноцентрированную (ОЦК)  $\gamma$ -фазу. В ряде работ обсуждается превращение  $\alpha$ -фазы в  $\gamma$ -фазу минуя  $\beta$ -фазу. Также в некоторых теоретических работах показывается, что тетрагональная объемноцентрированная (ОЦТ) фаза, является гораздо более стабильной чем  $\beta$ - или  $\gamma$ -фаза. Однако в экспериментах образование ОЦТ фазы чистого урана замечено не было. Стоит отметить, что наиболее лучшими техническими свойствами обладает кубическая  $\gamma$ -фаза, однако стабилизировать её при комнатной температуре чрезвычайно сложно. Поэтому уран легируют металлом с ОЦК-решеткой (ниобием или молибденом), что позволяет стабилизировать структуры, близкие к  $\gamma$ -фазе, при комнатной температуре. Несмотря на большой объем экспериментальных и теоретических исследований по фазовой диаграмме, структуре и кинетике фазовых переходов в системе уран-молибден, выполненных в 50х – 70х годах [1,2] интерес к исследованию свойств металлических топлив и оптимизации дизайна топливных структур (например, дисперсное топливо) сохраняется. Во многом он поддерживается стремлением к переходу на низкообогащенное плотное топливо для исследовательских реакторов.

В данной работе выполнено исследование методом молекулярной динамики структур метастабильных гомогенных фаз U-Mo, образованных при кристаллизации расплава. Показано, что при небольших концентрациях молибдена более стабильной является фаза, обладающая тетрагональной решеткой. Данную структуру можно характеризовать как близкую к объемноцентрированной решетке с небольшим смещением центрального атома из центра базисной ячейки. Результаты расчетов согласуются с экспериментальными данными и подтверждают анизотропию структуры сплава при малых концентрациях молибдена. По мере увеличения концентрации молибдена происходит плавный переход к кубической структуре, однако этот

переход осуществляется не за счет изменения положений атомов урана, а за счет накопления центров стабилизации кубической решетки, которыми являются атомы молибдена. Рассчитана кривая равновесия между ОЦТ и ОЦК фазой сплава на Т-х диаграмме.

Литература.

1. Konobeevskii S. T. [et al.] An investigation of structural changes caused by neutron irradiation of a uranium mo-lybdenum alloy. // J. Nuclear Materials. Journal of Nuclear Energy.Part B. Reactor Technology. - 1959. - V. 9. - P. 75-89

2. Howlett B. W. A study of the shear transformations from the gamma-phase in uraniummolybdenum alloys containing 6.0–12.5 at % molybdenum // J. Nucl. Mater. - 1970. - V. 35. - P. 278-292

## **Современное оборудование и новые методы исследования процессов деформации и разрушения материалов и наноматериалов**

Корольский В.В., Чернятович Е.А.

Научный руководитель – Смирнова Л.Л.

МАИ, г. Москва

Задачи экспериментального изучения распределения деформаций, и напряжений в деталях машин и элементах сооружений являются наиболее сложными. Эти задачи возникают по разным причинам. Одна из них состоит в том, что в конструкциях современных машин ответственные детали имеют настолько сложную конфигурацию, что теория сопротивления материалов далеко не всегда может дать исчерпывающий ответ на вопрос об их прочности. В таких случаях на помощь приходит изучение напряженного состояния детали или ее модели путем применения специальных экспериментальных методов исследования деформаций и напряжений.

В процессе пластической деформации пластичных металлических материалов наблюдается постепенное накопление и взаимодействие дефектов кристаллической решетки (вакансий, междоузельных атомов, дислокаций и дисклинаций, двойников, границ блоков и зерен и т.п.). Вследствие этого, на определенной стадии деформации в материале зарождаются сначала субмикротрещины, затем микротрещины, которые, достигнув критического размера, приводят к необратимой повреждаемости материала, развитие которой в конечном итоге приводит к катастрофическому разрушению.

Выявление степени критической повреждаемости в ответственных конструкциях является в настоящее время одним из важнейших направлений в науке о прочности материалов.

Применение таких методов неразрушающего контроля, как акустико-эмиссионная диагностика, открывает новые возможности в создании измерительных средств неразрушающего контроля, позволяющих получить количественные характеристики структурного состояния и остаточного ресурса работы металлических конструкций.

Капиллярная дефектоскопия – является одним из основных методов неразрушающего контроля и предназначена для обнаружения поверхностных и сквозных дефектов в объектах контроля, определения их расположения,

протяженности (для протяженных дефектов типа непроваров, трещин) и их ориентации на поверхности.

Сканирующая электронная микроскопия является одним из наиболее широко используемых для диагностики наноматериалов и наноструктур методов.

Магнитные методы неразрушающего контроля используются для обнаружения скрытых дефектов в деталях, материалом для которых служит ферромагнитный металл (сталь, чугун), т. е. материалы, способные под воздействие внешнего магнитного возмущения менять свои магнитные характеристики.

Рассмотренные методы имеют большое прикладное значение. Они позволяют выявить внутренние деформации и дефекты конструкции, при этом многие – не нарушая целостности детали или элемента конструкции. Неразрушающий контроль – один из важнейших элементов обеспечения промышленной безопасности технических устройств, зданий и сооружений при эксплуатации опасных производственных объектов.

### **Описание упрочнения в монокристаллах при неупругом циклическом деформировании**

Котельникова Н.В.

Научный руководитель – Волегов П.С.

ПНИПУ, г. Пермь

Построение математических моделей, которые учитывают эволюцию физико-механических свойств моно- и поликристаллов в процессах неупругого деформирования, является весьма актуальной задачей. Это обусловлено тем, что эволюция дефектной структуры материала (**определяемая действующими физическими механизмами деформации**) влечет за собой значительные изменения его физических и механических свойств на макроуровне. Поэтому важно уметь моделировать реальные технологические процессы обработки материалов с учетом эволюционирующей микро- и мезоструктуры.

Ключевым моментом в работе является описание упрочнения. Упрочнением (на макроуровне) называют явление, при котором для продолжения пластической деформации материала необходимо увеличивать нагрузку. На мезоуровне упрочнения является следствием увеличения критических сдвиговых напряжений по кристаллографическим системам скольжения, к чему приводит формирование на микроуровне барьеров, препятствующих движению дислокаций внутри зерен. Описание упрочнения должно основываться на физических причинах, так как изменение физико-механических свойств образца в процессах обработки металлов является следствием существенной перестройки микро- и мезоструктуры материала. Описывать такие процессы можно только путём включения в модель соотношений, в явном виде учитывающих физические первопричины эволюции микроструктуры материала при больших деформациях.

Определение вида закона упрочнения зависит от параметров и рассматриваемых физических механизмов, влияющих на упрочнение (таких, как склонность материала к образованию расщепленных дислокаций, способность

дислокаций аннигилировать друг с другом, учет влияния границ внутри кристалла, термоактивированное движение дислокаций и т.д.).

В модели, используемой в работе, предложено учитывать как предысторию деформирования, так и взаимодействие дислокаций систем скольжения между собой в данный момент. В результате такого взаимодействия могут образоваться барьеры разных типов (например, барьеры Ломера-Коттрелла), которые являются серьезным препятствием для движения дислокаций и приводят к значительному упрочнению материала.

Интерес представляет возможность корректировать исходные данные (тип нагружения, некоторые физические параметры) и использовать удовлетворяющие этим данным законы упрочнения. В ходе исследований рассмотрены некоторые варианты закона упрочнения, учитывающие различные механизмы взаимодействия дислокаций. В результате получена кривая зависимости интенсивности напряжений от интенсивности деформации, с достаточной точностью соответствующая экспериментальным данным.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4917.2015.1, РФФИ (грант №14-01-96008 p\_урал\_a).

### **Процессы накопления повреждений, микро- и макроразрушение песчаников при монотонном и немонотонном трёхосном нагружении**

Кочуров В.И., Черевко А.Р.

Научный руководитель – Зайцев А.В.

ПНИПУ, г. Пермь

Для изучения закономерностей повреждения геоматериалов на стадии разупрочнения разработана двухуровневая модель квазистатического деформирования песчаника [1–7]. Модель с единых позиций описывает неупругое деформирование материала при монотонном пропорциональном нагружении, сопровождаемое возникновением и развитием областей, потерявших несущую способность, как непрерывный многостадийный процесс накопления повреждений, а разрушение – как результат потери устойчивости этого процесса. Разработанная модель позволила показать связь реализации равновесных состояний на стадии разупрочнения с возникновением внутренней поврежденной структуры в первоначально бездефектном геоматериале из-за локализации разрушения, определить закономерности локализации разрушения: разносопротивление и разрыхление. Применение испытательных систем с сервоуправлением позволяет строить диаграммы деформирования с равновесными участками ниспадающей ветви с отрицательной кривизной. Подобные диаграммы регистрируются для хрупких и газонасыщенных песчаников Верхнекамского района. Для моделирования эволюции повреждений при немонотонном нагружении был разработан метод превентивных разгрузок [8]. Построение полной диаграммы деформирования этим методом предполагает поддержание равновесия между силами сопротивления материала и внешними силами, которое достигается проведением ряда циклов разгрузка – активное нагружение при появлении признаков неуправляемого разрушения. Показано, что благодаря осуществлению последовательности этапов активного



нагрузки и разгрузки, можно построить полные диаграммы деформирования даже при «мягком» нагружении.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты РФФИ № 14–01–00726 и РФФИ–Урал № 14–01–96029).

Литература.

1. Вильдеман В.Э., Зайцев А.В. Деформационное разупрочнение и разрушение композиционных материалов зернистой структуры // Механика композиц. материалов и конструкций. 1996. Т. 2, № 2, С. 118–124.

2. Вильдеман В.Э., Зайцев А.В. Равновесные процессы разрушения зернистых композитов // Механика композит. материалов. 1996. Т. 32, № 6. С. 808–817.

3. Вильдеман В.Э., Зайцев А.В. О численном решении краевых задач механики деформирования и разрушения структурно-неоднородных тел с граничными условиями третьего рода // Вычислит. технологии. 1996. Т. 1, № 2. С. 65–73.

4. Вильдеман В.Э., Зайцев А.В., Горбунов А.Н. Закономерности и механизмы повреждения неоднородных тел на закритической стадии // Физическая мезомеханика. 1999. Т. 2, № 4. С. 41–53.

5. Зайцев А.В., Локальная неустойчивость деформирования и самоподдерживаемое разрушение зернистого композита на закритической стадии деформирования // Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7, № S1–1. С. 351–354.

6. Зайцев А.В. Закономерности процессов накопления повреждений и условия перехода к локализованному разрушению зернистых композитов при квазистатическом нагружении // Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7, № 5. С. 63–72.

7. Zaitsev A.V. Nonlocal conditions for the transition from damage to a localized failure in granular composites under quasistatic loading // J. Physics: Conf. Ser. 2009. Vol. 181.P. 012046.

8. Зайцев А.В., Вильдеман В.Э. Равновесные состояния поврежденной неоднородной среды в условиях немонотонного нагружения // Вестник ПНИПУ. Механика. 1997. № 5. С. 35–42.

## **Методика определения зависимости интенсивности напряжений от интенсивности деформаций в процессе растяжения образца**

### **при повышенных температурах**

Крутиков П.В., Шивцова А.В.

Научный руководитель – Ларин С.Н.

ТулГУ, г. Тула

В аэрокосмическом машиностроении для изготовления деталей сложной формы и ответственного назначения широко применяются тонколистовые алюминиевые и титановые сплавы. Эти сплавы при комнатной температуре трудно деформируются и имеют низкие пластические свойства, поэтому широкое применение нашли технологии изотермической штамповки при повышенных температурах. Для определения оптимальных режимов изотермической штамповки необходимо знать механические и пластические

свойства сплавов при повышенных температурах, а также зависимости интенсивности напряжений от интенсивности деформаций. Для разработки наукоёмких технологий изотермической штамповки требуется учитывать механические и пластические свойства сплавов в широком диапазоне изменений степени и скорости деформаций. Эту информацию можно получить, если имеются экспериментальные кривые упрочнения сплавов при повышенных температурах. Из-за высокой трудоёмкости существующих методов экспериментальных исследований, необходимых для определения зависимости интенсивности напряжений от интенсивности деформаций при повышенных температурах информация для новых сплавов отсутствует, что удорожает технологическую подготовку производства.

Предлагаемая методика определения зависимости интенсивности напряжений от интенсивности деформаций в процессе растяжения образца при повышенных температурах позволяет получать экспериментальные кривые упрочнения сплавов и определять закономерности поведения исследуемых сплавов в зависимости от температуры штамповки, степени и скорости деформации. Эксперименты проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 9651-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах» на современной испытательной машине INSTRON 5982 с компьютерным управлением скорости перемещения захватов и автоматизированными расчётами механических и пластических характеристик испытываемого образца с записью диаграммы «Нагрузка-перемещение». Компьютерное управление скорости перемещения захватов испытательной машины, наличие тензометрической регистрации нагрузки и получение графика испытания на мониторе компьютера позволяют существенно снизить трудоёмкость испытания благодаря возможности обработки диаграммы «нагрузка-перемещение» на компьютере. Перед проведением испытания на участке расчётной длины образца с интервалом 10 мм наносились поперечные риски. С помощью микрометра измерялись вдоль каждой риски ширина и толщина образца. После растяжения вдоль тех же рисков определялись конечные значения ширины и толщины. По результатам измерений проводился расчёт деформаций, скоростей деформаций и коэффициентов анизотропии в каждом поперечном сечении. С учётом постоянства объёма при растяжении определялись значения изменения длины локального участка образца, соответствующего поперечного сечения. Это позволяло при обработке диаграммы «нагрузка-перемещение» определять соответствующие масштабы записи процесса растяжения для каждого поперечного сечения и находить изменение площади поперечных сечений в любой момент времени процесса растяжения и соответствующие значения нагрузки. Получено семейство кривых упрочнения для нескольких локальных участков образца при фиксированной температуре и скорости испытания. Изменяя скорости, в процессе растяжения находили влияние этого фактора на интенсивность напряжения и статистической обработкой получали уравнения регрессии, которые применимы при расчёте оптимальных режимов изотермической штамповки деталей сложной формы.

## **Штамп для двухугловой гибки листового материала с упругим элементом**

Кузин А.О.

Научный руководитель – Попов И.П.

СГАУ им. С.П. Королёва, г. Самара

Цель работы - исследование процесса двухугловой гибки в штампе с упругой планкой, моделирование данного технологического процесса в программе DEFORM 2-D, позволяющий методом конечных элементов учитывать напряжения и деформации заготовок, а также применять упругие свойства штамповой оснастки.

В данной работе предложена новая схема процесса двухугловой гибки в штампе с упругой планкой. В начале процесса заготовка фиксируется на матрице и выталкивателе, который находится в верхнем положении. При движении пуансона вниз выталкиватель опускается, упругая планка начинает прижимать вертикальные полки заготовки к пуансону, создавая дополнительную нагрузку на заготовку. При обратном ходе выталкиватель выводит заготовку из матрицы, при этом упругая планка на протяжении всего процесса прижимает заготовку к пуансону. После окончания процесса заготовку снимают с пуансона пинцетом. Данная схема предназначена для обработки металлов давлением и относится к способам штамповки двухугловой гибкой. Новая схема позволит снизить упругое пружинение, за счет формы упругой планки и формы пуансона, повысить качество детали, исключить из технологического процесса операцию калибровки.

Для подтверждения теоретических расчетов смоделирован процесс деформации упругой планки и процесс двухугловой гибки с использованием упругой планки в программном комплексе DEFORM-2D.

Моделирование проводилось для процесса деформации прямого и обратного хода. Анализ результатов проводился в постпроцессоре программного комплекса. Для оценки условий процесса рассматривались поля распределений напряжений и деформаций по объёму планки в момент начала деформации, в середине процесса деформации и по окончании деформации. Упругая планка пластически не деформировалась, что доказывает упругую модель штамповой оснастки.

Штамповую оснастку целесообразно изготавливать из инструментальных сталей, предназначенных для штампов холодной штамповки. Рабочие элементы штампа (матрица, пуансон) материалы У8 или У10 и после термообработки твердость HRC 50-55. Упругая планка сталь 45 подвергается термообработки: отжиг при температуре 840-860°C, время 1 час с охлаждением в печи; полная закалка в воду при температуре 840-860°C, время 20 минут; высокий отпуск при температуре 550-600°C, 20 минут, далее охлаждение на воздухе; азотирование при температуре 550-600°C, время 55 часов для повышения стойкости. Размеры пуансона и матрицы соответствуют размерам детали. Пуансон корректируется в зависимости от геометрических параметров детали, угла пружинения, минимального радиуса гибки и материала заготовки.

В результате работы разработана модель штампа с упругой планкой, которая позволяет сделать процесс двухугловой гибки более технологически и

экономически выгодным. Разработанная модель штамповой оснастки с упругой планкой показала перспективность технологического процесса и рекомендована к внедрению в производство.

### **Упругие характеристики нанотрубок и микротрубок с гексагональной цилиндрической анизотропией, полученных сворачиванием кристаллических плоскостей (100)**

Куренков И.Э.

Научный руководитель – Лисовенко Д.С.

МАИ, г. Москва

В [1-3] для теоретического описания упругих свойств углеродных нанотрубок предложена модель полого стержня, обладающего анизотропией. В рамках подхода Сен-Венана рассмотрены задачи растяжения и кручения нано/микротрубок, обладающих гексагональной и ромбоэдрической цилиндрической анизотропией. Получены аналитические выражения для модуля Юнга и крутильной жесткости для нанотрубок. В этих работах предполагалось, что нанотрубки получались сворачиванием кристаллических плоскостей (001), т.е. имело место локальное соответствие  $1 \rightarrow z$ ,  $2 \rightarrow -\varphi$ ,  $3 \rightarrow r$  (1, 2, 3 – лабораторная декартова система координат,  $r$ ,  $\varphi$ ,  $z$  – цилиндрическая система координат, относящиеся к нанотрубке). В [3] рассмотрена задача растяжения нано/микротрубок с кубической цилиндрической анизотропией с учетом угла хиральности (угла между главной кристаллографической осью и осью растягиваемой трубки). При этом предполагалось, что нанотрубки получались сворачиванием кристаллической плоскости (001). Численный анализ коэффициента Пуассона для нано/микротрубок показал, что все они будут иметь отрицательный коэффициент Пуассона.

В работе [2] предложена модель нанотрубки с локальным соответствием  $1 \rightarrow r$ ,  $2 \rightarrow \varphi$ ,  $3 \rightarrow z$ . Основываясь на этой модели, в рамках подхода Сен-Венана рассмотрена задача растяжения нанотрубок, обладающих гексагональной цилиндрической анизотропией. Нанотрубки получались сворачиванием кристаллических плоскостей (100). В результате анализа получены аналитические выражения модуля Юнга и коэффициента Пуассона с учетом угла хиральности. Численный анализ проводился для нано/микротрубки из кристаллов цинка и дисульфида молибдена с углами хиральности 0 и  $\pi/2$ .

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 14-11-00844.

Литература.

1. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. Мезомеханика многослойных углеродных нанотрубок и наноусов. Физическая мезомеханика, 2008 г., Т.11, №6, С.25-42.

2. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. К описанию многослойных нанотрубок в рамках моделей цилиндрически анизотропной упругости. Физическая мезомеханика, 2009 г., Т.13, №5, С.5-14.

3. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. Модули Юнга и коэффициенты Пуассона криволинейно анизотропных гексагональных и

ромбоэдрических нанотрубок. Нанотрубки-ауксетики. ДАН, 2013 г., Т.452, № 3, С. 279-283.

4. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С., Волков М.А. Отрицательный коэффициент Пуассона для кубических кристаллов и нано/микротрубок. Физическая мезомеханика. 2013 г., Т.16, №6, С.13-31.

### **Экспериментальные исследования влияния металлических сеток на звукопоглощение однослойных образцов**

Кустов О.Ю., Лапин И.Н.

Научный руководитель – Пальчиковский В.В.

ПНИПУ, ЛМГШИМА, РКТиЭС, г. Пермь

Согласно решению КАЕП ИКАО в феврале 2013 г. ужесточились международные требования к нормам по шуму самолетов на местности. Шум генерируемый вентилятором распространяется по внешним контурам авиационного двигателя и для его подавления стенки каналов облицовываются звукопоглощающими конструкциями (ЗПК), как правило резонансного типа. Степень снижения шума зависит от общей площади ЗПК и акустической эффективности в каждой температурной зоне двигателя. Применение ЗПК на двигателе позволяет снизить акустическую эмиссию на ~20 EPNdB. В связи с этим предлагаются различные варианты увеличения эффективности звукопоглощения ЗПК. В данной работе рассмотрено влияние металлических сеток на коэффициент звукопоглощения при их наложении на однослойные ЗПК ячеистого типа.

Экспериментальные исследования характеристик ЗПК можно реализовать на установках «Канал с потоком» и «Интерферометр с нормальным падением волн». Чтобы определить акустические характеристики ЗПК на первой установке необходимо обрабатывать экспериментальные данные по некоторой процедуре, применяемый на второй установке метод передаточной функции позволяет сразу же определять эти характеристики.

Для проведения экспериментальных исследований в Лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа ПНИПУ была разработана установка "Интерферометр с нормальным падением волн", измерительная часть которой укомплектована аппаратурой фирмы Brüel & Kjaer. Отличительной особенностью установки от аналогов известных мировых производителей, которые ориентированы на строительную акустику, является наличие массивной импедансной трубы, позволяющей реализовывать уровни акустического давления до 160 дБ, что характерно для каналов авиационных двигателей.

Сотовые однослойные образцы с разным объемом резонаторов  $5.2355 \cdot 10^{-6}$ ,  $1.5751 \cdot 10^{-6}$ ,  $9.8171 \cdot 10^{-7}$  м<sup>3</sup>, а также пластины со степенями перфорации 7, 11, 15 % были напечатаны из abs-пластика на 3D-принтере. Металлические сетки были изготовлены с разными размерами ячеек: ромб 2 мм; квадрат 2 мм; квадрат 0.5 мм. Сотовые образцы накрывались либо пластиной с перфорацией, либо металлическими сетками, либо совместно перфорированной пластиной и сеткой. Эффективность исследуемых образцов оценивалась по величине коэффициента звукопоглощения  $\alpha$ . Испытания проводились в частотном диапазоне 500-6400 Гц с уровнями акустического давления 130, 140 и 150 дБ.

В результате проведенных экспериментов выявлено, что определенное сочетание металлической сетки, перфорированной пластины и резонатора может дать увеличение коэффициента звукопоглощения с расширением диапазона его действия по частоте.

### **Аналитические решения задач об упругом равновесии анизотропных сфер и цилиндров, находящихся в поле гравитационных сил, и их приложения**

Кутергин А.В., Фукалов А.А.

Научный руководитель – Зайцев А.В.

ПНИПУ, г. Пермь

Потребность в решении задач для анизотропных сферических и цилиндрических тел, находящихся в равновесии в поле гравитационных сил под действием равномерных и/или неравномерных внутреннего и/или внешнего давлений, обусловлена широким спектром приложений в строительстве и геологии. При решении задач геомеханики хранения и добычи полезных ископаемых и дорожного строительства необходимо учитывать центральную и осевую симметрию, естественную анизотропию монолитных крепей горных выработок и облицовок, а также их взаимодействие с окружающими массивами грунтов или осадочных пород. Получение новых аналитических решений также важно и актуально для разработки инженерных методов уточненного прочностного анализа, для тестирования численных алгоритмов решения более сложных задач, в которых отдельные элементы конструкций и сооружений имеют аналогичную геометрию и граничные условия, а также для отработки методик эксперимента с тяжелыми телами простейшей геометрии.

Получены новые аналитические решения задач о равновесии полых и составных толстостенных трансверсально-изотропных сфер [1, 2] и ортотропных цилиндров [3, 4] с жестко закрепленной внешней или внутренней поверхностью и находящихся под действием однородного и/или неоднородного внутреннего или внешнего давления в поле гравитационных. Рассмотрена монолитная железобетонная крепь сферической горной выработки, окруженная массивом осадочных пород, проанализировано влияние геометрии и свойств материалов на распределения независимых инвариантов тензора напряжений сферически трансверсально-изотропного тела в поперечных сечениях вдоль меридиональной и радиальной координаты, проведена оценка начальной прочности на основе многокритериального подхода, определены области, где это разрушение может быть инициировано. Решены задачи о равновесии железобетонного цилиндра, находящегося на грунтовом основании. Площадь контактной поверхности предполагалась известной и неизменной. Реакция основания считалась заданной в виде квадратичной функции, на которую налагалось условие равенства ее интегральной суммы весу конструкции. Записаны граничные условия для определения постоянных интегрирования частного решения, проанализированы распределения полей перемещений и напряжений в поперечных сечениях горизонтальных монолитных железобетонных цилиндров, нижняя половина которых вкопана в грунт.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ–Урал № 14–01–96029).

Литература.

1. Зайцев А.В., Фукалов А.А. Упругое равновесие тяжелой трансверсально-изотропной толстостенной сферы с жестко закрепленной внутренней поверхностью // Вестник Самарского гос. технического ун-та. Серия: Физико-математические науки. 2010. № 5(21). С. 85–95.

2. Зайцев А.В., Соколкин Ю.В., Фукалов А.А. Механизмы начального разрушения железобетонной крепи сферической горной выработки в массиве осадочных пород // Вестник ПНИПУ. Механика. 2013. № 4. С. 59–74.

3. Зайцев А.В., Кутергин А.В. Упругое равновесие тяжелого горизонтального толстостенного ортотропного цилиндра, находящегося под действием неравномерно распределенного бокового давления // Вестник ПНИПУ. Механика. 2010. – №4. С. 36–45.

4. Зайцев А.В., Кислицын А.В., Кутергин А.В. Фукалов А.А. Распределение напряжений в поперечных сечениях контейнеров из стеклопластика и полимербетона, используемых для длительного хранения высокоагрессивных сред // Известия Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14, № 4-5. С. 1230–1234.

## **Моделирование процесса вытяжки осесимметричной детали из биметалла**

**Кучковский Ю.П.**

**Научный руководитель – Типалин С.А.**

**МАМИ, г. Москва**

Конкуренция на рынке машин и агрегатов приводит к использованию конструкторами и технологами новых материалов, превосходящих по своим свойствам традиционные аналоги. В связи с этим возрастает роль композиционных материалов. В частности, все большее распространение получают многослойные композиционные листовые материалы. Технологические особенности деформирования подобных материалов имеют существенные отличия от однослойных материалов, в плане силовых составляющих и штампуемости материала. Любое изменение технологического процесса производства изделия связано со значительными материальными затратами на частичную или полную переработку этого процесса. В том числе – применение новых материалов с улучшенными эксплуатационными или технологическими свойствами означает не только повышение качества готового изделия и снижение себестоимости, но и переработку технологического процесса, а порой и полное его изменение.

Изменяя характеристики исходного материала или его геометрию, в технологии листовой штамповки, технологи обязаны согласовать эти изменения с конструкторами, которые в свою очередь обязаны пересмотреть конструкцию технологической оснастки.

Целью исследования является определение способа сокращения расходов на реализацию нововведений в технологический процесс листоштамповочного производства, путём применения композиционных материалов в качестве исходных заготовок, вместо традиционных – однослойных.

В ходе исследования проведено численное компьютерное моделирование процесса вытяжки осесимметричной детали из композиционного материала (биметалла), для определения возможности замены ею однослойной заготовки, без переработки технологического процесса.

Для этого было выполнено сравнение показателей технологического процесса вытяжки цилиндрической детали из биметалла и исходного листового материала, взятого из рассчитанного техпроцесса. Наиболее информативными оказались такие показатели как: диаграммы штампуемости, главные деформации и утонения (утолщения) заготовки по сечению.

По результатам компьютерного моделирования был сделан вывод о рациональности замены, в процессах листовой штамповки, однослойных материалов на многослойные.

### **О применении расширенного метода конечных элементов для моделирования роста трещин**

Лебедев И.М.

Научные руководители – Гольдштейн Р.В., Шушпанников П.С.  
ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, г. Москва

Процессы, связанные с образованием и ростом трещин в деформируемых телах, встречаются повсеместно. Как следствие, имеется большая потребность в разработке методов моделирования указанных процессов.

Решения задач о моделировании роста трещин имеют ряд особенностей. Во-первых, на берегах трещин претерпевают разрыв те или иные компоненты вектора перемещений. Во-вторых, компоненты тензора напряжений сингулярны вблизи вершины трещины. Одним из способов решения таких задач является метод конечных элементов (МКЭ). В рамках данного метода геометрия (конфигурация) трещин учитывается явно на этапе построения расчётной сетки, а сингулярность поля напряжений учитывается за счёт использования вблизи вершины трещины специальных сингулярных элементов. Как следствие, изменение геометрии трещин предполагает перестройку расчётной сетки, что, очевидно, является недостатком метода.

Свободным от указанного недостатка является рассматриваемый в настоящей работе расширенный метод конечных элементов. В рамках данного метода разрывы в поле перемещений и сингулярный характер поведения поля напряжений учитываются в самой конечно-элементной аппроксимации. Для этого вводятся дополнительные степени свободы, описывающие как раскрытие берегов трещин, так и сингулярность вблизи ее вершины.

В качестве метода, используемого для описания геометрии трещины, используется метод множества уровня. В рамках данного метода геометрия трещин определяется при помощи двух функций множества уровня. Свойства этих функций таковы, что позволяют разработать эффективные методы их перестройки при изменении геометрии трещин.

Моделирование роста трещины осуществляется следующим образом. Процесс роста трещин разбивается на шаги, определяемые пошаговым изменением параметра нагружения. Для моделирования напряжённо-деформированного состояния в теле с трещинами на каждом шаге используется



расширенный метод конечных элементов. Направление роста трещины вычисляется с использованием критерия максимальных нормальных напряжений. Скорость роста считается постоянной. Зная направление и скорость роста можно определить изменение геометрии трещин и далее перестроить функции множества уровня.

Описанный метод реализован в виде собственного пакета программ и рассмотрен на примере двумерной задачи о росте краевой трещины, соответствующей трещине нормального отрыва, в прямоугольной изотропной пластине, находящейся в условиях действия растягивающих нагрузок.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-01-00869.

## **Влияние особенностей состава и структуры на трибологические характеристики алмазоподобных нанокompозитных покрытий, легированных металлами VIa группы**

Левин И.С., Шальнов С.А.

Научный руководитель – Хрущов М.М.

ИМАШ им. А. А. Благонравова РАН, г. Москва

Алмазоподобные углеродные покрытия характеризуются высокой износостойкостью и низким коэффициентом трения, но из-за особенностей технологий их нанесения в большинстве случаев имеют небольшую толщину, что не гарантирует их долговечность. В настоящее время ведутся активные работы по повышению износостойкости покрытий за счет их легирования металлическими и металлоидными компонентами и создания на этой основе алмазоподобных нанокompозитных структур. В этой связи в данной работе изучалось влияние структуры алмазоподобных покрытий, легированных хромом, молибденом и вольфрамом, на их поведение при трении в условиях больших контактных давлений.

Проведены исследования атомно-кристаллической структуры, фазового состава и трибологических свойств алмазоподобных покрытий, полученных методами плазмохимического осаждения из кремнийорганических прекурсоров (а-С:Н:Мо:Si) и магнетронного распыления (а-С:Н:Cr и а-С:Н:W).

Для покрытий а-С:Н:Мо:Si было обнаружено образование ультрадисперсных включений, содержащих смесь карбидных или силицидных фаз молибдена. В покрытиях а-С:Н:Cr при реактивном напылении в смеси ацетилен-азот установлено формирование нанокompозитной структуры на основе хрома и его наноразмерных карбидных и нитридных фаз. Показано, что при дополнительном легировании данных покрытий кислородом путем замены азота на воздух в составе активной атмосфере приводит к обезуглероживанию покрытий. В составе покрытий в этом случае обнаружены фазы монооксида и монокрида хрома, а углерод, присутствовавший в активной атмосфере, вероятнее всего, связывался с кислородом с образованием газообразного монооксида углерода. В покрытиях, легированных вольфрамом, была обнаружена и исследована нанокompозитная структура на основе вольфрама и его карбидных фаз.

Трибологические испытания проведены на одношариковом трибометре в геометрии "диск-сфера". Показано, что покрытие а-С:Н:Мо:Si имеет высокий коэффициент трения и низкую фрикционно-усталостную долговечность.

Легирование алмазоподобных покрытий вольфрамом дало возможность существенно улучшить работоспособность, однако величина коэффициента трения при этом сохранялась на достаточно высоких значениях  $f \geq 0,2$ .

Установлено, что наиболее высокими трибологическими свойствами обладали покрытия, легированные хромом, нанесенные с использованием смеси ацетилена и азота. Так, у покрытий а-С:Н:Сг, нанесенных в атмосфере чистого ацетилена, коэффициент трения составлял  $\sim 0,2 \pm 0,35$ , однако использованием газовых смесей с высоким содержанием азота (например, 20 об.% C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>+80 об.% N<sub>2</sub>) удавалось понизить  $f$  до значения  $\sim 0,1$ . Такие высокие трибологические характеристики позволяют считать данные покрытия перспективными для использования их в условиях больших контактных давлений. При этом необходимо избегать присутствия кислорода в активной атмосфере, так как он негативно сказывается на трибологических характеристиках: вызывает повышение коэффициента трения и значительно снижает работоспособность легированных хромом покрытий.

Можно предположить, что повышение трибохарактеристик исследованных покрытий связано с формированием в них композитной структуры с высоким содержанием наноструктурированных фаз внедрения на основе легирующих металлов.

Работа выполнена при поддержке проект РФФИ № 15-08-05264.

## **Отражение наклонно падающей гармонической волны от границы слоистого полупространства с учётом проскальзывания слоёв**

Ледовских Д.С.

Научный руководитель – Никитин И.С.

МАИ, г. Москва

В работах [1-2] асимптотическим методом осреднения построена континуальная модель слоистой среды с проскальзыванием на межслойных границах с учетом членов второго порядка по малому параметру толщины слоя и изучены свойства гармонических волн в безграничной слоистой среде. Использовано линейное условие проскальзывания, связывающее скачки касательных смещений на контактных границах и касательные напряжения. Эта модель также описывает деформирование упругого слоистого композита с тонкими мягкими прослойками. Коэффициент связи слоев в исследуемой модели определяется модулем и относительной толщиной мягкой прослойки.

В данной работе решена задача об отражении квазипродольной и квазипоперечной гармонических волн от свободной границы слоистого полупространства с учетом проскальзывания между слоями. Поведение среды описывается неклассической нестационарной системой уравнений в частных производных четвертого порядка с малым параметром при старших производных. Рассматриваемая среда обладает дисперсией, поэтому скорости падающих и отраженных волн зависят от частоты и коэффициента связи слоев  $k$ . Рассмотрен случай произвольной ориентации падающей волны к направлению межслойных границ. Определены ориентация и амплитуды отраженных волн в зависимости от коэффициента связи слоев и угла падения. Определен критический угол падения квазипоперечной гармонической волны. Изучены

предельные случаи идеального ( $k \rightarrow 0$ ) и полного ( $k \rightarrow \infty$ ) контакта. По графическим представлениям результатов определено значение коэффициента  $k$ , при котором решение задач выходит на асимптотику для однородной упругой среды.

Работа выполнена по проекту РФФИ № 15-08-02392-а.

Литература.

1. Бураго Н.Г., Никитин И.С., Юшковский П.А. Уточненная континуальная модель слоистой среды с проскальзыванием на межслойных границах. Препринт ИПМех РАН № 1096. Москва. 2015. 31 с.

2. Бураго Н.Г., Никитин И.С. Уточненная модель слоистой среды с проскальзыванием на контактных границах // Прикладная математика и механика. 2016. С. 1-12.

### **Исследование механических характеристик пористого материала на основе алюминиевого сплава АД1 с «квадратным» расположением пор**

Ледяев М.Е., Лобода П.С.

Научный руководитель – Воронин С.В.

СГАУ им. С.П. Королёва, г. Самара

Развитие способов получения материалов с высокой прочностью и малым весом является крайне актуальной задачей для создания конкурентоспособной техники. Традиционно для достижения высокой прочности сплава в основной металл вводятся легирующие элементы, которые в структуре материала образуют упрочняющие фазы. Как известно, образующиеся фазы имеют определенную плотность, которая, как правило, увеличивает массу материала. Одним из способов снижения плотности металла при сохранении высоких механических характеристик является введение в его объем дефектов структуры, таких как поры, которые могут играть роль упрочняющей фазы. Согласно ранее проведенным исследованиям было установлено влияние упорядоченного расположения пор на относительное удлинение модели образца. По нашему мнению создавая материал с оптимальной пористостью можно добиться увеличения, в частности, предела текучести по сравнению с компактным материалом.

Поэтому целью данной работы является количественная оценка влияния упорядоченной структуры пор на предел текучести материала.

В работе проанализирована структура с квадратным расположением пор, при которой межцентровые расстояния ближайших пор в продольном и поперечном направлениях одинаковы.

Исследование механических свойств проводилось в программной среде MSC.Marc, основанной на методе конечных элементов. Для построения моделей образцов необходимой геометрии и пористой структуры был написан ряд программ-приложений на языке программирования Python, которые позволили сократить время на построение конечно-элементных моделей. Конечно-элементная модель материала с пористой структурой строилась методом копирования элементарной ячейки с диаметром поры 10 мкм. Линейные размеры элементарной ячейки зависели от пористости образца. Конечным

элементам задавались механические свойства алюминиевого сплава АД1М. Для создания условий одноосного растяжения, а также для адекватного распределения напряжений и деформаций в модели, по торцам образца были построены буферные зоны из компактного материала.

Полученный ряд конечно-элементных моделей образцов с разной пористостью подвергался одноосному растяжению с усилиями, вызывающими напряжение 50 МПа, что превышает предел текучести для данного сплава, но меньше его предела прочности. Затем рассчитывались диаграммы растяжения, по которым сравнивались пределы текучести моделей пористых образцов с компактным.

При анализе полученных диаграмм растяжения установлено, что увеличение пористости до 20 % приводит к снижению предела текучести и увеличению пластических свойств образца. Также установлено, что при значении пористости равной 1,2% предел текучести пористого материала равен пределу текучести компактного материала. По мере уменьшения пористости до 0,1 % наблюдался рост предела текучести пористого материала по сравнению с компактным.

### **Линейный эффект Пойнтинга для цилиндрически-анизотропных нано/микротрубок**

Лисовенко Д.С.

Научный руководитель – Городцов В.А.  
ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, г. Москва

Более ста лет назад Пойнтинг экспериментально обнаружил, что при закручивании стальных, медных и латунных проволок происходит их удлинение, которое оказалось пропорциональным квадрату угла кручения [1]. Такая зависимость соответствует случаю нелинейной изотропной упругости [2]. В дальнейшем выяснилось, что для цилиндрически-анизотропных нано/микротрубок в случае линейной анизотропной упругости возможен линейный эффект Пойнтинга [3]. Прямой эффект растяжения (сжатия) нано/микротрубок при кручении (прямой эффект Пойнтинга) и обратный эффект кручения при их растяжении (обратный эффект Пойнтинга) выявлен теоретически для трубок из кубических, тетрагональных и орторомбических кристаллов [3-6].

Для теоретического анализа эффекта Пойнтинга цилиндрически-анизотропных нано/микротрубок использовалась модель полого стержня с цилиндрической анизотропией. Предполагалось, что нанотрубки и микротрубки получались сворачиванием кристаллических плоскостей (001), так что имеет место локальное соответствие  $1 \rightarrow z$ ,  $2 \rightarrow -\varphi$ ,  $3 \rightarrow r$  (1, 2, 3 – лабораторная декартова система координат,  $r$ ,  $\varphi$ ,  $z$  – цилиндрическая система координат, относящиеся к нано/микротрубке). В работе учитывался также угол хиральности (угол между главной кристаллографической осью и осью растягиваемой трубки). В рамках подхода Сен-Венана, рассматривая задачи растяжения и кручения нано/микротрубок с кубической, тетрагональных и орторомбических цилиндрической анизотропией, установлено, что кручение хиральных нано/микротрубок в отсутствие растягивающих усилий сопровождается изменением их длины. Знак эффекта (удлинение или укорочение

нано/микротрубок) меняется при этом с изменением величины и знака угла хиральности для нано/микротрубок из кубических, 6-ти константных тетрагональных и орторомбических кристаллов. Эффект Пойнтинга для таких нано/микротрубок исчезает в случае нулевого угла хиральности. Особыми являются хиральные нано/микротрубки из 7-ми константных тетрагональных кристаллов, у которых эффект Пойнтинга не исчезает при нулевом угле хиральности.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 16-01-00325.

Литература.

1. Poynting J.H. On pressure perpendicular to the shear planes in finite pure shears, and on the lengthening on loaded wires when twisted. Proc. Roy. Soc. London. A. 1909, V.82, №557, P.546-559.

2. Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука, 1980. 386с.

Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. Линейный эффект Пойнтинга при кручении и растяжении криволинейно-анизотропных трубок. ДАН. 2015, Т.464, №1, С.35-38.

3. Goldstein R.V., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S., Volkov M.A.: Negative Poisson's ratio for six-constant tetragonal nano/microtubes. Phys.StatusSolidiB. 2015, V.252, №7, P.1580-1586.

4. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. Кручение цилиндрически анизотропных нано/микротрубок из 7-константных тетрагональных кристаллов. Эффект Пойнтинга. Физ. Мезомех. 2015 г., Т.18, №6, С.5-11.

5. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. Эффект Пойнтинга для цилиндрически-анизотропных нано/микротрубок. Физ. Мезомех. 2016, Т.19, №1, С.5-11.

### **Описание эффектов циклического деформирования поликристаллов в многоуровневых моделях неупругого деформирования, основанных на физических теориях пластичности**

Лоевец Д.А.

Научный руководитель – Волегов П.С.

ПНИПУ, г. Пермь

Для повышения прочностных характеристик металлических изделий на этапе предфинишной обработки последние часто подвергаются циклическим неупругим деформациям с малой амплитудой. При этом возникает ряд характерных эффектов, физическое описание которых в рамках известных макрофеноменологических теорий не вполне прозрачно. К числу этих эффектов относятся широко известный эффект Баушингера (уменьшение предела текучести после разворота траектории деформирования по сравнению с пределом текучести при деформировании в «прямом» направлении), дополнительное (и как правило, существенное) упрочнение при переходе от пропорционального циклического деформирования к деформированию по циклическим траекториям произвольной формы и кривизны, «запаздывание» скалярных и векторных характеристик процесса деформирования при деформировании по криволинейным траекториям и т.д. Все эти эффекты могут оказывать как положительное (расширение диапазонов допустимых нагрузок

при эксплуатации конструкций), так и негативное (нарушение симметрии диапазонов допустимых нагрузок при эксплуатации в режиме «растяжение-сжатие», неустойчивость образца при обработке и др.) влияние на свойства материалов, а, следовательно, и характеристики конструкций из этих материалов. Исходя из этого, задачи построения математических моделей, в которых присутствовало бы физически прозрачное описание механизмов, приводящих к эволюции внутренней структуры поликристаллических материалов, в том числе – при циклическом деформировании, представляются в настоящее время наиболее актуальными в механике (и физике) деформируемого твердого тела.

В работе используется двухуровневая математическая модель неупругого деформирования поликристаллов, разработанная на кафедре математического моделирования систем и процессов ПНИПУ. В рамках общей модели особое внимание уделено разработке и исследованию законов упрочнения (то есть соотношений, определяющих изменение критических сдвиговых напряжений дислокаций в системах скольжения), описывающих три наиболее существенные механизма взаимодействия дислокаций. В рамках гипотезы об аддитивности скоростей критических напряжений, обусловленных каждым из рассматриваемых механизмов, рассмотрены взаимодействие отдельных дислокаций (т.н. «дислокаций леса») друг с другом и с более крупными дислокационными субструктурами; поведение дислокаций, «поджатых» к различным препятствиям на этапе предшествующего деформирования, при изменении приложенных к материалу нагрузок, с учетом запасаемой при таком поджатии упругой энергии; формирование и разрушение дислокационных барьеров различных типов, в частности – при взаимодействии частичных и рашчепленных дислокаций. Исследовано влияние перечисленных механизмов на процесс деформирования моно- и поликристаллов при различных режимах (монотонном пропорциональном, циклическом пропорциональном и непропорциональном, траекториях различной формы и кривизны). Полученные результаты удовлетворительно объясняют известные экспериментальные данные, что говорит о физической корректности принятых при записи законов упрочнения гипотез.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4917.2015.1, РФФИ (грант №14-01-96008 p\_урал\_a).

### **Атомистическое моделирование нуклеации в метастабильных расплавах металлов при растяжении**

Лопаницына Н.Ю.

Научный руководитель – Куксин А.Ю.

ОИВТ РАН, г. Москва

В последнее время интенсивно исследуются возможности наноструктурирования поверхностей под воздействием субпикосекундных лазерных импульсов. В частности, в экспериментах при облучении алюминия наблюдалось образование последовательных нанопичков с регулярными интервалами между ними, что было интерпретировано как проявление развития неустойчивости при спиноподобном распаде расплава при растяжении. Также

интерес к металлам при больших отрицательных давлениях связан с явлением абляции, вызванного действием субпикосекундных лазерных импульсов на поверхность металла. В молекулярно-динамических и гидродинамических расчетах данного процесса наблюдаются плавление материала, растяжение расплава, появление и рост полостей в метастабильной жидкой фазе. Делаются попытки определить предельные напряжения, достижимые в расплаве при высокоскоростной деформации, на основе экспериментов с субпикосекундными лазерными импульсами. Определение прочности на растяжение при деформации металлического расплава представляет интерес из-за проблем, связанных с получением наночастиц при абляции вещества с поверхности под действием лазерного или сильноточного электронного облучения.

В настоящей работе на основе молекулярно-динамического моделирования на примере алюминия, железа и молибдена исследуются характеристики метастабильного растянутого расплавленного состояния и анализируются процессы, происходящие при зарождении полостей. Все расчеты проводились с использованием пакета программ для атомистического моделирования LAMMPS, применялись межатомные потенциалы взаимодействия в форме потенциала погруженного атома.

Проведен расчет скорости зарождения полостей в зависимости от температуры (до 5000 К) и плотности расплавов: железа, алюминия, молибдена, олова. Выполнена проверка применимости классической теории нуклеации для описания частоты зарождения полостей в расплаве. Сделана аппроксимация полученных данных на основе классической теории нуклеации с поправкой Толмана, учитывающей зависимость поверхностного натяжения от радиуса кривизны. В свою очередь, длина Толмана была оценена из независимых молекулярно-динамических расчетов. Получена зависимость поверхностного натяжения от радиуса пузырька. Проведена оценка критических радиусов зародышей на основе молекулярно-динамических расчетов для расплавов железа и молибдена. На основе полученных данных выполнена оценка динамической прочности жидких металлов в зависимости от скорости растяжения. Проведено сравнение прочности, рассчитанной на основе классической теории нуклеации, непосредственно с прямым молекулярно-динамическим расчетом в системе большого размера. Все расчеты и анализ выполнены в рамках нескольких модельных систем. Для описания динамической прочности реальных металлов рекомендуется использовать экспериментальные данные о поверхностном натяжении на плоской границе и величину поправки Толмана из атомистического моделирования.

## **Исследование мощностных параметров вытяжки квадратных коробок в изотермических условиях**

Матасов И.И.

Научный руководитель – Ларин С.Н.

ТулГУ, г. Тула

Одним из сложных процессов листовой штамповки является вытяжка изделий коробчатых форм. Технология вытяжки в части форм заготовок и переходов, степеней деформаций зависит от относительных геометрических размеров

изготавливаемых коробок, в связи, с чем вытяжка осуществляется за одну или несколько операций (переходов). В производстве в основном используют данные и рекомендации, полученные в ходе технологической практики.

Существуют разные методы вычисления размеров и выбора форм начальных заготовок и переходов вытяжки. Обычно для вытяжки квадратных деталей применяют заготовки круглой формы; для прямоугольных – овальной формы. Причем их форму выбирают в зависимости от геометрических параметров детали и относительных величин их угловых радиусов. Реализация процессов вытяжки значительно усложняются наличием анизотропии механических свойств материалов, существенно влияющих на вытяжку квадратных коробок. Совокупность этих факторов влияет на технологические режимы обработки и качество получаемых деталей.

Наиболее оптимальной схемой вытяжки квадратной коробки из листовой заготовки является - «круг – квадрат». Эта схема удобна вследствие технологической простоты заготовки. В соответствии с выбранным нами разрывным полем скоростей предполагается, что во фланце заготовки имеются зоны деформаций и жесткие зоны, которые разделены линиями разрыва скоростей перемещений. Точки в зоне деформаций перемещаются к центру углового радиуса матрицы, а жесткие зоны – по нормальям к прямолинейным участкам матрицы.

Расчеты процессов изотермической вытяжки коробчатых деталей проведены исходя из экстремальной верхнеграничной теоремы. В используемое уравнение равновесия входит мощность внешних сил, правая часть содержит соответственно мощность внутренних сил деформаций, мощность на линиях разрыва скоростей и мощность трения на поверхностях контакта материала с инструментом.

Для определения значения силы при вытяжке квадратной коробки вычислена мощность внутренних сил, мощность на линиях разрыва и мощность трения. Подстановка соотношений для указанных мощностей в энергетическое неравенство в итоге позволило получить выражения для оценки силы процесса.

Мощностные параметры процесса изотермической вытяжки квадратных коробок из листовой заготовки с анизотропными свойствами по схеме «круг – квадрат» исследовались в зависимости от скорости перемещения инструмента, параметров трения на поверхностях контакта заготовки с матрицей и от давления прижима.

Установлено, что с увеличением скорости перемещения инструмента, коэффициента трения на поверхности контакта матрицы и заготовки величина силы растет. Выявлено, что с уменьшением коэффициента анизотропии и увеличением скорости перемещения инструмента величина силы процесса так же растет.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания №2014/227 на выполнение научно-исследовательских работ Министерства образования и науки Российской Федерации на 2014-2020 годы и гранта РФФИ № 16-38-00082 мол\_а.



## **Двухуровневая модель неупругого деформирования ОЦК-поликристалла с учётом термоактивированного движения дислокаций**

Микрюков А.О.

Научный руководитель – Волегов П.С.

ПНИПУ, г. Пермь

Ввиду мощного роста промышленности весьма актуальной становится задача создания математических моделей пластического деформирования различных кристаллических материалов. Процессы обработки материалов и последующей эксплуатации изделий из них, как правило, сопровождаются различными температурно-силовыми режимами, в том числе связанными с существенными изменениями и градиентами температур. Поскольку основным механизмом пластических деформаций является скольжение дислокаций, которое относится к термоактивируемым механизмам, то необходимо разрабатывать такие модели неупругого деформирования, в которых учитывалось бы влияние температуры на свойства материала.

Целью работы является разработка и реализация математической модели, описывающей процессы неупругого деформирования поликристаллического материала с объемноцентрированной кубической (ОЦК) решеткой с учетом температуры, а также исследование с её помощью зависимости напряжения от деформаций, влияние на скорость деформации при различных схемах деформирования.

В основе модели лежит механизм неупругих деформаций, обусловленный сдвигами краевых дислокаций по кристаллографическим системам скольжения при достижении в последних критических касательных напряжений. Определяющим соотношением на макро- и мезоуровне является закон Гука в скоростной релаксационной форме. Неупругая составляющая тензора деформации скорости определяется при помощи скоростей сдвигов по системам скольжения, которые, в свою очередь, рассчитываются при помощи модифицированного соотношения Орована.

Соотношение Орована учитывает термоактивированный характер движения дислокаций и возможность движения дислокаций данной системы скольжения в двух противоположных направлениях. В качестве гипотезы о связи масштабных уровней в двухуровневой модели выступает кинематическая гипотеза Фойгта, согласно которой тензоры скоростей деформаций всех зёрен принимаются равными тензору деформации скорости представительного объёма поликристалла.

В рамках работы разработана математическая модель неупругого деформирования ОЦК-поликристалла и создана программа, результатом которой являются зависимости интенсивности напряжений от интенсивности деформаций, при использовании заданной схемы деформирования, упругих параметров, начальных критических напряжений по всем системам скольжения и температуре. Получены графики зависимостей интенсивности напряжений от интенсивности деформаций, удовлетворительно согласующиеся с известными экспериментальными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4917.2015.1, грант РФФИ №14-01-96008 p\_урал\_a.

## **Эффективный упругий модуль анизотропных стальных пластин с решеткой круглых отверстий. Теория и эксперимент**

Мокряков В.В., Ченцов А.В.

Научный руководитель – Гольдштейн Р.В.

ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, г. Москва

Двух-периодические структуры используются во многих технологических процессах (строительстве, машиностроении, и т.п.). Пластины, содержащие такие структуры (далее называемые решетками), и их механические свойства активно изучаются. Решетки отверстий обладают анизотропией эффективных упругих свойств, а расчет напряженного состояния пластин с отверстиями ранее был проведен для отдельных случаев [1]. Деформация решетки под воздействием одноосного растяжения зависит от геометрических параметров решетки и ее ориентации относительно приложенной нагрузки.

Сам материал пластины обладает собственной анизотропией, естественной (например, благодаря кристаллической решетке) или приобретенной, благодаря воздействию каких-либо технологических процессов (например, прокатка или прессование).

Работа посвящена экспериментальному изучению эффективных модулей упругости перфорированных стальных листов с учетом анизотропии материала и сравнению результатов с теоретическими оценками.

Для проведения экспериментальных исследований был выбран сплав системы железо-хром-никель аустенитно-мартенситного класса. С помощью технологии лазерной резки были подготовлены образцы различной геометрии. Технология лазерной резки обладает некоторыми преимуществами по сравнению с традиционными методами механической обработки. Во-первых, обрабатываемая деталь изготавливается с высокой точностью, во вторых, при лазерной резке возникают минимальные термические воздействия на материал.

Образцы имели размеры 90мм×40мм×1мм, в середине расположена перфорированная область длиной 40мм, радиус отверстий - 1мм, промежутки между отверстиями 1мм. Все геометрические параметры изготовленных образцов были выдержаны с точностью  $\pm 10$  мкм. Ориентации решеток в образцах (угол между осью решетки и области растяжения) следующие: 0°, 9.5°, 18.5°, 26.5°, 33.7°, 45°. Поскольку материал демонстрирует заметную анизотропию упругих свойств по отношению к направлению прокатки, подготовлено две серии образцов вдоль и поперек направления прокатки (продольные и поперечные образцы).

Образцы были подвержены одноосному растяжению (до 2 кН). Были измерены приложенная нагрузка и удлинение образца в перфорированной области (посредством внешнего экстензометра).

Получены следующие значения эффективного модуля упругости: для поперечного образца ~196 ГПа, для продольного ~176 ГПа. Проведено сравнение с теоретической оценкой эффективного модуля упругости для перфорированной плоскости, для изотропных материалов с модулями 196 ГПа и

176 ГПа. Наибольшие величины модуля упругости имеют образцы с решетками  $0^\circ$ ,  $9.5^\circ$ ,  $18.5^\circ$ , наименьшие величины имеют образцы  $26.5^\circ$ ,  $33.7^\circ$ ,  $45^\circ$ .

Литература.

1. Мокряков В.В. Исследование зависимости эффективных податливостей плоскости с решеткой круговых отверстий от параметров решетки // Вычислительная механика сплошных сред. 2010. Т.3. №3. С.90-101.

## **Влияние механизмов упрочнения и ротаций кристаллических решёток на распределение остаточных мезонапряжений**

**в поликристаллах**

Овчинников Е.И.

Научный руководитель – Волегов П.С.

ПНИПУ, г. Пермь

Исследование величины и распределения остаточных напряжений, возникающих в процессах механической обработки металлов, в первую очередь – процессах обработки металлов давлением, является актуальной задачей, так как остаточные напряжения существенным образом определяют допустимые режимы эксплуатации деталей и конструкций. Однако, экспериментальное исследование остаточных напряжений затруднено ввиду того, что практически всегда связано с разрушением исследуемого объекта, что делает невозможным разработку новых функциональных материалов с заданным уровнем и распределением остаточных напряжений при том или ином виде нагружения.

Создание математических моделей неупругого деформирования поликристаллических тел, позволяющих, в том числе, определять величину и распределение остаточных напряжений, является наиболее перспективным направлением в современной механике и физике твердого тела. При этом важно учитывать физические механизмы возникновения остаточных напряжений, что естественным образом можно сделать в моделях, основанных на физических теориях пластичности.

В работе исследуется влияние механизмов релаксации, таких как ротации кристаллических решеток, и механизмов упрочнения на распределение остаточных мезонапряжений, возникающих в представительном объеме поликристаллического агрегата. Исследования проводятся в рамках двухуровневой модели упруговязкопластического деформирования поликристалла. При разработке модели приняты гипотезы о кинематическом типе нагружения, механизмом неупругого деформирования выбран механизм скольжения краевых дислокаций по кристаллографическим системам скольжения, механизмом образования остаточных мезонапряжений предполагается несовместность пластических деформаций в соседних зернах.

В рамках исследования проведено три численных эксперимента на одноосное растяжение поликристаллического агрегата. В первом случае моделирование производится без учета упрочнения и ротаций кристаллических решеток, во втором с учетом базового механизма упрочнения, в третьем – с учетом ротаций кристаллических решеток согласно модели несовместности неупругих деформаций. Проведено сравнение распределений остаточных мезонапряжений по зернам поликристалла для трех проведенных экспериментов. Сделаны

выводы о влиянии описанных механизмов на распределение остаточных мезонапряжений. В частности, включение механизма ротаций кристаллических решеток снижает максимальные остаточные напряжения в зернах, что объясняется конкуренцией механизмов запасания внутренней энергии (что в конечном счете и выражается в появлении остаточных напряжений) и релаксации подводимой энергии за счет пластических сдвигов и ротаций решеток.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4917.2015.1, гранта РФФИ №14-01-96008 p\_урал\_a.

## **Исследование подходов к описанию законов упрочнения при деформировании поликристаллов**

Озерных В.С.

Научный руководитель – Волегов П.С.

ПНИПУ, г. Пермь

Прочность является одним из наиболее важных свойств материала: чем прочнее материал, тем при более высоких нагрузках его можно использовать. Границы диапазона предельных нагрузок и температур, в котором может эксплуатироваться тот или иной материал, определяет величина предела текучести материала, то есть такое напряжение, при котором деформации продолжают расти без увеличения прикладываемой нагрузки. Следовательно, необходимо разрабатывать такие способы повышения предела текучести материала, которые при этом не приводили бы к ухудшению других физико-механических параметров материала.

Под упрочнением на макроуровне понимается увеличение предела текучести материала, физической причиной упрочнения на мезоуровне является увеличение критических сдвиговых напряжений на системах скольжения. В работе используется двухуровневая математическая модель поликристалла, в которой элемент макроуровня представляет собой представительный объем поликристалла, состоящий из элементов мезоуровня – отдельных монокристаллических зерен. Основным механизмом неупругих деформаций на мезоуровне считаются сдвиги дислокаций по кристаллографическим системам скольжения при достижении в последних критических касательных напряжений.

В рамках рассматриваемого подхода к построению законов упрочнения считается, что изменение критических сдвиговых напряжений на отдельных системах скольжения можно описать, используя аддитивность скоростей критических напряжений, обусловленных каждым из рассматриваемых механизмов упрочнения в отдельности.

В базовом слагаемом закона упрочнения используется «чистое» скольжение полных дислокаций и их взаимодействие с препятствиями. Слагаемое, характеризующее зернограничное упрочнение, учитывает влияние взаимодействия дислокаций с границами зерен. Границы зерен являются препятствием для движения дислокаций, также при скольжении дислокаций через границу в последней остаются специфические образования – дислокации ориентационного несоответствия, которые также взаимодействуют с подходящими к границе дислокациями.

Закон зернограничного упрочнения строился на двух различных мерах разориентации текущего и соседнего зерна. Первая мера учитывала геометрические особенности взаимного расположения систем скольжения соседних зерен. Идея построения второй меры разориентации состоит в том, что для каждой пары систем скольжения в текущем и соседнем зернах находятся компоненты тензора несовместности пластических деформаций. Исследования показали, что предпочтительнее использовать вторую меру разориентации, поскольку она имеет более четкое физическое обоснование.

В работе изучено поведение двухфазного бикристалла (ОЦК-ГЦК) и ОЦК поликристалла при неупругом деформировании. Определены параметры, входящие в законы упрочнения, изучено влияние этих параметров на поведение материала при деформировании. Исследованы особенности перехода дислокаций из одной фазы в другую в бикристалле. Получены кривые деформирования для бикристалла и поликристалла из 1000 зёрен, согласующиеся с известными экспериментальными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4917.2015.1, гранта РФФИ №14-01-96008 р\_урал\_а.

## **Потенциал атома углерода, описывающий изгибную жёсткость графена**

Окатыев Р.С.

Научный руководитель – Зубко И.Ю.  
ПНИПУ, ММСП, г. Пермь

Графен – двумерный углеродный материал с гексагональной кристаллической решеткой, свойства которого в последнее десятилетие интенсивно изучаются как экспериментально, так и теоретически [1-4]. Это связано с интересом к его уникальным механическим характеристикам, а также с необходимостью прогнозировать свойства применяемых в авиа- и ракетостроении композиционных материалов, армированных углеродными нанотрубками и другими наночастицами со структурой графена. Подходы механики микронеоднородных материалов опираются на понятия сплошной среды и не всегда применимы к наночастицам. Экспериментальное определение механических свойств наночастиц также не всегда возможно. Альтернативой является дискретное атомистическое моделирование поведения наночастиц при различных воздействиях. Для описания ковалентной связи атомов углерода в графене, находящихся в состоянии  $sp^2$ -гибридизации, используется множество различных подходов – от задания разнообразных межатомных потенциалов до описания ковалентной связи с помощью системы стержней. Но в большинстве работ не удается получить совпадение расчетных значений упругих модулей графена с экспериментальными данными [4]. В работе [4] показано, что с помощью модификации феноменологического потенциала семейства Ми, содержащего безразмерные параметры, можно получить точное соответствие расчетов и экспериментов для упругих модулей графена, но при этом получается заниженное значение изгибной жесткости. В данной работе развивается подход [4] и строится потенциал атома углерода с помощью инвариантов системы трех векторов **a**, **b**, **c**, задающих направления ковалентных

связей [5]. Учет симметричных свойств графена приводит к комплексам аргументов вида  $\varphi(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}) = \varphi(\mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} \times \mathbf{c}), \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} + \mathbf{a} \cdot \mathbf{c} + \mathbf{b} \cdot \mathbf{c}, \mathbf{a} \cdot \mathbf{a} + \mathbf{b} \cdot \mathbf{b} + \mathbf{c} \cdot \mathbf{c})$ , имеющим простую геометрическую интерпретацию. Предложенный (четырёхчастичный) потенциал учитывает структуру sp<sup>2</sup>-гибризованной оболочки атома углерода в графене, описывает зависимость энергии связи от расстояния как потенциал Ми и содержит энергетический параметр, отвечающий за «изгиб» ковалентной связи. В работе показано, что такой потенциал позволяет получать реалистичные значения изгибной жесткости и всех упругих модулей листа графена.

Литература.

1. Гольдштейн Р.В., Ченцов А.В. Моделирование механических свойств композита графен-углеродные нанотрубки в рамках дискретно-континуального подхода // Москва, 2011. Сер. № 949 Препринт / Российская акад. наук, Учреждение Российской акад. наук, Ин-т проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН

2. Морозов Н.Ф., Товстик П.Е., Товстик Т.П. Континуальная модель деформации графена // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1. Математика. Механика. Астрономия. 2014. Т. 1. № 1. С. 134-143.

3. Беринский И.Е., Кривцов А.М., Кударова А.М. Определение изгибной жесткости графенового листа // Физическая мезомеханика. 2014. Т. 17. № 1. С. 57-65.

4. Зубко И.Ю. Вычисление упругих модулей монослоя графена в несимметричной поста-новке с помощью энергетического подхода // Физическая мезомеханика, 2015. – Т. 18. – № 1. – С. 37-50.

5. Жилин П.А. Модифицированная теория симметрии тензоров и тензорных инвариантов // Нелинейные проблемы механики сплошных сред: Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 2003 (Спецвыпуск). – С. 176-195.

### **Эффективные модули объемного сжатия двухфазных композитов, армированных сплошными и полыми анизотропными волокнами или сферическими включениями**

Палкин Д.Д., Фукалов А.А.

Научный руководитель – Зайцев А.В.

ПНИПУ, г. Пермь

Современные функциональные двухфазные композиты изготавливаются совмещением анизотропных арамидных, базальтовых или керамических волокон, минеральных сферических включений с полиэфирными связующими, наполненными минеральными мраморной, базальтовой или гранитной мукой, или матрицами на основе керамики или терморасширенного графита. Это повышает температуру эксплуатации элементов конструкций из этих материалов, износостойкость, способность работать в агрессивных средах, приводит к необходимости учета анизотропии свойств фаз при построении моделей.

Получены выражения для эффективных модулей объемного сжатия дисперсно-упрочненных материалов на основе изотропных матриц и

трансверсально-изотропных полых или сплошных сфер различного диаметра (с условиями идеального сопряжения на межфазных поверхностях) [1, 2]. Спрогнозированы эффективные характеристики полиэфирного связующего, наполненной мраморной или диабазовой мукой, а также полимербетонов со сплошными сферическими анизотропными мраморными, диабазовыми и гранитными включениями произвольного размера. Показано, что при использовании «изотропного приближения» для прогнозирования эффективных упругих модулей материалов с анизотропными фазами, будут получаться верхние оценки, существенно отличающиеся от экспериментальных данных. Это позволяет сделать вывод о том, что учет анизотропии является одним из способов уточненного описания результатов механических испытаний [2, 3]. Выявленные закономерности изменения эффективных характеристик позволили дать рекомендации по составу полимербетона, который используется для изготовления конструкций ответственного назначения (контейнеры для длительного хранения высоко-агрессивных и реакционно-способных твердых и жидких сред). Рассматривая биологические костные ткани, состоящие из высокомодульных и высокопрочных неорганических волокон из кристаллов гидроксилатапата и матрицы в виде органических и коллагеновых волокон как двухфазный композит, получены аналитические выражения для эффективных модулей объемного сжатия таких материалов при плоской деформации. Спрогнозированы изменения эффективных упругих характеристик с учетом возрастной внутренней перестройкой структуры костной ткани, связанной с увеличением объемной пористости [4].

Работа выполнена в рамках задания № 2015/152 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части госзадания Минобрнауки РФ (код проекта – 1911).

Литература.

1. Зайцев А.В., Фукалов А.А. Эффективные модули объемного сжатия дисперсно-упрочненных композитов со сплошными и полыми анизотропными сферическими включениями // Вестник ПНИПУ. Механика. 2010. № 4. С. 46–54.

2. Зайцев А.В., Новгородова А.В., Федоров Д.И. Прогнозирование эффективных упругих модулей двухфазных композитов на основе терморезактивных смол с минеральным наполнителем // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2005. № 25. С. 62–68.

3. Зайцев А.В., Кислицын А.В., Кутергин А.В. Фукалов А.А. Распределение напряжений в поперечных сечениях контейнеров из стеклопластика и полимербетона, используемых для длительного хранения высокоагрессивных сред // Известия Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14, № 4-5. С. 1230–1234.

4. Зайцев А.В., Соколкин Ю.В., Фукалов А.А. Эффективные модули объемного сжатия при плоской деформации двухфазных однонаправленно армированных композитов с анизотропными полыми и сплошными волокнами // Вестник ПНИПУ. Механика. 2011. № 4. С. 37–48.

## **Совершенствование технологии холодной штамповки стальных сердечников пуль**

Перминов Д.А.

Научный руководитель – Панфилов Г.В.

ТулГУ, г. Тула

Существенное развитие на современном этапе материалов и средств бронезащиты ставит перед разработчиками и производителями боеприпасов сложные задачи, связанные с необходимостью создания пуль, способных преодолевать высокопрочные комбинированные преграды. Одним из основных путей повышения поражающего действия калиберных пуль является оснащение их остроконечными бронебойными сердечниками.

В результате проведенных патентных исследований было установлено, что современные конструкции бронебойных сердечников пуль в зависимости от особенностей функционального назначения и, соответственно, конструктивного оформления можно классифицировать на три основные группы: имеющие удлиненную головную часть и небольшой диаметр притупления вершинки; имеющие укороченную головную часть и весьма острую вершинку; примыкающую к цилиндрической части, и вершинку в форме короткого остроконечного конуса. Экспериментальные исследования показали, что существенные конструктивные различия перечисленных групп сердечников требуют различных подходов к технологии их производства.

Традиционные многооперационные технологии холодной штамповки сердечников предусматривают последовательное пластическое формообразование головных частей инструментом, имеющим одинаковую форму и размеры рабочей полости. Проведенные экспериментальные исследования показали, что гораздо эффективнее с точки зрения: сокращения числа формообразующих операций и промежуточных термохимических циклов, выравнивания технологической силы по операциям; улучшения механических характеристик материала изготовленного сердечника – использовать новый предлагаемый способ штамповки. Его основная сущность заключается в том, что на первой (одной или нескольких) формуются короткая головная часть с углом конусности, значительно превышающим чертежный, у которой сразу получают близкий к окончательному диаметр вершинки. Важно, что при этом деформируется лишь часть материала, необходимого для головной части, соответствующей чертежу, поэтому значение потребной силы здесь не будет существенно преобладать над значениями, потребными на последующих операциях. С другой стороны необходимость формообразования сразу острой вершинки приведет к возникновению в пластической области больших сжимающих средних напряжений (гидростатического давления), способствующих эффективному «залечиванию» дефектов материала, образующихся в процессе деформации.

Разработан алгоритм расчета количества формообразующих операций и размеров промежуточных полуфабрикатов по предлагаемой технологии, который доведен до программного продукта. Получены результаты сравнительных расчетов по предлагаемой технологии для сердечников из различных материалов: стали 20, стали У12 и стали 60С2А. Проведен анализ



технологического процесса сердечника 7Н30, изготавливаемого на Тульском патронном заводе. В частности, было установлено, что наличие колебаний массы получаемых цилиндрических заготовок в отдельных случаях приводит к хрупкому разрушению матриц и является причиной некачественного изготовления вершинок сердечников.

На основе результатов проведенных исследований и конструкторско-технологических разработок был спроектирован усовершенствованный технологический процесс, позволяющий за меньшее количество формообразующих операций изготавливать сердечники 7Н30 более высокого качества.

## **Математическое моделирование эффекта Портевена – Ле Шателье**

Попов Ф.С.

Научный руководитель – Трусов П.В.

ПНИПУ, г. Пермь

В настоящее время обработка изделий из металлов и сплавов в большинстве случаев связана с деформированием исходного образца в определенных температурно-скоростных диапазонах деформирования, в процессе чего возникает ряд негативных эффектов, например, прерывистая текучесть, что часто приводит к несовершенным поверхностям изделий. Прерывистая текучесть (ПТ), называемая также скачкообразной деформацией, проявляется на диаграммах деформирования при низких скоростях деформирования и повышенных температурах в виде повторяющихся неоднородностей – «зубцов» или «ступенек».

Основываясь на моделях физики твердого тела и имеющихся экспериментальных данных, можно констатировать, что все процессы деформирования, в которых велика роль диффузионных процессов (диффузия точечных дефектов, неконсервативное движение дислокаций и др.), чувствительны к скорости деформации и температуре. ПТ является одним из эффектов, связанных с деформационным динамическим старением; к числу других можно отнести возникновение «зуба текучести» на диаграмме деформирования, повторное его появление, качественная зависимость «зуба» от жесткости нагружающей системы, связанных с деформационным статическим старением. В качестве одного из наиболее известных проявлений влияния диффузионных процессов на поведение деформируемого материала является эффект Портевена – Ле Шателье (ПЛШ). Существует большой спектр работ, посвященных исследованию эффекта ПЛШ различными методами, как экспериментальными, так и теоретическими, в том числе – с использованием имитационного подхода (метода клеточных автоматов).

Несмотря на существование в физике твердого тела законов, описывающих взаимодействие отдельных дефектов макроуровня, из-за огромного количества степеней свободы, которые необходимо учитывать в соответствующих моделях, прямое моделирование обладает высокой ресурсоемкостью. В связи с этим целесообразным представляется использование имитационного подхода к моделированию, в том числе – с помощью метода клеточных автоматов. Такие модели позволяют учесть большое количество реальных факторов, влияющих на

поведение исследуемой системы, и представлять результаты в наиболее наглядном виде. Однако такие модели имеют ряд ограничений, например, для исследуемого процесса можно получить только двумерное представление одной из плоскостей скольжения.

Математическая постановка задачи включает в себя выражения, полученные при решении упругой задачи взаимодействия дефектов, используемые для расчета действующих полей напряжений со стороны других дислокаций и проверки условия активации дислокаций – закон Шмида.

В работе рассмотрена первая часть модели, необходимая для анализа эффекта ПЛШ в монокристалле – подмодель дислокационных взаимодействий (в базисной плоскости кристалла с ГПУ-решеткой). С применением клеточных автоматов исследован процесс взаимодействия дислокаций различных систем скольжения. Начальный разброс дислокаций в решетке задавался случайно. Рассматривались дислокационные реакции образования дислокационного диполя, барьера и стенки. Получены результаты, дающие наглядное представление о дислокационных реакциях в решетке кристалла. Проведен анализ получившихся равновесных дислокационных конфигураций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (базовая часть государственного задания ПНИПУ, № гос. регистр. 01201460535), РФФИ (грант № 14-01-00069-а).

### **Оценка влияния воздействия высокоэнергетического электромагнитного поля (ВЭМП) на кривую усталости при многоцикловогой нагрузке**

Порохов В.В.

Научный руководитель – Беклемишев Н.Н.

МАИ, г. Москва

Современные конструкции сложных долговечных машин, таких как самолеты, скоростные поезда, автомобили, корабли и т.д. работают в широком диапазоне циклов нагружения, при этом и спектр внешних воздействий чрезвычайно широк., Способ и условия воздействия, состояние поверхности определяют длительность сопротивления элемента конструкции циклическому нагружению. Очевидно, что внешние воздействия могут, как сокращать живучесть конструкции, так и увеличивать ее. К факторам внешнего воздействия, увеличивающего живучесть, относится воздействие ВЭМП, которое избирательно действует на дефекты внутренней и поверхностной структуры материала, в том числе возникающих в условиях сверхмногоцикловогой усталости.

В работе рассматривается методика исследования влияния последовательного действия ВЭМП на образцы подвергнутые механическому воздействию без разрушения. Выясняется остаточный резерв живучести при циклическом нагружении. Приведены оценки живучести и некоторые экспериментальные результаты. Первые результаты экспериментальных исследований при раздельном действии ВЭМП и механической нагрузки (импульс тока действует в отсутствия механического нагружения) показали, что ВЭМП оказывает относительно наибольшее влияние на кривую усталости с небольшим числом

цикла нагружения. С увеличением циклов нагружения относительный (к общему числу циклов) эффект от воздействия ВЭМП уменьшается от 90 до нескольких десятых процентов.

## **Математическое моделирование движения порошка в планетарной мельнице**

Романов Н.С.

Научный руководитель – Зубко И.Ю.

ПНИПУ, г. Пермь

Для получения твердого раствора кристаллических материалов и их соединений в виде мелкодисперсного порошка, используемого в аддитивных технологиях в авиа- и ракетостроении, широко применяются процесс механического легирования в шаровых планетарных мельницах. За счёт вращения размольных камер вокруг собственных осей и общей оси в них происходит сложное вихревое движение соударяющихся и трущихся шаров и измельчаемого материала. Поиск оптимальных параметров процесса с помощью экспериментов требует значительных временных и материальных затрат. Математическое моделирование процесса механического легирования, позволяющее прогнозировать свойства частиц получаемого порошка в зависимости от параметров работы планетарной мельницы и механических свойств исходных порошков, является актуальной задачей порошкового материаловедения.

В работе построена математическая модель движения мелющих шаров и частиц порошка в процессе механического легирования в планетарной мельнице, необходимая для оценки воздействий на измельчаемый порошок. Построенная модель позволяет определять оптимальные параметры работы планетарной мельницы для получения наиболее эффективной передачи энергии от мелющих шаров частицам порошка.

При описании движения мелющих шаров учитывалось трение и нормальная реакция между поверхностями шаров и стенок камеры, их ударное взаимодействие с трением, а также действие поля внешних сил инерции, возникающих при переходе в систему отсчета, связанную с движущейся чашей мельницы. Стенки размольной чаши считались абсолютно твердыми. Модель реализована в собственном программном продукте с использованием технологий OpenGL и OpenMP для визуализации процесса.

В работе получены средние величины нормальной и касательной составляющих ударного импульса при соударениях шаров, найдены средние значения нормальной и касательной составляющих относительных скоростей, необходимые для оценки энергии, передаваемой шарами частицам порошка. Показано, что большая часть соударений шаров происходит с проскальзыванием. В построенной модели не учитывается разогрев системы. Однако даже в такой упрощенной постановке модель позволяет давать оценки энергии, подводимой к отдельной частице, в зависимости от параметров процесса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №15-01-08678).

## **Предельные степени деформации при вытяжке с утонением стенки толстостенных осесимметричных изделий**

Романов П.В.

Научный руководитель – Платонов В.И.

ТулГУ, г. Тула

Листовые заготовки обычно штампуются практически на предельных режимах, поэтому возможность возникновения брака по тем или иным видам технологических отказов весьма велика. Актуальным и важным, как в теоретическом, так и практическом отношениях является повышение уровня и результативности проводимых исследований, чему способствует совершенствование известных и создание новых теоретических и экспериментальных методов обработки металлов давлением. В связи с этим, совершенствование теории листовой штамповки становится актуальным в целях более точного учета основных факторов, влияющих на листоштамповочные операции, и более надежного предсказания вероятных технологических отказов.

При вытяжке с утонением стенки толстостенных осесимметричных изделий предельные степени деформации можно определять по максимальной величине растягивающего напряжения с учетом упрочнения на выходе из очага пластической деформации и по величине степени использования ресурса пластичности.

От исходной анизотропии механических свойств листового материала существенно зависят предельные возможности формообразования при обработке давлением. Исходя из условия локальной потери устойчивости материалов при пластической деформации обычно оценивается величина предельной степени деформации, накопление уровня повреждаемости в материале в процессе формообразования до определенного значения и достижения максимального растягивающего напряжения своей максимальной величины.

В зависимости от режимов эксплуатации или последующей обработки получаемой детали уровень повреждаемости не должен быть выше некоторой величины. При назначении величин степеней деформации в процессе пластического формоизменения следует учитывать рекомендации по степени использования запаса пластичности В.Л. Колмогорова и А.А. Богатова, в соответствии с которыми для ответственных деталей, работающих и подвергающихся после обработки давлением термической обработке (отжигу или закалке), допустимой величиной степени использования запаса пластичности следует считать 0,25, а для неответственных деталей допустимая степень использования запаса пластичности может быть принята 0,65. При достижении уровня повреждаемости значения 1 происходит разрушение заготовки.

Максимально возможные коэффициенты утонения определялись в зависимости от угла скоса матрицы и величины начального диаметра заготовки. Установлено, что с ростом угла скоса матрицы величина максимально возможного коэффициента утонения увеличивается. Так увеличение угла скоса матрицы от 6 до 30 градусов сопровождается ростом величины предельного коэффициента утонения на 45%. Уменьшение относительного значения

начального диаметра заготовки с 14 до 2 приводит к увеличению максимально возможного предельного коэффициента утонения на 30%.

Проведенные исследования показали, что предельные возможности формоизменения операции вытяжки с утонением осесимметричных деталей ограничиваются как допустимой величиной накопленных микрповреждений, так и максимальной величиной напряжения в осевом направлении на выходе из очага пластической деформации, что зависит от механических свойств исходного материала и технологических параметров процесса деформирования.

Работа выполнена в рамках грантов РФФИ № 16-08-00020 и № 16-38-00082 мол\_а.

## **Экспериментальные исследования физико-механических характеристик упрочненной древесины**

Румачик М.М.

Научный руководитель – Татусь Н.А.

ИМАШ им. А. А. Благонравова РАН, г. Москва

В лаборатории безопасности и прочности композитных конструкций ИМАШ РАН идут работы по исследованию механических характеристик «древстали». «Древсталь» – это вид деревянного материала, получаемый путем особой технологии упрочнения древесины. Полученные заготовки обладают большей удельной прочностью, чем до упрочнения и даже обладают большей удельной прочностью, чем некоторые стали.

В докладе описываются испытания образцов из упрочненной древесины на растяжение, сжатие и изгиб. Показаны особенности, с которыми сталкивается экспериментатор при проведении испытаний, например, при испытании на растяжение стоит уделить внимание закреплению образца в захватах, поскольку очень удобные и традиционные для металлов «самозатягивающиеся» захваты не подходят для испытаний ортотропных материалов. Тем более что из древесины невозможно сделать «корсетный» - с утонениями в рабочей зоне – образец, поскольку прочность на сдвиг очень мала и «приливы» в зоне захватов, выполняющиеся для увеличения прочности и, как следствие, нивелирования действия захватов, не работают. То есть на растяжение испытывается «прямой» образец прямоугольного поперечного сечения и «перекусывание» в захватах неизбежно: образец разрушается из-за сложного напряженного состояния, возникающего при поперечном сжатии в захватах, усилие которого прямо пропорционально усилию растяжения, а не от нужного растягивающего напряжения в теле образца. Выход из сложившейся ситуации достаточно прост – нужно не создавать сжатие в зоне захватов, то есть использовать захваты с постоянным усилием, а не самозатягивающиеся. Результаты показывают, что прочность деревянных образцов в захватах с постоянным усилием почти в два раза выше, чем в самозатягивающихся.

Результаты испытаний при изгибе коротких балок и при сжатии коротких образцов призваны показать различие между получаемыми механическими характеристиками при этих испытаниях, а также продемонстрировать особые механизмы разрушения типа «кинка» - расщепления при сжатии и продольного расщепления при изгибе коротких балок, ненаблюдаемые при испытаниях

металлических образцов. Испытания на изгиб дают возможность оценить масштабный фактор – одну из основных особенностей изменения прочности в зависимости от размеров образцов из древесины.

Результаты проведенных экспериментов подтверждают увеличение механических характеристик «древстали» по сравнению с немодифицированной древесиной. А поскольку «древсталь» делается из плохих пород дерева типа осины, эксперимент доказывает нужность и перспективность таких работ.

В качестве вывода хочется заметить, что при проведении экспериментов над образцами из ортотропных материалов для получения корректных результатов нужно уделять повышенное внимание способам закрепления образцов в захватах.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-08-01472.

Литература.

1. В. А. Шамаев, Н. С. Никулина, И. Н. Медведев. Модифицирование древесины. Монография. Модифицирование древесины: монография / М. : ФЛИНТА, 2013. – 448 с. : илл. ISBN 978-5-9765-1605-2

2. Румачик М.М., Татусь Н.А. Сравнительный анализ физико-механических характеристик упрочненной древесины. XXVII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2015): Труды конференции (Москва, 2-4 декабря 2015 года) / М: Изд-во ИМАШ РАН, 2015. С. 125-128

## **Механические свойства фуллерита различного состава**

Рысаева Л.Х.

Научный руководитель – Баимова Ю.А.

ИПСМ РАН, г. Уфа

Стремительно развивающиеся в настоящее время нанотехнологии и наука о кластерах предсказывают широкие возможности применения таких наноструктур, как углеродные нанотрубки и фуллерены для создания современных наноустройств. Уникальные упругие свойства фуллеритов, состоящих из фуллеренов  $C_{60}$ , позволяют говорить о перспективах создания новых объемных углеродных материалов с особыми механическими свойствами. В первых экспериментах по созданию таких наноструктур, посредством приложения высоких давлений, были синтезированы материалы с высокой прочностью и жесткостью. Несмотря на то, что изучению свойств фуллеритов с различной структурой посвящено достаточно много работ, их упругие свойства и отклик на приложенные большие деформации до сих пор остается малоизученным.

В данной работе исследуются механические свойства фуллерита с разными составными элементами – фуллеренами  $C_{48}$ ,  $C_{60}$  и  $C_{240}$  – с простой кубической укладкой молекул фуллерена. Моделирование проводилось с использованием пакета моделирования LAMMPS с эмпирическим потенциалом межатомного взаимодействия AIREBO. Данный потенциал был успешно использован ранее для исследования тепловых и механических свойств различных углеродных систем. Для описания сил ван-дер-Ваальса, действующих между фуллеренами в структуре, использовался потенциал Леннарда-Джонса, который является

добавочным в потенциале AIREBO. Расчетная ячейка подвергалась действию деформации. Расчеты производились при нулевой температуре, причем температурный режим поддерживался с помощью термостата Носе-Хувера.

В результате проведенного исследования был описан механический отклик структуры фуллерита C240 на гидростатическое сжатие, а также рассчитан объемный модуль упругости  $B$  равный 0.36 ГПа. Кроме того, для структур фуллерита C60 и C48 были рассчитаны модули жесткости и податливости, которые затем использовались для расчета констант упругости аналитическими методами.

Анализ отдельной структурной единицы – фуллерена – показал, что фуллерен является очень прочным и сопротивляется сжатию до плотностей, близких к плотности графита, после чего происходит схлопывание структуры. Интересно, что фуллерит может быть деформирован упруго до тех пор, пока не произошло схлопывание молекул фуллерена. Анализ коэффициента Пуассона показал, что фуллерит может демонстрировать ауксетичность (т.е. отрицательный коэффициент Пуассона) в зависимости от типа структурной единицы. Можно сделать заключение, что в конечном итоге знак коэффициента Пуассона определяется не свойствами объемной структуры, а формой и строением молекулы фуллерена. Данная работа открывает широкие перспективы исследования различных видов фуллерита с точки зрения поиска материалов с уникальными свойствами, а именно, с отрицательным коэффициентом Пуассона.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 16-32-00483-мол\_a.

## **Расчетно-экспериментальное исследование изменения объёмного содержания воздуха в препреге при действии давления**

Самигур С.А.

Научный руководитель – Батраков В.В.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Рассматривается объемное содержание воздуха в препреге при изменении давления.

Для того чтобы описывать любой композитный материал, нужно иметь количественное описание пропорций компонентов, которые он содержит [1]. В предлагаемой работе введены понятия массы и объема фракций, и показано, как они связаны с толщиной слоя и как изменяется толщина при действии давления. В производстве, естественно описывают составляющие композиционного материала с точки зрения их пропорции по весу. В простом композите, который состоит только из волокна и связующего по причинам, которые станут очевидными, конструкторам удобно оперировать составляющими, определенными количественно их объемными долями. Толщина композиционного слоистого материала зависит от количества армирующего волокна и относительного количества смолы.

Наличие пустот увеличивает общий объем композита, но не изменяет вес композиционного материала. По изменению объема можно определить количество воздуха в композиционном материале. Отсюда можно определить

количество объемного содержания воздуха как отношение разницы между толщиной с воздухом и без воздуха к толщине с воздухом.

Приведено испытание на СУСОМ 970-30 слоев при давлении 0 – 6 атм. в течение часа при температуре 100° С.

Конечное объемное содержание воздуха зависит от его первоначального значения. То есть определить давление, при котором весь воздух выходит, не учитывая первоначальное объемное содержание воздуха невозможно. Из результатов экспериментального исследования можно сделать вывод о том, что изготовить деталь с минимальным содержанием воздуха возможно, если подготовить начальный пакет с минимальным содержанием воздуха между слоями.

Литература.

1. Magdi El Messiry. Theoretical analysis of natural fiber volume fraction of reinforced composites. Volume 52, Issue 3, September 2013, Pages 301–306

### **Моделирование ползучести стеклотекстолитов при разупрочняющих нагрузках**

Сафронов Е.С.

Научный руководитель – Горбунов С.В.

СамГТУ, г. Самара

Стеклотекстолиты – композиционные материалы, изготовленные из стекловолокнистого наполнителя и полимерного связующего вещества – широко применяются в производстве различных элементов конструкций машин и оборудования народного хозяйства, в том числе в авиа- и ракетостроении (например, корпуса ракетных двигателей твёрдого топлива, сосуды и баллоны высокого давления, лонжероны самолётов и лопастей винтов вертолётов). Механическое поведение стеклопластиков при действии на них постоянной во времени нагрузки обладает следующей характерной особенностью: если возникающее при этом напряжение меньше некоторого экспериментально определённого для данного материала значения – предела длительного сопротивления, то деформация является асимптотически затухающей и разрушения образца не происходит; если же на образец действует напряжение, превышающее этот предел, то деформация неограниченно возрастает вплоть до разрушения образца. Отметим также, что стеклотекстолитам в отличие от металлов ползучесть свойственна уже при комнатной температуре. Принимая во внимание требования современного машиностроения по уменьшению материалоемкости изделия и увеличению срока его службы в условиях работы при нагрузках, близких к критическим, считаем, что математическое описание и прогнозирование деформирования стеклопластиков является актуальной задачей; к тому же данная проблема слабо освещена в научной литературе.

Для математического моделирования изложенного выше характера деформирования стеклотекстолита при постоянной температуре в условиях одноосного нагружения использован частный случай энергетического варианта феноменологической теории неполной обратимости деформации ползучести (Радченко В. П., Саушкин М. Н., Горбунов С. В. Вариант кинетических уравнений изотермической ползучести и длительной прочности энергетического



типа // ПМТФ, №1, 2014.С. 207–217). Константы соответствующей модели были идентифицированы по кривым одноосной ползучести. Разупрочнение материала учитывалось с помощью скалярного параметра поврежденности. Его наличие позволило описать монотонный рост кривых ползучести для напряжений, превышающих предел длительного сопротивления. Дифференциальные уравнения, входящие в рассматриваемую модель, решались численно методом Эйлера.

Все необходимые расчёты выполнены в специально написанной для этих целей на языке VisualBasicfor Applications в среде MSOfficeExcel программе. Входными данными для неё являются значения времени и деформации ползучести двух кривых, полученных при напряжениях, меньших предела длительного сопротивления, и как минимум одной кривой, построенной при превышающем его напряжении, а также сами величины напряжений. Для идентификации параметров модели реализован метод последовательного выделения экспоненциальных слагаемых (Самарин Ю. П. Построение экспоненциальных аппроксимаций для кривых ползучести методом последовательного выделения экспоненциальных слагаемых // Проблемы прочности, №9, 1974. С. 24–27) и выполнена минимизация функционала близости расчётных и экспериментальных кривых. На выходе для заданных значений напряжений программа выдаёт массивы данных, по которым строятся диаграммы деформирования.

В результате произведённых расчётов для стеклотекстолитов КАСТ-В и ВФТ-С при температурах 20 °С и 100 °С получены кривые ползучести, которые удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

### **Колебания стойки с грузом при случайном кинематическом воздействии на опору**

Свечников Р.В.

Научный руководитель – Щербаков В.И.

МАМИ, г. Москва

Рассматривается виброн нагруженность конструкции в виде упругой стойки, несущей сосредоточенную массу, при случайном кинематическом воздействии на основание. Такая расчётная схема применима к динамическому анализу антенн и высотных сооружений при сейсмическом воздействии.

Составлено дифференциальное уравнение изгибных колебаний стойки, учитывающее её геометрические размеры и упругие свойства материала, нормальную сжимающую силу в сечении и заданное нагружение, представляющее собой случайный процесс ускорений основания в горизонтальном направлении. Решение получено в виде разложения по собственным формам колебаний стержня. Это позволило перейти от решения дифференциального уравнения в частных производных четвертого порядка к решению системы независимых обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка. Получены передаточные функции от внешних воздействий к выходным процессам, за которые были приняты перемещения сосредоточенной массы и напряжения в стойке. Далее определялись спектральные плотности перемещений и напряжений, а по ним - дисперсии перемещений и напряжений,

а также дисперсии их скоростей. На основе этой информации и использовании методов теории надежности были выведены аналитические зависимости, позволяющие оценить вероятность отказа конструкции как по превышению опасного уровня перемещений, так и по превышению уровня напряжений. Под отказом понималась вероятность события, что перемещение или напряжение превысило за заданное время опасный уровень.

Таким образом, разработанная методика расчета вибрационной нагруженности стойки позволяет оценить вероятности отказа, как по превышению опасного уровня перемещений, так и по превышению опасного уровня напряжений. Эффективность методики проиллюстрирована примером расчета конкретной конструкции.

### **Исследование свойств наноматериалов на основе кремния и полупроводниковых металлов посредством математического моделирования**

Северюхин А.В., Северюхина О.Ю.

Научный руководитель – Вахрушев А.В.

ИМ УрО РАН, г. Ижевск

В настоящее время большое внимание уделяется вопросу исследования свойств и возможных вариантов применения наноматериалов и их включений. Не менее важным моментом является возможность прогнозирования характеристик материалов, получаемых посредством внедрения нанотехнологий. Реализовать эту возможность можно применяя методы математического моделирования. Чаще всего для решения подобного рода задач используются аппараты молекулярной динамики и квантовой механики. Данные методы позволяют спрогнозировать свойства исследуемых материалов без проведения дорогостоящих экспериментов. Для исследования систем с большим числом атомов применяется метод молекулярной динамики, в силу простоты реализации и небольших затрат вычислительных ресурсов.

Существует множество потенциалов для описания межатомного взаимодействия в молекулярно-динамических системах. К их числу относятся: потенциал Морзе, потенциал Леннарда-Джонса, потенциал Стиллинджера-Веббера, потенциал Абеля-Терсоффа, ЕАМ, МЕАМ.

Была разработана математическая модель, описывающая динамику формирования наносистемы на основе кремния и полупроводниковых металлов, а также позволяющая оценить свойства полученных систем. При моделировании наносистем был использован модифицированный метод погруженного атома (МЕАМ). Расчет характеристик системы производился с использованием программного пакета LAMMPS.

В результате проведенных исследований было доказано адекватность разработанной модели. Так, например, построение радиальной функции распределения для системы, содержащей атомы кремния и хрома, показало формирование гексагональной структуры С40, что соответствует экспериментальным данным. Значение коэффициента теплопроводности для этих систем при соответствующих температурах также сопоставимы.

В ходе моделирования процессов формирования квантовых точек на основе кремния и полупроводниковых металлов было выявлено образование трехмерных островков на поверхности подложки. Это согласуется с экспериментальными и теоретическими данными о том, что для образования трехмерных островков необходимо, чтобы параметр рассогласования решеток в системе осаждаемый материал/подложка был достаточно велик ( $\varepsilon_0 > 2\%$ ).

Имеет место явление диффузии атомов хрома в подложку, однако оно наблюдается лишь в поверхностных слоях, что хорошо согласуется с экспериментальными данными. Наличие явления диффузии в поверхностных слоях обусловлено строением и свойствами элементов, участвующих в моделировании.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИжГТУ им. М.Т. Калашникова № 201445-1239 «Разработка фундаментальных основ теории управления процессов формирования, движения и имплантации наночастиц в поверхность твердых тел».

### **Описание закона Холла-Петча в рамках двухуровневой модели неупругого деформирования поликристаллов**

Селуков Д.Г.

Научный руководитель – Волегов П.С.

ПНИПУ, г. Пермь

Выполнение различными конструкциями возложенных на них задач возможно только при строго установленных режимах эксплуатации, определяющих, в том числе, предельно допустимые температурно-силовые нагрузки. При определении диапазонов допустимых нагрузок конструкторы в первую очередь опираются на такое свойство материалов, как прочность. Механической величиной, характеризующей прочность материала, в свою очередь, является его предел текучести. В конструкциях широко применяются металлы, исследованию их поведения и посвящена настоящая работа. Металлы, как правило, представляют собой поликристаллы, состоящие из совокупности кристаллитов (зерен), размер которых влияет на свойства материала. Зависимость, связывающая предел текучести поликристаллов и средний размер зерна, носит название закона Холла-Петча. Существующие макрофеноменологические описания не вполне прозрачно объясняют причины и конкретные физические механизмы, приводящие к этой зависимости, поэтому предлагается использовать математические модели (в том числе мезоуровневые), основанные на физических теориях пластичности.

Основным носителем процесса пластического деформирования в поликристаллах (в широком диапазоне материалов и воздействий) является движение дислокаций по кристаллографическим системам скольжения кристаллитов. Этот процесс протекает на масштабном уровне кристаллита (мезомасштабе). Процесс деформирования на макроуровне (то есть на масштабах представительного объема поликристалла) является совокупностью мезодеформаций. Таким образом, в деформируемом поликристалле можно выделить два масштабных уровня: уровень отдельного кристаллита и уровень представительного объема поликристалла. На мезоуровне дислокации начинают

движение при достижении касательными напряжениями на системах скольжения некоторых критических значений. Упрочнение происходит в связи с повышением критических напряжений вследствие предистории взаимодействия и накопления дефектов при деформировании. Взаимодействие дислокаций с границами зерен тем существеннее, чем больше их объемная плотность. При уменьшении размера зерна средний пробег дислокации сокращается, и она неизбежно взаимодействует с границей. Таким образом, зависимость начала пластической деформации, иначе, значение предела текучести, зависит от размера зерна в эволюционном соотношении критических напряжений (которое принято называть законом упрочнения). В полученном в работе соотношении имеется зависимость от взаиморасположения соседних взаимодействующих кристаллов, их границы, ориентаций системы скольжения переходящей дислокации и системы скольжения того зерна, в которое при скольжении переходит дислокация.

В работе реализована двухуровневая модель неупругого деформирования представительного объема металлического поликристалла, получено эволюционное уравнение, описывающее изменение критических напряжений на системах скольжения кристаллитов в связи с взаимодействием дислокаций с границами зерен, проведена идентификация внутренних параметров модели, проведены численные эксперименты для выявления предела текучести при различных размерах зерна в диапазоне 10<sup>-6</sup>–10<sup>-3</sup> м, построены графики полученных зависимостей. Поставленные эксперименты качественно удовлетворяют закону Холла-Петча.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4917.2015.1, грант РФФИ №14-01-96008 p\_урал\_a.

## **Атомистическое моделирование чистого циркония и конструкционных сплавов Zr-Nb**

Смирнова Д.Е.

Научный руководитель – Морозов И.В.  
ОИВТ РАН, г. Москва

Сплавы циркония широко применяются при изготовлении деталей активной зоны ядерного реактора – например, оболочек ТВЭЛов. Одними из наиболее перспективных вариантов в данном случае считаются сплавы циркония, легированные ниобием. Такой состав позволяет добиться высокой пластичности материала, в сочетании с высокими показателями коррозионной и радиационной стойкости.

В настоящей работе выполняется атомистическое моделирование характеристик чистого циркония и его сплавов. Для решения поставленной задачи разработан потенциал, который описывает межатомное взаимодействие в бинарной системе Zr-Nb. Построение потенциалов выполнялось методом «согласования по силе», или «force matching» [1]. Идея этого метода заключается в восстановлении межатомного потенциала по *ab initio* данным (межатомным силам, энергиям и напряжениям), рассчитанным для ряда эталонных структур. В методе «согласования по силе» экспериментальные данные не участвуют в процедуре оптимизации потенциала, а привлекаются

только для его верификации. Функциональная форма потенциала соответствовала модели Angular-dependent potential (ADP). Концепция ADP-потенциала была предложена в 2005 г. в работе [2] как расширение модели погруженного атома [3], позволяющая учитывать не центрально-симметричные силы межатомного взаимодействия. Применение такого подхода обусловлено наличием в системе Zr-Nb фаз со сложной симметрией.

Наличие такого межатомного потенциала позволяет применить метод молекулярной динамики (МД) для моделирования явлений, происходящих в сплавах Zr-Nb в условиях эксплуатации. Установлено, что межатомный потенциал, предложенный в работе, дает возможность для моделирования структуры и свойств ряда фаз циркония: ГПУ  $\alpha$ -Zr, ОЦК  $\beta$ -Zr, гексагональной  $\omega$ -Zr. Также разработанная модель позволяет моделировать фазы ниобия и сплавы Zr-Nb. Представлены результаты тестирования разработанного потенциала путем расчета параметров решетки кристаллических фаз системы Zr-Nb, упругих модулей, энергий образования дефектов, температур плавления. Рассчитанные величины сопоставлены с экспериментальными данными. Также исследована диффузия точечных дефектов в ГПУ и ОЦК фазах циркония. Полученные результаты коррелируют с опубликованными экспериментальными данными и позволяют прояснить механизмы самодиффузии в исследуемом металле.

Литература.

1. Ercolessi F., Adams J.B. Interatomic Potentials from First-Principles Calculations: The Force-Matching Method // *Europhysics Letters (EPL)*. 1994. Vol. 26. № 8. P. 583-588.

2. Mishin Y., Mehl M., Papaconstantopoulos D. Phase stability in the Fe-Ni system: Investigation by first-principles calculations and atomistic simulations // *Acta Materialia*. 2005. V. 53. № 15. P. 4029.

3. Daw M., Baskes M. Embedded-atom method: Derivation and application to impurities, surfaces, and other defects in metals // *Phys. Rev. B*. 1984. V. 29. № 12. P. 6443-6453.

Работа выполнена в рамках задания № 2014/152 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части госзадания Минобрнауки РФ (код проекта – 1911).

## **Совершенствование способов соединения металлических конструкций дюбелями**

Ступин Д.А.

Научный руководитель – Панфилов Г.В.

ТулГУ, г. Тула

В настоящее время прямой монтаж металлических конструкций забиванием высокопрочных дюбелей с помощью строительных ручных и стоечных пистолетов находит все большее применение в различных отраслях промышленности<sup>•</sup>. Данному методу свойственны: высокая производительность, простота реализации и минимум материальных затрат при надежной прочности соединений.

Разработаны конструкции и технологии изготовления высокопрочных дюбелей, позволяющих соединять металлоконструкции увеличенной толщины; проектирование секторных насадок к строительным монтажным пистолетам, обеспечивающих забивание в металл стержневых дюбельных опор с удлиненными выступающими частями и пошаговую силовую подачу длинных стержневых штанг. С этой целью была разработана новая конструкция дюбеля, включающая участок головной части несколько увеличенного диаметра, что обеспечивает: существенное снижение энергии, которую необходимо приложить для забивания дюбеля, вследствие значительного уменьшения сил трения; увеличение прочности соединения вследствие того, под действием упругопластических и последующих релаксационных напряжений деформируемый при забивании материал обтекает головной участок увеличенного диаметра и затекает в зазор на цилиндрическом участке дюбеля.

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований показал, что на предельную толщину пробиваемой преграды существенное влияние оказывают форма головной части и качество остаточных механических характеристик материала, особенно в вершинке головной части. Для улучшения пробития соединяемых металлических конструкций дюбелями была разработана конверсионная многооперационная технология холодной объемной штамповки по результатам аналогичных разработок по изготовлению высокопрочных броневой сердечников на основе новых запатентованных способов штамповки.

Разработана специальная штамповая оснастка, в частности: штамп, обеспечивающий удовлетворительную стойкость выталкивателей и высокоточную соосность формообразуемой головной и цилиндрической частей изготавливаемого дюбеля; штамповая оснастка для получения, наоборот, дюбелей с короткой цилиндрической и удлиненной головной частями; матрица, позволяющая калибровать цилиндрические заготовки по длине и массе отдельно или при совмещении с первой операцией формообразования головной части.

Проведен комплекс экспериментальных исследований методом делительных сеток кинематики течения деформируемого материала, позволивший выявить наиболее «опасные» точки с наибольшим исчерпанием запаса пластичности, которые располагаются на оси симметрии на определенном расстоянии от оси симметрии в зависимости от угла конусности и степени обжатия.

На основе исследований разработана методика определения числа формообразующих операций и размеров промежуточных полуфабрикатов, которая доведена до программного продукта. Помимо й конструкции и прогрессивной технологии изготовления высокопрочных дюбелей были предложены и обоснованы конструкторские решения, существенно расширяющие возможности прямого монтажа.

Установлены прогнозные показатели экономической эффективности результатов предлагаемого проекта, основным из которых является то, что монтировать сборные металлические конструкции, подвергающиеся в процессе работы вибрационным и динамическим нагрузкам, можно только с помощью дюбелей разработанной конструкции.

## Моделирование процесса отбортовки торообразных конструкций

Сулейманова И.Р.

Научный руководитель – Шляпугин А.Г.

СГАУ им. С.П. Королёва, г. Самара

Для хранения окислителя и горючего в ракетно-космической технике широкое распространение получили торообразные конструкции из высокопрочных алюминиевых сплавов, изготавливаемые сваркой двух полуторов.

Типовой технологический процесс изготовления торового бака включает раскрой круглой заготовки, вытяжку за два перехода с промежуточным разупрочняющим отжигом, калибровку, отбортовку фланцев, обрезку технологического припуска и сварку конструкции.

Чтобы уменьшить вероятность образования складок необходимо изменить соотношение между деформациями, уменьшив долю деформаций сжатия. Добиться этого можно применением кольцевой заготовки, которая позволит не только устранить гофрообразование, но и сократить количество переходов при вытяжке полутора до одного за счет перемещения металла из центральной части заготовки.

При вытяжке полутора из сплошной заготовки под действием сжимающих тангенциальных напряжений происходит потеря устойчивости фланца и образование гофр. При вытяжке кольцевой заготовки вследствие отбортовки схема напряженного состояния на фланце изменяется на двухосное растяжение, что является необходимым условием устранения гофрообразования. Однако, в данном случае необходимо контролировать, чтобы увеличение отверстия не сопровождалось образованием разрывов из-за исчерпания пластичности на кромке.

Моделирование проводилось в программном продукте Pam-Stamp. В данной модели используются 4-х узловые оболочные конечные элементы с 5 точками интегрирования по толщине заготовки. С целью сокращения количества элементов моделировалась  $\frac{1}{4}$  объема, заключенного между координатами плоскостями ZOХ и ZOУ. Созданы три контактные пары: пуансон-заготовка, прижим-заготовка, матрица-заготовка, трение на которых подчиняется закону Кулона (коэффициент трения принят равным 0,10). К прижиму в направлении оси Z приложено постоянное усилие равное 250 кН, при этом степень свободы прижима по оси Z не ограничена. Пуансон перемещается с постоянной скоростью по направлению оси Z, матрица – неподвижна. Пуансон, матрица и прижим считаются жесткими телами.

Наружный радиус заготовки равен 516,5 мм. В ходе моделирования выполнялось варьирование радиусом отверстия в кольцевой заготовке: 200, 300 и 400 мм.

В ходе моделирования установлено, что при радиусе отверстия 200 мм, его размеры в процессе вытяжки практически не изменяются и процесс схож с вытяжкой сплошной заготовки. При этом, также как и при вытяжке заготовки без отверстия, идет интенсивное гофрообразование. При больших радиусах отверстия происходит интенсивное увеличение отверстия без гофрообразования.

С изменением радиуса отверстия меняется отношение деформаций, действующих в плоскости листа. Так, чем меньше радиус отверстия, тем больший участок кривой имеет отрицательное значение, т.е. больше вероятность появления гофр из-за преобладания деформаций сжатия. Следует отметить и смещение наибольшего значения отношения деформаций от центра с увеличением радиуса отверстий. При радиусе 400 мм наибольшее отношение деформаций расположено в точке, близкой к «вершине» полутора ( $R_t = 714\text{мм}$ ), а форма графика близка к симметричной относительно этого значения. Для участка фланца, расположенного под прижимом отношение деформаций одинаково для любых размеров отверстий.

## **Исследование ротаций кристаллических решёток при интенсивных неупругих деформациях поликристаллов**

Тельканов М.А.

Научный руководитель – Волегов П.С.

ПНИПУ, г. Пермь

Хорошо известно, что при интенсивных неупругих деформациях поликристаллов происходит формирование так называемой кристаллографической текстуры – появление выделенных направлений в ориентациях кристаллических решеток отдельных зерен. Текстура материала может порождать существенную анизотропию свойств на макроуровне, которую необходимо учитывать при эксплуатации конструкции из данного материала. Специально для описания данных процессов создаются математические модели, учитывающие механизмы ротаций кристаллических решёток материала при интенсивных неупругих деформациях.

Целью данной работы является построение двухуровневой математической модели деформирования поликристалла, описывающей процессы ротаций кристаллических решеток зерен, и последующее изучение эволюции физико-механических свойств поликристалла, в том числе – формирование кристаллографических текстур, при интенсивных неупругих деформациях.

На макроуровне в данной модели рассматривается представительный объём поликристалла, состоящий из некоторого заранее определённого количества элементов мезоуровня (кристаллитов). Определяющим соотношением мезо- и макроуровня является закон Гука, записанный в скоростной релаксационной форме.

В качестве основного механизма неупругого деформирования элементов мезоуровня выступают сдвиги краевых дислокаций по кристаллографическим системам скольжения при достижении касательным напряжением некоторого критического значения. Скорости сдвигов описываются уравновязкопластическим соотношением Хатчинсона.

Используя кинематическую гипотезу Фойгта, тензоры скоростей деформаций всех зёрен принимаются равными тензору деформации скорости представительного объёма поликристалла. Прочие параметры мезоуровня усредняются по объёму и затем передаются на макроуровень. Для описания процессов ротаций кристаллитов применена модель, связанная с несовместностью пластических сдвигов в соседних зёрнах.



С использованием построенной модели были проведены численные эксперименты по одноосному растяжению, простому сдвигу и равноканальному угловому прессованию поликристалла со случайно ориентированными зёрнами, а также поликристалла, состоящего из конгломератов, состоящих из равно ориентированных зёрен. В проведённых экспериментах были получены полюсные фигуры распределения ориентаций, графики зависимости количества зёрен, участвующих в ротациях, от интенсивности деформации, а также кривые деформирования.

При анализе ротаций решёток зёрен был сделан следующий вывод: количество зёрен, принимающих участие в ротациях, с увеличением накопленной деформации снижается, в то время как скорость вращения решёток постепенно увеличивается. С точки зрения физики, это можно трактовать, как сохранение некоторой эквивалентной энергии: некоторые зёрна в процессе разворотов занимают положение с наименьшей энергией и прекращают вращение, а полная энергия системы распределяется между остальными зёрнами.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4917.2015.1, гранта РФФИ №14-01-96008 р\_урал\_а.

## **Ab initio расчёт параметров анизотропной пластичности по кривым напряжений от осевых и сдвиговых деформаций алмазоподобных кристаллов Si, SiC, C**

Телятник Р.С.

Научный руководитель – Кукушкин С.А.

ИПМаш РАН, г. Санкт-Петербург

Расчётами вычислительной квантовой химии 0 (abinitio – из первых принципов) построены графики напряжений от истинных (логарифмических) деформаций сжатия, растяжения и сдвига в кремнии Si, карбиде кремния SiC и алмазе C. Билинейными и трилинейными аппроксимациями кривых определены пределы упругости вместе с модулями упругости и тангенциальными модулями пластичности, указаны зоны текучести с пределом разрушения. Соотношения сдвиговых и осевых пределов упругости оказались далеки от изотропных, поэтому вместо критерия Мизеса для наступления пластичности следует пользоваться анизотропным критерием Хилла 0, который поддерживается, например, пакетом ANSYS конечно-элементных расчётов напряжённо-деформированного состояния. Более того, различными по отношению к сжатию и растяжению оказались не только пределы упругости, но и аппроксимированные модули Юнга, тогда как касательное значение модуля Юнга в нуле деформаций совпадает с экспериментальными значениями, получаемыми обычно по скорости ультразвука в области самых малых деформаций, которые в данном приложении не являются репрезентативными.

Расчёт производился в пакете Abinit 0. Применялся метод функционала плотности DFT 0 в приближении локальной плотности LDA с использованием предоставленных на сайте abinit.org псевдопотенциалов (описывающих невалентные электроны) Трулье-Мартинса. Деформации сжатия, растяжения и сдвига производились над кубической ячейкой из 8 атомов (в периодических

условиях), которые в идеальной алмазной гранецентрированной структуре находятся в правильном тетраэдрическом окружении. Тензор напряжений в Abinit рассчитывается по Нильсену-Мартину 0.

Релаксация позиций атомов производилась в процессе минимизации полной энергии при  $T = 0^\circ\text{K}$  по алгоритму Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно, при этом для осевых деформаций вдоль кристаллографической оси [100] разрешалось изменение поперечных размеров ячейки, откуда определялся коэффициент Пуассона, а при чисто сдвиговых деформациях оптимизировался объём ячейки. Моделирование молекулярной динамики дало снижение средних напряжений у предела упругого растяжения на  $\sim 5\%$  при  $T = 300^\circ\text{K}$ .

Полученные пределы пластического участка, за которым наступает текучесть или разрушение, с точностью совпадают с результатами при растяжении в ab initio расчёте для C в 0 и близки к результатам для растяжения Si и SiC, полученным экспериментально и методом молекулярной динамики с потенциалами Терсоффа в 0. Обнаружена область отрицательных значений коэффициента Пуассона при большом растяжении C, у которого подрешётка атомов может служить гармошкой характерной для ауксетиков 0. В реальном кристалле это вряд ли возможно наблюдать, так же как и почти неограниченную гиперэластичность при сжатии Si и SiC, если сохранять алмазоподобную структуру, игнорируя флуктуационные фазовые превращения в квазистатическом ходе деформации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-12-01102.

Литература.

T. Tsuneda. Density Functional Theory in Quantum Chemistry (Springer, Tokyo, 2014).

R. Hill // Proc. Roy. Soc. London 193, 281 (1948).

X. Gonze et al. // Comp. Phys. Comm. 180, 2582 (2009). www.abinit.org

O.H. Nielsen, R.M. Martin // Phys. Rev. B 32, 3780 (1985).

X. Luo et al. // J. Phys. Chem. C 114, 17851 (2010).

V.I. Ivashchenko, P.E.A. Turchi, V.I. Shevchenko // Phys. Rev. B 75 085209 (2007).

K.E. Evans // Endeavour 15(4), 170 (1991)

## **Упругие свойства органических монокристаллов бифталатов щелочных металлов и аммония**

Тептеева Е.С.

Научный руководитель – Лисовенко Д.С.

МАИ, г. Москва

Основываясь на величине и знаке коэффициента Пуассона все кристаллические материалы можно разделить на неауксетики, частичные ауксетики и полные ауксетики [1]. Неауксетики имеют положительный коэффициент Пуассона при любой ориентации, а полные ауксетики характеризуются отрицательным коэффициентом. У частичных ауксетиков в зависимости от ориентации коэффициент Пуассона могут иметь как положительные, так и отрицательные значения коэффициента Пуассона. На данный момент известен список из более четырехсот кристаллов-ауксетиков.

Кристаллические ауксетики обнаружены среди кристаллов с кубической, гексагональной, ромбоэдрической, тетрагональной, орторомбической, моноклинной и триклинной сингоний [2,3]. Более трехсот из них выявляются среди кубических кристаллов.

В работе, используя упругие константы органических монокристаллов бифталатов  $C_8H_5O_4X$  ( $X = K, Rb, Cs, NH_4$ ) [4], проанализирована изменчивость коэффициента Пуассона и модуля Юнга. Монокристаллы бифталатов относятся к орторомбической сингонии. Численно-аналитический анализ показал, что три из четырех исследованных бифталатов  $C_8H_5O_4X$  ( $X = Rb, Cs, NH_4$ ) являются частичными ауксетиками. Наименьшие значения коэффициентов Пуассона будут равны -0.12 для  $C_8H_5O_4Rb$ , -0.07 для  $C_8H_5O_4Cs$  и -0.01 для  $C_8H_5O_4NH_4$ . Для неауксетического бифталата  $C_8H_5O_4K$  минимальное значение коэффициента Пуассона принимает значение 0.06. Модуль Юнга для исследуемых кристаллов бифталатов меняется в пределах от 7 ГПа до 18 ГПа.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ (грант НШ-1275.2014.1).

Литература.

1. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С., Волков М.А. Отрицательный коэффициент Пуассона для кубических кристаллов и нано/микротрубок. Физическая мезомеханика. 2013 г., Т.16, №6, С.13-31.

2. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. Ауксетическая механика кристаллических материалов. Известия РАН. МТТ, 2010 г., № 4, С.43-62.

3. Лисовенко Д.С. Аномальные величины коэффициента Пуассона анизотропных кристаллов. Деформация и разрушение материалов. 2011 г., В.7, С.1-10.

4. Регель В.Р., Владимиров В.И., Сизова Н.Л. и др. Механические свойства органических монокристаллов бифталатов и ортосульфобензоатов щелочных металлов и амония. Кристаллография, 1989 г., Т.34, В.6, С.1490-1495.

## **Некоторые итоги исследования локализации деформаций в плоских образцах при высокотемпературном растяжении**

Терауд В.В.

Научный руководитель – Локощенко А.М.

НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Проведен анализ процесса локализации деформаций в плоских образцах, наблюдаемого в процессе высокотемпературных испытаний при ползучести вплоть до разрушения. Представлены результаты проведенных экспериментальных исследований ползучести плоских стандартных образцов из алюминиевого сплава при температуре 400°C. Образцы испытывались в условиях ползучести при различных начальных растягивающих напряжениях. Использование разработанной бесконтактной системы измерений позволило получить зависимости изменения формы образцов, перемещения поверхностных точек, истинного напряжения в образце от времени и др. Исследованы зависимости ширины и толщины образца в месте разрушения от начального напряжения. Определен относительный интервал времени деформирования, при котором образец растягивается равномерно. Введены понятия «быстрая» и

«долгая» локализации. Проведено сравнение полученных результатов с данными аналогичных испытаний цилиндрических образцов.

Зафиксирован момент времени, при котором в образце образуется шейка. Этот момент соответствует расхождению зависимостей для условных и истинных максимальных напряжений  $\sigma_{max}(t)$ . Было выяснено, что образцы с более низким начальным напряжением разрушаются при больших значениях ширины и толщины образца в зоне локализации. С повышением начального растягивающего напряжения и приближением к месту локализации увеличивается отношение ширины к толщине в разрушенном образце. Предложено ввести понятия «быстрая» и «долгая» локализации деформации. Показано, что плоские образцы по сравнению с цилиндрическими образцами деформируются более равномерно в своей рабочей части. Разработаны три критерия появления шейки.

### **Метод расчёта угла пружинения при одноугловой гибке**

Типалин С.А., Кучковский Ю.П.

Научный руководитель – Калпин Ю.Г.

МАМИ, г. Москва

Процесс формоизменения листового металла с высокими упругими свойствами связан с рядом сложностей, одним из которых является – пружинение металла. Точность делалей, получаемых гибкой, можно значительно повысить, а доводку технологического процесса удешевить, если знать угол пружинения, т.е. изменение угла гибки детали после снятия нагрузки. Угол пружинения можно найти экспериментально, это весьма трудоемкий процесс, а можно определить расчетным путем. Существует зарекомендовавшая себя и часто используемая методика расчёта угла пружинения, изложенная в учебнике «Теория обработки металлов давлением», авторов – Сторожев М.В., Попов Е.А.

Определение угла пружинения по данной методике заключается в рассмотрении напряженного состояния в зоне сжатия и в зоне растяжения очага деформации. Упрочнение металла не учитывается. Напряженно-деформированное состояние считается осесимметричным и рассматривается в полярных координатах. При этом рассчитываются тангенциальные напряжения, по которым в свою очередь рассчитываются изгибающие моменты в поперечном сечении листа. Далее по изгибающему моменту, моменту инерции сечения и модулю упругости определяется изменение кривизны, который в последствии пересчитывается в угол пружинения путём интегрирования кривизны по срединной поверхности полуфабриката в очаге деформации.

В процессе многократного проведения теоретических и экспериментальных исследований операции гибки было замечено, что используемая методика даёт неточный результат. Доказательство этого суждения заключается в определении тангенциальной силы, растягивающей заготовку в момент окончания процесса гибки перед снятием нагрузки. После численного определения вышеуказанного параметра можно заметить, что тангенциальное напряжение уравнивается напряжением трения, возникающим между заготовкой и пуансоном. После снятия нагрузки тангенциальные напряжения в зоне растяжения уменьшатся на

некоторую величину, в то время как в зоне сжатия останутся без изменения, поскольку в этой зоне металл находится в пластическом состоянии (выполняется условие пластичности) и дополнительная деформация тангенциального сжатия не может привести к изменению напряженного состояния. Все это ведёт к уменьшению момента, по величине которого рассчитывается угол пружинения.

Вышеуказанный момент не учитывается авторами стандартной методики, поэтому есть некоторая погрешность в расчётах угла пружинения. Данная погрешность может отрицательно сказаться на качестве изделий, выпускаемых предприятиями, пользующимися стандартным методом. Предлагается использовать пересчёт изгибающих моментов после снятия нагрузки, для более точного определения угла пружинения.

## **Моделирование процесса прокатки в чистовой группе клетей стана 2000 ПАО «Северсталь» с использованием DEFORM-3D**

Трусов К.А.

Научный руководитель – Болобанова Н.Л.

ЧГУ, г. Череповец

Современные требования рынка металлургической продукции направлены на повышение качества, увеличение производства и снижение затрат. Плоскостность – один из важнейших показателей качества листового проката. Стандартами большинства стран установлены жесткие требования к отклонениям от плоскостности горячекатаных полос.

Одним из перспективных направлений исследования влияния параметров процесса непрерывной горячей прокатки на формирование плоскостности является метод конечных элементов. В среде DEFORM-3D была разработана математическая модель пластического течения металла при прокатке в чистовой группе клетей стана 2000.

Исходные данные для расчета по модели включают в себя 3D-модели валков и полосы, механические и теплофизические свойства материала и параметры процесса (температура, скорость прокатки, условия трения).

Адекватность модели оценивали методом сравнения энергосиловых параметров, полученных на стане 2000 и расчетным путем. Расхождение между данными не превысило 13%.

В результате расчета по разработанной модели получили распределение продольных скоростей металла по ширине очага деформации после прокатки для двух режимов прокатки: 1 вариант – полоса имела дефект краевой волнистости; 2 вариант – планшетная полоса. На выходе из очага деформации последней клетки стана в 1-ом варианте продольная скорость по краям полосы больше по сравнению с серединой, а, следовательно, вытяжка по краям будет больше, чем в середине полосы, что приводит к образованию краевой волнистости. Во 2-ом варианте распределение скоростей по ширине полосы близко к равномерному, поэтому полоса будет планшетной.

Значение амплитуды «волнь», полученное аналитическим расчетом, составило 11,2 мм. При расчете по вытяжкам, полученным в DEFORM-3D,

амплитуда дефекта «волна» составила 10,4 мм. Расхождение полученных результатов не превысило 7%.

Таким образом, разработанная модель в DEFORM-3D позволяет исследовать влияние факторов технологии горячей прокатки на распределение продольных скоростей по ширине полосы.

## **Моделирование воздействий ударных волн на хрупкие гетерогенные среды**

Федоров А.Ю., Федотова Г.Д.

Научный руководитель – Скрипняк В.А.

НИ ТГУ, г. Томск

Интенсивные динамические нагрузки, связанные с ударными, взрывными, импульсными тепловыми воздействиями на элементы конструкций имеют широкое распространение в современной технике. Достоверность оценок прочности и ресурса элементов конструкций из композиционных материалов при интенсивных импульсных воздействиях зависит от полноты физических представлений о закономерностях их механического поведения при высоких скоростях деформации, корректности и адекватности применяемых моделей. Исследования процессов, протекающих в композиционных материалах при динамических нагрузках, интенсивно ведутся как в России, так и за рубежом. Применение нанопорошков керамических соединений и новых технологий изготовления изделий и керамических композиционных материалов существенно расширило возможности варьирования фазового состава, структуры и свойств керамических композитов и нанокompозитов. Это явилось стимулом для развития методов прогнозирования механического поведения композитов в широких условиях воздействий с учетом их фазового состава, параметров распределения частиц упрочняющих фаз, параметров поровой структуры. Одним из перспективных подходов для прогнозирования механического поведения керамических композитов с учетом их структуры на мезоскопическом уровне в широких диапазонах внешних воздействий является многоуровневое компьютерное моделирование. Развитие моделей и методов многоуровневого компьютерного моделирования керамических композитов и нанокompозитов важно для более полного понимания закономерностей процессов деформации, повреждения и разрушения структурированных материалов и получения оценок прочностных характеристик композитов в условиях интенсивных динамических воздействий. На динамику разрушения керамических материалов оказывает влияние ряд структурных факторов. Поэтому актуальным является определение влияния параметров структуры и фазового состава перспективных керамических композитов и нанокompозитов на закономерности их динамического разрушения.

В работе проведено исследование процессов разрушения на мезоскопическом уровне в наноструктурных композиционных материалах системы ZrB<sub>2</sub>-B<sub>4</sub>C.

Разработана вычислительная модель механического поведения квазихрупких структурированных материалов при динамических воздействиях с использованием кинетической модели разрушения Джонсона-Холмквиста.

В трехмерной постановке проведено компьютерное моделирование деформации и разрушения на мезоскопическом уровне структурированного объема ZrB<sub>2</sub>-B<sub>4</sub>C.

Установлено, что при высокоскоростной деформации разрушение нанокompозита носит квазихрупкий характер и обусловлено зарождением и ростом множественных микротрещин. Трещины на мезоскопическом уровне в волне сжатия формируются вблизи пор и в пространстве между упрочняющими частицами.

Показано, что закономерности зарождения микротрещин и разрушения на мезоскопическом уровне не зависят от шага пространственной сетки и соответствующих значений шага по времени.

### **Моделирование пластической деформации титановых сплавов при динамическом нагружении с учётом распределения зёрен по размерам**

Федотова Г.Д., Федоров А.Ю.

Научный руководитель – Скрипняк В.А.  
НИ ТГУ, г. Томск

Уменьшение размеров зерна  $\alpha$  и  $(\alpha+\beta)$  титановых сплавов существенно увеличивает их твердость и прочность при комнатной температуре, но сопровождается значительным снижением вязкости и пластичности. Механическое поведение титановых сплавов с субмикронными размерами зерна при высокоскоростной деформации изучено недостаточно полно, что затрудняет прогнозирование прочности элементов конструкций из титановых сплавов в условиях динамического нагружения.

Целью данной работы является создание модели упругопластического течения для описания механического поведения  $\alpha$  и  $(\alpha+\beta)$  титановых сплавов с размерами зерен от 100 мкм до 0.3 мкм для диапазона скоростей деформации сжатия и растяжения от 10<sup>-3</sup> до 10<sup>5</sup> с<sup>-1</sup>. В модели учтено влияние распределения зерен по размерам на закономерности деформационного упрочнения и скоростную чувствительность напряжения течения.

Калибровка модели проведена при численном моделировании соударения цилиндрических ударников по нормали с жесткой преградой, называемый схемой испытания Тейлора. Ударник изготовлен из крупнокристаллических и субмикрокристаллических сплавов ВТ1-00 и ВТ-6 (аналога сплава Ti-6Al-4V), диаметром 5 мм и длиной 24,5 мм. Испытания проводись в широком диапазоне скоростей удара от 150 м / с до 600 м.

Расчеты проведены с использованием программно-расчетного комплекса ANSYS AutoDyn, реализующих метод Уилкинса с применением схемы крест второго порядка точности, а также метода сглаженных частиц (SPH).

Показано, что моделирование высокоскоростного соударения цилиндров о жесткую стенку сопряжено с необходимостью описания развития пластического течения в широком диапазоне скоростей деформации при сжатии и растяжении.

Показано, что в сплавах титана скоростная чувствительность напряжения течения  $d \ln \sigma_s / d \ln \dot{\epsilon} |_{T, \epsilon^p}$  в диапазоне от 103 до 105 с-1 выше в материалах с меньшим размером зерна.

Величина предельной пластической деформации до разрушения исследованных титановых сплавов при высокоскоростном растяжении уменьшается нелинейно с уменьшением средних размеров зерна. Параметры распределения зерен по размерам  $\alpha$  и  $(\alpha+\beta)$  титановых сплавов влияют как на величину деформационного упрочнения сплава, так и предельную пластическую деформацию до разрушения.

## **Изготовление трёхслойных уплотнителей на металлической основе**

Фомичева Д.А.

Научный руководитель – Панфилов Г.В.

ТулГУ, г. Тула

Уплотнительные элементы имеют важное значение при сборке многих изделий, особенно для деталей ответственного назначения. Особую значимость указанные элементы имеют при использовании в атомной промышленности, в изготовлении двигателей различного назначения, когда уплотнительные элементы должны работать при очень высокой температуре. Особое место в комплексе уплотнительных элементов занимают трехслойные элементы, центральным несущим слоем которых является коррозионно-стойкая нержавеющей перфорированная сталь различных марок, а периферийные слои выполнены из терморасширенного пенографита, обладающего рядом уникальных свойств. Наиболее важными из них являются: нейтральность к агрессивным химическим растворам; сохранение функциональных свойств при температуре до тысячи градусов Цельсия и отсутствие канцерогенного воздействия.

Наибольшей проблемой, возникающей при вырубке-пробивке указанных уплотнителей является хрупкость периферийных слоев, приводящая к их выкрашиванию по кромкам при проведении технологических операций. В связи с этим был разработан специальный клиновой инструмент. При теоретическом исследовании данной операции потребовалось систематизировать алгоритм производимых действий и подготовить его для разработки результирующего программного продукта.

Спроектирована конструкция универсального автоматизированного штампа для вырубке-пробивки рассматриваемых уплотнителей, который целесообразно использовать в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства, когда приходится перенастраивать штамп на изготовления уплотнителей других размеров по несколько раз за рабочую смену. Особенностью данной конструкции штампа является наличие целой группы подвижных перенастраиваемых узлов. В частности, можно отметить: быстросъемные пуансонные блоки для изготовления уплотнителей малого наружного диаметра и, напротив большого диаметра; конструкцию сборного шибера подачи; конструкции сборных матриц; механизма пневматической подачи заготовок с линии загрузки на линию обработки и компенсаторного устройства,



предотвращающего поломку указанного механизма подачи в случае попадания в зону обработки некондиционной заготовки или посторонних предметов.

Сложности проведения исследуемых операций вырубки-пробивки и выкрашивания периферийных слоев по контуру привели к необходимости проведения планируемого многофакторного экспериментального исследования по установлению геометрических параметров клинового инструмента и прочих технологических режимов операции. Получены репрезентативные и статистически обоснованы результаты проведенных экспериментальных исследований, в частности, установлены уравнения регрессии по двум основным результирующим параметрам качества изготавливаемых уплотнителей, касающимся несоосности диаметров изготавливаемого уплотнителя. Также раздельно спроектированы конструкции оригинальных сборных пуансонов и матриц, рациональных для изготовления уплотнителей малого и большого наружных диаметров.

Сформулированы основные практические рекомендации, полученные в результате проведенных исследований. В частности, они касаются геометрических размеров клиновых выступов разработанного инструмента и повышения их стойкости, уменьшения погрешностей геометрических параметров изготавливаемых уплотнителей.

Весьма важным результатом проведенных исследований является формирование принципов конструирования универсальных автоматизированных штампов, работающих в условиях мелкосерийного многономенклатурного производства.

## **Разработка метода расчёта длительной прочности толстостенной трубы при сложном напряжённом состоянии**

Цветков В.В.

Научный руководитель – Радченко В.П.

СамГТУ, г. Самара

Типичными испытаниями на долговечность и длительную прочность элементов конструкций, эксплуатируемых в условиях температурно-силовых нагрузок, являются испытания трубчатых цилиндрических образцов, нагруженных осевой силой, крутящим моментом и внутренним давлением. Поэтому в настоящей работе предложен метод решения краевой задачи о реологическом деформировании и разрушении толстостенной трубы в условиях растяжения, кручения и внутреннего давления, а также их совместного действия в различных комбинациях.

В качестве базовой реологической модели используется энергетический вариант теории ползучести и длительной прочности, позволяющий описать все три стадии ползучести, накопление поврежденности и разрушение материала. Для построения модели необходимо иметь лишь экспериментальные стационарные кривые одноосной ползучести, а при сложном напряженном состоянии осуществляется прогноз длительной прочности толстостенных труб на основе решения краевой задачи и критерия разрушения.

При численной реализации методики производится дискретизация по временной и пространственной координатам, принимаются гипотезы плоских

сечений и прямых радиусов. Расчет реологических компонент осуществляется в стандартной цилиндрической системе координат согласно известному в теории ползучести методу – «шагами» по времени. На каждом временном шаге напряжённое состояние предполагается неизменным, а в конце временного интервала осуществляется его ступенчатое изменение в соответствии с уравнениями равновесия и совместности деформаций. Разработано специальное программное обеспечение, позволяющее автоматизировать численный итерационный алгоритм решения поставленной краевой задачи.

Проверка адекватности предложенного метода оценки длительной прочности осуществлялась с использованием известных экспериментальных данных по длительной прочности следующих толстостенных цилиндрических образцов:

- сплав Д16Г ( $T = 250$  °С) – осевое растяжение, чистое кручение, совместное растяжение и кручение;
- сплав ЭИ698ВД ( $T = 750$  °С) – осевое растяжение, совместное растяжение и кручение;
- сплав ЭИ694 ( $T = 700$  °С) – осевое растяжение, внутреннее давление;
- сталь 12ХМФ ( $T = 590$  °С) – осевое растяжение, внутреннее давление;
- сталь 20 ( $T = 500$  °С) – осевое растяжение, внутреннее давление.

Расчетные значения времени до разрушения удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными по длительной прочности цилиндрических образцов. Кроме того, получены расчётные зависимости для полной осевой и радиальной деформаций и угла закручивания с течением времени. Построены эпюры распределения для всех компонент тензора напряжений по радиусу в различные временные сечения.

Полученные данные позволяют судить об адекватности реологической модели и метода расчета для оценки надёжности и прогнозирования длительной прочности толстостенных труб в условиях сложного напряжённого состояния.

## **Изучение фазовых переходов в конденсированном нитриде урана методом атомистического моделирования**

Цепляев В.И.

Научный руководитель – Стариков С.В.

ОИВТ РАН, г. Москва

Нитрид урана (UN) является перспективным топливом для атомных реакторов четвертого поколения. UN обладает большой температурой плавления, теплопроводностью и плотностью, что открывает новые возможности перед конструкторами атомных реакторов. Однако на данный момент нитрид урана остается одним из наименее изученных перспективных ядерных топлив. В то же время метод атомистического моделирования является мощным инструментом исследования и способен дать необходимую информацию о физических свойствах вещества.

В данной работе при помощи атомистического моделирования исследуется фазовый переход из кубической фазы низкого давления в ромбоэдрическую фазу высокого давления. Для определения наиболее устойчивой структуры были использованы термодинамическое и механическое условия равновесия системы, такие как минимальность энергии Гиббса и наличие изотропии давления. По

результатам работы сделаны оценки энергии Гиббса различных структур, по которым установлено, что при низких температурах фазовый переход происходит при давлении около 29 ГПа, что хорошо согласуется с экспериментальным значением [1,2]. Кроме этого, обнаружен обратный фазовый переход из ромбоэдрической в кубическую структуру, который имеет место при давлении 93 ГПа. Так же оценена фазовая диаграмма конденсированного UN в широком диапазоне температур и давлений, которая показала, что ромбоэдрическая структура может существовать в ограниченном диапазоне температур и давлений. Результаты расчетов сравниваются с доступными экспериментальными [1-2] и теоретическими [3-4] данными.

Литература.

1. T. Le Bihan, et al. New investigation of pressure-induced rhombohedral distortion of uranium nitride // Journal of Alloys and Compounds. 2003. V. 358. P. 120–125.

2. J. S. Olsen, et al. A New High- Pressure Phase of Uranium Nitride Studied By X-Ray Diffraction and Synchrotron Radiation // Journal of Applied Crystallography. 1985. V. 18. P. 37-41.

3. Z.-G. Mei, M. Stan. Pressure-induced phase transitions in UN: A density functional theory study // Journal of Alloys and Compounds. 2014. V. 588. P. 648–653.

4. P. Modak, A. K. Verma. First-principles investigation of electronic, vibrational, elastic, and structural properties of ThN and UN up to 100 GPa // Physical Review B. 2011. V. 84. 024108.

## **О применении текстурной информации в идентификации параметров моделей физических теорий пластичности**

Частоедов В.А., Кондратьев Н.С.

Научный руководитель – Трусов П.В.

ПНИПУ, г. Пермь

В настоящее время существует класс физических моделей неупругого деформирования, отличительной особенностью которых является двухуровневый подход к моделированию [1]. Такой подход позволяет описывать внутреннюю структуру материала, в том числе процессы текстурообразования. Неотъемлемой частью для создания таких моделей является процедура идентификации и верификации, где определяется адекватность разработанной модели при различных условиях нагружения. Как правило, для процедур идентификации и верификации моделей используют методы, которые производят сравнение результатов на макроуровне и качественного сопоставления текстурной информации в виде полюсных фигур. Подобные подходы вызывают множество вопросов, поскольку не учитывают внутренней структуры материала. Следует отметить, что в ходе численных экспериментов физических моделей определяется эволюция ориентаций кристаллитов, которую можно представить в виде полюсных фигур и применять в обозначенных процедурах. В настоящей работе предлагается применять полюсные фигуры, отражающие мезоструктуру материала, в процедуре идентификации для многоуровневых физических моделей. Предложив критерий

близости экспериментальных и модельных полюсных фигур, в дальнейшем можно ставить и решать оптимизационные задачи нахождения параметров модели.

Целью данной работы является построение, постановка и решение оптимизационных задач идентификации и верификации параметров физической многоуровневой модели неупругого деформирования, которые относятся к мезомасштабам, с использованием экспериментальных данных распределения ориентаций зерен поликристалла. Для решения поставленной задачи предлагается исследовать корреляцию спектрального состава исходных данных, перейдя от изображений полюсных фигур к соответствующим массивам данных. Такие массивы представляют собой двумерный массив, где номер элемента массива указывает на координаты в пространстве (на полюсной фигуре), а значение – вероятностная характеристика попадания направления кристаллита на выделенную площадку. Полученные данные обрабатываются вейвлет-преобразованием [2] с целью исследования частотно-временных характеристик сигнала, по которым строится корреляционная функция. Завершающим этапом работы является введение корреляционной меры.

В ходе исследования разработан алгоритм задачи сравнения двух прямых полюсных фигур. Проведены серии численных расчетов для модельных случаев самостоятельно заданных полюсных фигур. При генерировании ориентаций зерен использовались равномерный и нормальный законы распределений углов Эйлера. Показано, что результаты данной работы, а точнее полученный способ для сопоставления полюсных фигур, можно применять в физических моделях неупругого деформирования, с целью идентификации параметров модели ротации, описывающей текстуробразование.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№14-01-00069-а, №16-31-60002-мол-а-дк, №16-31-00215-мол-а).

Литература

1. Трусов П.В. Физические теории пластичности: учеб.пособие /П.В. Трусов, П.С. Волегов, Н.С. Кондратьев. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – 244 с.
2. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 464 с.

## **Численно-аналитическое моделирование упругих свойств VN нанотрубок**

Ченцов А.В., Лисовенко Д.С.

Научный руководитель – Гольдштейн Р.В.

ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, г. Москва

В современной механике важное место занимает создание материалов, имеющих наномасштабную структуру (наноматериалы) и композиционных материалов, наполненных нанообъектами. Необычные механические свойства наноматериалов оказывают сильное влияние на другие их физические характеристики, и потому привлекают большое внимание. В настоящее время синтезировано большое количество не только углеродных нанотрубок, но и неуглеродных неорганических нанотрубок со слоистой и неслоистой атомной

структурой. Среди них широко представлены нанотрубки из металл-дихалькогенидов, гексагонального нитрида бора и др.

Методы молекулярной механики, в частности, дискретно-континуальный подход, представляются эффективными для моделирования механического поведения атомных систем из нитрида бора, так как позволяют учитывать как ковалентные взаимодействия в монослоях, так и силы Ван-дер-Ваальса между слоями. Подобие углеродных и бор-нитридных систем отмечается и для потенциалов. Благодаря этому можно использовать потенциалы Морзе и Леннарда-Джонса (с учетом правила Лоренца-Бертло для описания взаимодействий между разнородными атомами). При малых деформациях ковалентные взаимодействия моделируются линейно-упругими стержнями. Для сравнения механического поведения слоев нитрида бора и графена построены дискретно-континуальные модели фрагмента монослоя и нанотрубок на его основе (получаемых сворачиванием). Для расчета эффективных упругих модулей толщина монослоя принималась равной межслойному расстоянию гексагонального нитрида бора (0.333 нм) и графита (0.34 нм), соответственно. Так, для углеродной нанотрубки типа зигзаг диаметром 1.57 нм эффективный модуль составил 1.2 ТПа, коэффициент Пуассона – 0.19. Для бор-нитридной нанотрубки типа зигзаг диаметром 1.59 нм эффективный модуль составил 1 ТПа, коэффициент Пуассона – 0.18.

Для теоретического описания упругих свойств BN нанотрубок использовалась модель полого стержня с цилиндрической анизотропией [1,2]. В результате численно-аналитического анализа построены зависимости модуля Юнга и коэффициентов Пуассона в зависимости от параметра толщины (отношения внешнего радиуса к внутреннему радиусу). Модуль Юнга для тонкостенных BN нанотрубок равен 775 ГПа и слабо увеличивается с увеличением параметра толщины. Коэффициенты Пуассона для тонкостенных BN нанотрубок принимают значения 0 и 0.21.

Сочетание дискретного и континуального моделирования востребовано в многомасштабных моделях при расчете методом конечных элементов.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских учёных – кандидатов наук МК-5891.2015.1.

Литература.

1. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. Мезомеханика многослойных углеродных нанотрубок и наночувств. Физическая мезомеханика, 2008, Т.11, N 6, С.25-42.

2. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. Модули Юнга и коэффициенты Пуассона криволинейно анизотропных гексагональных и ромбоэдрических нанотрубок. Нанотрубки-ауксетики. ДАН, 2013, Т.452, N 3, С.279-283.

## Моделирование массопереноса в слоистых материалах с учётом термодиффузии

Чепак-Гизбрехт М.В.

Научный руководитель – Князева А.Г.

НИ ТПУ, г. Томск

Многослойные материалы имеют широкое применение в промышленности. Технология изготовления таких материалов, как правило, включает несколько стадий, каждая из которых оказывает влияние на свойства конечного продукта. Так, например, при пайке локальный нагрев соединительного слоя и последующая диффузия компонентов в скрепляемые материалы в значительной степени будут определять свойства (теплоизоляционные, прочностные и др.) полученного многослойного материала. Для соединения материалов достаточно локального нагрева (что экономически более эффективно по сравнению с объемным нагревом), который можно осуществить с помощью электронного луча. Вместе с тем, быстрый локальный нагрев и остывание создают градиенты температур. В этом случае массоперенос компонентов может ускоряться (или замедляться) вследствие диффузии под действием градиента температуры. В этом случае внутри соединяемых поверхностей вблизи зоны соединения материалов может образоваться переходная зона с перенасыщенным (или обедненным) слоем, которая будет влиять на свойства изделия.

Для исследования влияния градиента температуры на массоперенос в слоистом материале представлена математическая модель. Предполагается, что два материала (например, пластины), соединяются с использованием отличного от них по составу промежуточного слоя. В соответствии с технологическими условиями, температура соединительного слоя выше температуры соединяемых материалов. Вследствие разницы температур в слоях в зоне соединения проявляется диффузия. Также предполагается, что вследствие градиента температур на начальном этапе возможна термодиффузия, которая приводит к неоднородному распределению диффундирующих компонентов.

Математическая модель включает уравнения теплопроводности и диффузии с учетом термодиффузии для каждого из слоев, а также начальные и граничные условия. Предполагается, что в начальный момент времени температуры и состав всех материалов известны. Поскольку зона прогрева много меньше размеров образца (локальный прогрев), задача решена для полубесконечных областей с переходным слоем конечной толщины между ними. Таким образом, на бесконечном удалении от зон прогрева и диффузии стоки тепла и массы отсутствуют. На границах между соединяемыми материалами и соединительным слоем проявляются условия идеального теплового и диффузионного контакта.

Решение задачи теплопроводности известно [1] и используется для решения термодиффузионной задачи. Решение термодиффузионной задачи получено аналитически с помощью интегральных преобразований Лапласа и асимптотических разложений решения в пространстве изображений в бесконечные быстросходящиеся ряды.

Анализ модели говорит о том, что при определенных условиях вблизи соединительного слоя вследствие термодиффузии могут появляться обедненные

(или перенасыщенные) области. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации технологических параметров.

Литература.

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности: учебное пособие для вузов / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.

## **Трехуровневая модель для описания неустойчивого пластического течения**

Чечулина Е.А.

Научный руководитель – Трусов П.В.

ПНИПУ, г. Пермь

В последние годы наблюдается возрастающий интерес к изучению эффекта Портевена – Ле Шателье (ПЛШ). Деформирование в режиме прерывистой пластичности, особенно на заключительных стадиях технологических процессов обработки металлов давлением, ведет к существенному ухудшению качества поверхности (шероховатости), что, в свою очередь, снижает усталостную прочность и аэродинамические характеристики изделий.

Большинство исследователей причину неустойчивости пластического деформирования, которая на диаграммах «воздействие – отклик» проявляется в виде немонотонных кривых зависимости отклика при монотонно изменяющихся воздействиях, связывают с процессами диффузии и взаимодействием дислокаций с примесными атомами.

В работе предлагается трехуровневая математическая модель, предназначенная для описания эффекта Портевена – Ле Шателье в поликристаллических материалах при термомеханическом нагружении. При построении модели применен многоуровневый подход, основанный на использовании в ее структуре внутренних переменных – параметров, характеризующих состояние и эволюцию мезо- и микроструктуры материала [1].

В соответствии с известными данными о структуре и механизмах деформирования в рассмотрение вводятся три масштабных уровня: макроуровень – уровень представительного объема макромасштаба, мезоуровень I – уровень отдельного кристаллита и мезоуровень II – уровень «субкристаллита» (субзерна, фрагмента).

На каждом уровне используются несимметричные меры деформаций и скоростей деформаций [2]. Связь родственных переменных осуществляется с помощью условий согласования определяющих соотношений. Для перехода от микроскопического описания пластического течения к мезоскопическому применяется соотношение, полученное на основе уравнения Орована.

Описание дислокационной структуры основано на введении однородных плотностей дислокаций на каждой системе скольжения и эволюционных уравнений, описывающих механизмы их зарождения и аннигиляции. Эволюционные уравнения для плотностей мобильных и иммобильных дислокаций введены для мезоуровня II. Для учета взаимодействия дислокаций с соседними зернами вводятся положительные и отрицательные дислокации на каждой системе скольжения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 16-31-00215 мол\_а.  
Литература.

1. Трусов П.В., Швейкин А.И. Теория определяющих соотношений. Ч.2. Теория пластичности. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 243 с.
2. Трусов П.В., Нечаева Е.С., Швейкин А.И. Применение несимметричных мер напряженного и деформированного состояния при построении многоуровневых конститутивных моделей материалов// Физическая мезомеханика. – Томск: ИФПМ СО РАН, 2013. – Т. 16, №2. – С. 15-31.

## **О влиянии коэффициента асимметрии цикла внешней нагрузки на характеристики цикла нагружения материала в окрестности вершины трещиновидного дефекта**

Шакиртов М.М.

Научный руководитель – Шабанов А.П.

СибГУПС, г. Новосибирск

Развитие усталостной трещины определяется характеристиками цикла нагружения. Предел выносливости материала существенно зависит от коэффициента асимметрии внешней нагрузки: при симметричном цикле он значительно ниже, чем при пульсирующем при одинаковых амплитудных напряжениях. Усталостные явления определяются напряжённо-деформированным состоянием в окрестности вершины выреза, где материал также испытывает циклическое нагружение со стороны окружающего материала, работающего упруго.

В настоящей работе анализируется связь характеристик цикла внешней нагрузки и цикла нагружения области, примыкающей к вершине усталостного дефекта.

Исследуется циклическое нагружение плоского образца, выполненного из циклически упрочняющегося материала и имеющего центральный трещиновидный вырез. Рассматриваются циклы внешней нагрузки с коэффициентами асимметрии от 0 до 0,9. Задача решается методом конечных элементов в двумерной постановке для случая ПНС. Проведена верификация используемой конечноэлементной модели. Подтверждено, что созданная модель трещиновидного дефекта позволяет производить упругопластические расчёты с достаточной точностью.

Для циклов с различными значениями коэффициентов асимметрии зафиксированы напряжения в вершине трещиновидного дефекта при максимальных минимальных уровнях внешней нагрузки. Отслежено изменение напряжённого состояния при вершине при наработке циклов внешней нагрузки. Установлено принципиальное изменение характера циклических напряжений в области при вершине трещиновидного дефекта вследствие наступления обратной пластичности.

Найдено, что при любом коэффициенте асимметрии внешней нагрузки в материале, примыкающем к вершине трещиновидного дефекта, реализуется симметричный цикл нагружения с возрастающей от цикла к циклу амплитудой. Скорость нарастания амплитуды тем меньше, чем ближе значение коэффициента асимметрии внешней нагрузки к единице. При его значении,



близком к единице, обратная пластичность исчезает и при вершине реализуется несимметричный цикл с постоянной амплитудой.

### **Моделирование деформационного поведения монокристаллов титана в рамках физической теории пластичности**

Шахиджанов В.С.<sup>1</sup>, Шахиджанова Н.О.<sup>1</sup>  
Научный руководитель – Романова В.А.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>НИ ТГУ, <sup>2</sup>ИФПМ СО РАН, г. Томск

Прогнозирование поведения материалов в условиях нагружения является очень важным для оценки надежности и прочности материалов и конструкций, а также при их разработке и проектировании. Поэтому важным является исследование механизмов упругой и пластической деформации на разных масштабных уровнях.

Целью данной работы является разработка численной модели упруго-пластического поведения ГПУ кристаллов титана на основе физической теории пластичности в квазистатической постановке.

Обсуждается модель физической теории пластичности на примере монокристаллов титана. Разработана процедура пользователя VUMAT, и показано, что решение согласуется с решением в рамках встроенной модели ABAQUS, а также с аналитическими оценками скоростей распространения упругих волн в монокристаллах титана с различной ориентацией. Выбраны несколько показательных случаев кристаллографических ориентаций, чтобы проанализировать распределение пластических деформаций на разных плоскостях скольжения.

Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда № 13-01-00114-а.

### **Изменение модуля Юнга металлических наночастиц при разных типах нагрузки**

Шушков А.А.  
Научный руководитель – Вахрушев А.В.  
ИМ УрО РАН, г. Ижевск

Механические характеристики нанообъектов (нанотрубок, наночастиц) изменяются на порядок с изменением характерного размера, формы, структуры. Огромный интерес к их исследованию появился в связи с созданием нанокomпозиционных материалов и оптимизацией их характеристик, которые определяются на основе свойств наноэлементов, входящих в их состав.

Ценность исследования состоит в том, что оно связано с расчетом зависимости модуля Юнга от размера и формы наночастиц, что позволит обеспечить производство нанокomпозитов с заданными, требуемыми упругими свойствами. Наличие такой зависимости существенно снижает объём производимых экспериментальных исследований за счёт получения информации об упругих характеристиках наночастиц.

Поэтому необходимы исследования в направлении создания методик и способов определения упругих характеристик наночастиц разных размеров, форм и структуры.

Разработаны методики и получены расчетные зависимости модуля Юнга от радиуса шарообразных наночастиц металлов: цинка, цезия, магния, калия, кальция. Обнаружено, что модуль Юнга увеличивается при уменьшении размера наночастиц. Тенденция увеличения модуля Юнга у металлов не одинакова. Относительный модуль Юнга цинка увеличивается более чем в 7 раз, а модуль Юнга калия только в 2.5 раза. Получены расчетные зависимости модуля Юнга от радиуса шарообразных наночастиц, нагруженных равномерно распределенным по поверхности гидростатическим давлением. Выявлено, что модуль Юнга остается постоянным при уменьшении размера наночастиц. Значения модуля Юнга, полученные из расчета частиц нагруженных сосредоточенными растягивающими силами и равномерно распределенной по поверхности нагрузкой, для наночастиц с числом атомов меньшим, чем 5000 при любом значении коэффициента Пуассона не совпадают. Для больших наночастиц исследуемых металлов при определенных значениях модуля Юнга и коэффициента Пуассона получено совпадение искоемых упругих параметров.

Проведен расчет нагружения внешним всесторонним (гидростатическим) давлением кубических гранцентрированных наночастиц платины, с размерами от 12 до 50 ангстрем. Рассчитаны зависимости модуля Юнга, относительного изменения объема от давления, числа атомов системы. Модуль Юнга от числа атомов в системе для постоянного гидростатического давления увеличивается и стремится к постоянному значению.

Таким образом, проведены комплексные исследования по изучению модуля Юнга наночастиц металлов разных размеров и формы (сферической, кубической), при двух типах внешней нагрузки: сосредоточенными осевыми силами, приложенными к противоположным концам диаметра, гидростатическим давлением. Результаты расчетов показывают, что упругие характеристики наночастиц зависят как от размера и формы наночастиц, так и от вида напряженного состояния.

### **Дизайн биодеградируемых кардиоваскулярных стентов из полилактида с ауксетическими свойствами**

Шушпанников П.С., Ченцов А.В., Лисовенко Д.С.

Научный руководитель – Гольдштейн Р.В.

ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, г. Москва

В мировой медицинской практике широко применяется коронарное стентирование. Стенты используются как каркасные устройства, поддерживающие просвет в сосудах после проведенной операции. Стандартными стали металлические стенты, но повторное стентирование пациентов создает протяженные металлические конструкции, что может затруднять проведение последующих необходимых хирургических вмешательств. Кроме того, металлические стенты создают артефакты для современных методик визуализации, таких как магнито-резонансная томография и мультиспиральная рентгеновская компьютерная томография.

Биодеградируемые стенты после полного растворения оставляют после себя только расширенный просвет сосуда позволяя сосуду самостоятельно восстановиться. При этом, полимерные стенты имеют потенциал по доставке лекарственных средств.

Очевидно, что упругие и пластические свойства металла и полимеров у стентов сильно отличаются. Таким образом, для биодеградируемых полимерных стентов необходим оригинальный дизайн, компенсирующий различия свойств, однако сохраняющий рабочие характеристики жёсткости и упругой отдачи. Полимеры поли-L-молочной кислоты в сочетании с различными добавками хорошо зарекомендовали себя в стентировании.

Дизайн стента напрямую влияет на проходимость стента на системе доставки. В этом процессе значительная длина стента (10-20 мм) осложняет прохождение изгибов. Увеличивается трение и усилие проталкивания.

Применение особого дизайна стента с ауксетическими свойствами (конструкции с отрицательным коэффициентом Пуассона) позволит использовать при доставке стенты меньшей длины по сравнению с конечной длиной стента в раскрытом состоянии.

Известны разработки расширяемых трубчатых протезов, использующих свойства ауксетичности в своей конструкции, которые применяются для протезирования пищевода человека. В указанных конструкциях имеются надрезы с острыми концентраторами, что делает невозможным применение этих дизайнов для кровеносных сосудов небольших диаметров.

Нами разработан вариант дизайна кардиоваскулярных стентов из полилактида с ауксетическими свойствами. Основные элементы структуры при этом выбраны близкими к дизайну распространенных синусоидальных структур полимерных стентов. Размеры страт и округлых частей в основном определяются толщиной исходной трубки (около 0.2 мм), из которой будет производиться лазерная резка, так, что сечение страт будет близко к прямоугольному. Проведена предварительная оценка деформирования ауксетического стента на стержневой модели.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №15-31-70005 мол\_a\_мос.

## **Механика в технологии производства современных интегральных схем. Трёхмерные интегральные схемы**

Шушпанников П.С.

Научный руководитель – Гольдштейн Р.В.

ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, г. Москва

В 1965 году Гордон Мур, ставший в 1968 году со-основателем фирмы Intel, обратил внимание на то, что число транзисторов, размещаемых на интегральных схемах (далее ИС), изобретённых незадолго до этого, удваивается каждые два года. Он предположил, что подобная тенденция, названная впоследствии «законом Мура», будет иметь место и в следующее за 1965 годом десятилетие. Удивительно, что до недавнего времени развитие микро- и нанoeлектроники следовало эмпирическому «закону Мура». Более того, можно сказать, что «закон Мура» выступал в роли движущей силы, мотивируя крупные компании следовать заданному почти полвека назад темпу.

Во времена Гордона Мура число транзисторов, размещаемых на интегральных схемах, исчислялось сотнями, при этом характерные размеры транзисторов измерялись микронами. Коммерчески доступные в настоящее время микропроцессоры содержат миллиарды транзисторов и изготавливаются по 14 нм технологическим нормам.

Указанный прогресс в развитии микро- наноэлектроники оказался достижим благодаря ряду технологий, внедрявшихся последовательно по мере уменьшения размеров транзисторов, являющихся основным базовым элементом большинства ИС.

Одной из таких технологий является технология «напряжённого кремния», основанная на фундаментальном явлении, связанном с изменением зонной структуры полупроводниковых материалов (в частности, кремния) при его механическом деформировании. Изменение зонной структуры материала приводит, в свою очередь, к изменению транспортных свойств носителей заряда в нём. Использование технологии «напряжённого кремния» позволило существенно улучшить функциональные свойства транзисторов, продлив тем самым эпоху «закона Мура».

В настоящей работе представлен краткий обзор современного состояния технологии «напряжённого кремния». При этом основное внимание уделено описанию причин возникновения напряжённо-деформированного состояния (далее НДС) в ИС и, в частности, транзисторах, а также описанию способов управления этим НДС.

С целью увеличения степени интеграции в ближайшее десятилетие планируется последовательный переход на 10-нм, 7-нм и 5-нм технологические нормы. Возможность дальнейшего уменьшения технологических норм ставится под сомнение, вследствие существующих физических ограничений и технологических сложностей, возникающих на разных этапах изготовления таких ИС.

В качестве перспективного рассматривается альтернативный подход, связанный с изготовлением трёхмерных ИС, состоящих из нескольких двумерных ИС, уложенных в вертикальном направлении и электрически соединённых интегрированными в кристалл межкристалльными межсоединениями (англ. through-silicon-via, далее TSV). TSV имеют цилиндрическую форму и изготавливаются из меди. Коэффициент температурного расширения (далее КТР) меди существенно отличается от КТР окружающей TSV кремниевой матрицы. В процессе изготовления и эксплуатации температура ИС изменяется в широких пределах, что приводит к возникновению внутри и в окрестности TSV НДС, влияющего как на функциональные свойства транзисторов, так и на долговечность TSV. В настоящей работе представлено новое решение термоупругой задачи о НДС в окрестности TSV. Полученное решение использовано для определения способов размещения транзисторов в окрестности TSV, оптимальных с точки зрения их функциональных свойств.

## Расчётное прогнозирование остаточных напряжений в сборках, полученных способом горячей посадки

Щербатюк Г.А.<sup>1</sup>, Ткачева А.В.<sup>2</sup>

Научный руководитель – Буренин А.А.

<sup>1</sup> КнГТУ, <sup>2</sup> ИМиМ ДВО РАН, г. Комсомольск-на-Амуре

Исследование в области технологии горячей посадки ведутся, начиная с середины прошлого века [1,2]. Горячая посадка не требует сварки и склейки деталей, а основывается лишь на температурном расширении. Она заключается в том, что соединяемые детали, имеющим обычно цилиндрическую форму, до момента посадки предают различную температуру, а после их соединяют. Например, для того, чтобы получить прочное соединение цилиндров, больший цилиндр нагревают и насаживают на меньший цилиндр. Но когда невозможно произвести нагрев детали из-за ее большой формы, то в этих случаях охлаждают при помощи ванны азота меньшую соединяемую деталь и помещают внутрь большей, что так же приводит к прочному соединению. Расчет прочности соединения и является основной задачей инженеров.

Математическое моделирование данного технологического процесса проводилось на примере посадки муфты на вал с использованием теории температурных напряжений и теории пластического течения. Поскольку физические характеристики металлов зависят от температуры, то принималось квадратичная зависимость предела текучести от температуры. В качестве критерия наступления пластического течения были выбраны условие Треска и условие Ишлинского – Ивлева [1].

В работе [2] было показано, что при использовании условия пластического течения Треска, пластическое течение возникает и развивается в материале муфты у поверхности контента, при этом при достаточно высоких температурах нагрева муфты возможно повторное пластическое течение материала муфты.

При выборе условия Ишлинского – Ивлева [1] на границе контакта как в материале вала, так и в материале муфты будет проходить пластическое течение. По мере остывания у свободной поверхности муфты, зародится пластически деформируемая область материала. Радиальные напряжения, обеспечивающие натяг, на границе контакта при условии Ишлинского – Ивлева в два раза меньше чем при условии Треска.

Литература.

1. D. R. Bland *Elastoplastic Thick-Walled Tubes of Work-Hardening Material Subject to Internal and External Pressures and to Temperature Gradients. Journal of the Mechanics and Physics of Solids. Vol. 4. 1956. pp. 209–229.* Течения и теплообмен в каналах и вращающихся полостях. – М.: Физматлит, 2010. – 488 с.

2. O'rean Y., Gamer U. *Elastic-plastic deformation of a centrally heated cylinder Acta Mechanica Vol. 90. 1991. pp. 61–80.*

3. Бьковцев Г. И., Ивлев Д. Д. *Теория пластичности Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 528.*

4. Дац Е.П., Петров М. Р., Ткачева А.В. *Кусочно–линейные пластические потенциалы в задачах теории температурных напряжений о сборке горячей посадкой // Вестник Чувашского государственного педагогического*

## **Оценка повреждаемости при деформировании стрингерных конструкций в условиях кратковременной ползучести**

Яковлев С.С., Леонова Е.В.

Научный руководитель – Ларин С.Н.

ТулГУ, г. Тула

В корпусных конструкциях летательных аппаратов, как правило, применяют стрингерные радиаторные панели сплавов титана и алюминия. Конструктивно радиаторная панель представляет собой два листа, соединенных без зазора, имеющих каналы в целях циркуляции теплоносителя. Профиль сечения канала может иметь определенную геометрию - круглую либо прямоугольную, а сам канал может быть одно- или двухсторонним. Технологический процесс производства таких панелей сводится к проведению на одной позиции обработки процессов, состоящих из последовательно выполняемых операций диффузионной сварки давлением газа двух листов и горячего формообразования каналов газом, подаваемым между листами.

В данной работе рассмотрен процесс свободного деформирования узкой прямоугольной мембраны и формообразование угловых элементов конструкции с неравномерным изменением толщины стенки из анизотропного листового материала в условиях кратковременной ползучести. Под кратковременной ползучестью понимается медленное деформирование в условиях вязкого или вязкопластического течения, упругими составляющими деформации пренебрегаем. Принималось, что главные оси напряжений совпадают с главными осями анизотропии. Предполагается, что деформирование осуществляется в режиме кратковременной ползучести. Длина мембраны значительно превосходит ее ширину, поэтому можно считать, что реализуется случай плоской деформации.

Материал принимался ортотропным. Направление длинных сторон заготовки совпадает с направлением прокатки.

Считаем, что если величина эквивалентного напряжения меньше некоторой величины, соответствующей эквивалентной остаточной степени деформации 0,2 % при эквивалентной скорости деформации 0,02 1/с, то процесс деформирования будет протекать в условиях вязкого течения материала, и материал будет подчиняться кинетическим уравнениям ползучести и повреждаемости.

Произведен анализ процесса изотермического свободного формоизменения узкой прямоугольной листовой заготовки по результатам которого было установлено влияние анизотропии механических свойств исходного материала, геометрических размеров заготовки на напряженное и деформированное состояния, закона нагружения, геометрические размеры изделия, кинематику течения материала и предельные возможности исследуемого процесса изотермической пневмоформовки в режиме кратковременной ползучести, связанные с накоплением микроповреждений и локальной потерей устойчивости заготовки.

Сопоставление теоретических и экспериментальных данных указывает на их удовлетворительное согласование (до 10%).

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания №2014/227 на выполнение научно-исследовательских работ Министерства образования и науки Российской Федерации на 2014-2020 годы и гранта РФФИ № 16-08-00020.

## СЕКЦИЯ № 5. Механика космического полёта

Руководители секции: д.т.н., профессор Иванов В.А.,  
к.т.н., доцент Купреев С.А.

---

### **Анализ возможности реализации тросовой системой функции тормозного устройства на круговых и эллиптических орбитах**

Гореленков Д.П., Соколов Н.А.  
Научный руководитель – Купреев С.А.  
МАИ, г. Москва

В последние десятилетия за счет миниатюризации структурных электронных компонентов, бортовых служебных систем, совершенствования конструктивного исполнения, расширения диапазонов используемых режимов и применения новых конструктивных материалов появилась возможность использовать наноспутники (НС) для решения научных и практических задач. Вместе с этим актуальной становится задача сведения их с орбиты после выполнения программы полета с последующей их ликвидации в плотных слоях атмосферы. Для этой цели было предложено использовать НС в составе антенно-тормозного устройства (АТУ). Это устройство представляет собой ТС, базовым объектом которой является НС. Вторым концевым объектом служит противовес усиливающий эффект гравитационной стабилизации ТС. Соединительный трос значительно увеличивает общее аэродинамическое сопротивление ТС и играет роль аэродинамического тормоза, а также может выполнять функции антенны.

В данной работе проводятся исследования по разработке методов расчета основных проектных параметров ТС (длина связки, режимы относительного движения), развернутой на базе НС и реализующей функции АТУ на круговых и эллиптических орбитах. Даются рекомендации по перспективным направлениям использования ТС на круговых (околокруговых) и эллиптических орбитах с разными значениями эксцентриситета (в том числе и в качестве АТУ).

Для этого в работе решены следующие задачи и даны рекомендации:

- Разработана методика и проведено исследование, результаты которого подтверждают перспективность применения АТУ для осуществления снижения НС с орбиты функционирования с последующей их ликвидацией в плотных слоях атмосферы. Наиболее перспективным для свода наноспутников с круговых орбит является применение равновесного стационарного режима движения АТУ, а для спуска с эллиптических орбит целесообразно применять режим малых колебаний. Развертывание АТУ для реализации указанных режимов без схода системы со связи на высотах 160 – 180 км следует проводить с размещением более легкого объекта (вернее, с большим баллистическим коэффициентом) вниз. Для всех вариантов проектного облика АТУ при снижении формы равновесия ТС близки к прямолинейным.
- Проведено исследование влияния длины ТС на снижение НС. Для уменьшения времени существования НС с АТУ на орбите следует использовать более длинные ТС, т.е. с большим значением баллистического



коэффициента. С целью достижения высот спуска 130 – 150 км при которых АТУ переходит в горизонтальное положение и минимизирует эффект перехода одного из концевых объектов связи на более высокую орбиту следует применять материалы при изготовлении троса способные выдерживать тепловые нагрузки на указанных высотах снижения.

- Проведен анализ движения концевых объектов при разрыве связи. В случае нештатного перехода АТУ в режим аэродинамической раскрутки вокруг своего центра масс следует как можно быстрее расцепить ТС с целью недопущения опасных для других космических объектов перехода одного из объектов связи на более высокую орбиту.

Создание АТУ представляется одним из наиболее востребованных проектов использования орбитальных ТС. Реализация такого проекта с использованием малых спутников видится наиболее дешевым и быстрым способом достижения цели.

### **Особенности функционирования космических тросовых систем в качестве антенно-тормозного устройства на эллиптических орбитах**

Зинин Ф.А.

Научный руководитель – Купреев С.А.

МАИ, г. Москва

При рассмотрении функционирования систем наноспутников (НС) актуальной становится задача сведения их с орбиты после выполнения программы полета с последующей их ликвидацией в плотных слоях атмосферы. Известны технические решения для использования НС в составе антенно-тормозного устройства (АТУ) [1]. Это устройство представляет собой тросовую систему, базовым объектом которой является НС, а концевым объектом служит противовес, усиливающий эффект гравитационной стабилизации торосовой системы. Соединительный трос значительно увеличивает общее аэродинамическое сопротивление ТС и играет роль аэродинамического тормоза, а также может выполнять функции антенны.

Существующие проекты использования НС в составе антенно-тормозного устройства подразумевают функционирование таких систем на круговых орбитах [2]; в данной работе предлагаются основы методов расчета основных проектных параметров тросовой системы (длина связи, режимы относительного движения и др.), развернутой на базе НС и реализующей функции АТУ как на круговых, так и на эллиптических орбитах.

Для этого в работе решены следующие задачи:

- Разработаны математические модели компланарного неуправляемого движения связанных объектов на круговых и эллиптических орбитах, которые учитывают влияние массы троса на динамику связи.

- С помощью теории бифуркаций проведен анализ динамических характеристик движения связанных объектов при фиксированной длине троса на круговых и эллиптических орбитах; определены все бифуркации изучаемых систем и бифуркационные значения параметров, определяющих особенности функционирования АТУ на эллиптических орбитах.

- Расчетным путем установлены основные проектные параметры орбитальных ТС для реализации функций АТУ на круговых и эллиптических орбитах в условиях движения системы при натянутом соединительном тросе, а также параметры абсолютного движения НС на эллиптических орбитах при различных режимах движения АТУ до входа в плотные слои атмосферы.

В результате исследования определены возможные режимы относительного движения связанных объектов, выполняющих функции антенно-тормозного устройства. На круговых орбитах это равновесный стационарный режим, режим колебаний АТУ относительно вертикального положения равновесия, режим вращения АТУ вокруг центра масс. На эллиптических орбитах для эксцентриситета не более 0,75: режим колебаний АТУ относительно вертикального положения, режим вращения АТУ вокруг центра масс.

Библиографический список.

1. Иванов В.А., Купреев С.А., Ручинский В.С. Орбитальное функционирование связанных космических объектов: учеб. пособие. - М.: ИНФРА-М, 2014. – 320 с.

2. Купреев С.А. Операции транспортного обслуживания космических объектов на круговых и эллиптических орбитах с использованием тросовых систем / «Авиакосмическая техника и технология». М., - 2013. №4 (72) С. 26-30.

## **Способы защиты спутников от космического мусора**

Лукашов А.А.

Научный руководитель – Купреев С.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время в околоземном космическом пространстве около 100 миллионов частиц космического мусора величиной меньше одного сантиметра в поперечнике, 500 тысяч частиц размером от 1 до 10 см и 21 тысяча частиц больше 10 см в диаметре. Космический мусор представляет опасность для работающих спутников и орбитальных пилотируемых станций.

Рассматриваются следующие способы защиты КА от космического мусора:

- покрытие объектов специальным материалом, который затягивается после небольших повреждений;
- установка специальных защитных экранов;
- уклонение от космического мусора, которое предполагает маневрирование КА при помощи двигательной установки (ДУ);
- активное воздействие на космический мусор с целью изменения его опасной траектории движения;
- уничтожение космического мусора;
- сбор космического мусора.

В зависимости от размеров и потенциальной опасности приближающегося элемента космического мусора принимается решение либо об уклонении, или о его захвате, или переводе на другую траекторию, или уничтожения.

Причем задача уклонения от космического мусора может быть успешно решена за счет применения технологий космических тросовых систем (ТС). Например, для орбитальных станций, состоящих из двух и более сегментов, разделение их на два блока, соединенных тросом, которые в заранее

рассчитанный момент времени расталкиваются в противоположных направлениях и разводятся от первоначальной орбиты на безопасные расстояния. Затем с помощью троса по определенному закону происходит опять сближение двух блоков с их стыковкой на первоначальной орбите. Применение ТС позволяет значительно уменьшить энергетические затраты по сравнению с обычным маневром перехода станции на другую орбиту, с последующим возвращением на прежнюю орбиту.

Крупные объекты космического мусора можно собирать и утилизировать с помощью спутников-уборщиков оснащенных оборудованием захвата и траления космического мусора, которые в свою очередь будут осуществлять маневрирование по орбитам с помощью ДУ или ТС.

Способ по удалению мелких соринки заключается с использованием аэрогеля. Попадая в такое вещество, мельчайшие частицы заполняют пористую поверхность и оседают в пластине. Заполненные пластины возвращаются на Землю для утилизации.

Для размещения объемных аэрогельных ловушек на удалении от спутника-уборщика могут также быть применены технологии ТС. После сбора космического мусора в окрестности орбиты спутника-уборщика, при помощи ТС можно осуществлять перевод космического мусора на орбиты спуска. При этом спутник-уборщик получает дополнительный импульс для перехода на более высокую орбиту.

Таким образом, рассмотренные способы защиты КА от космического мусора могут быть использованы при проектировании космической техники обеспечивающей безопасность космических полетов, а для повышения эффективности этой техники особое значение имеет применение технологии ТС.

## **Ориентация спутника посредством токовых катушек.**

### **Плоская задача**

Мухаметшин Р.М.

Научный руководитель – Пеньков В.И.

МАИ, г. Москва

Исполнительные органы (двигатели-маховики, гиродины, спарки гиродинов, шаровые маховики...), непрерывно обеспечивающие заданную ориентацию спутника, как известно, под действием возмущающих моментов раскручиваются до предельно допустимых скоростей (приходят в «насыщение»).

Для спутников с коротким временем функционирования для «сброса» накопленного исполнительными органами кинетического момента обычно используются газореактивные системы, работающие, например, на сжатом газе. На спутниках с продолжительным временем функционирования с этой целью выгодно использовать токовые катушки (часто с сердечниками). Магнитные моменты катушек во взаимодействии с магнитным полем Земли при надлежащем управлении токами позволяют уменьшить накопленный кинетический момент и вернуть исполнительные органы в рабочее состояние. В этом аспекте можно говорить о вспомогательной роли токовых катушек.

Попытки отказаться от маховиков и возложить на магнитную систему непрерывное управление ориентацией упирались в отсутствие алгоритма

управления токами в катушках. Основная трудность построения закона управления кроется в неполной локальной (мгновенной) управляемости. С помощью магнитного момента, создаваемого катушками, можно получить механический момент, действующий на спутник. Однако этот момент всегда перпендикулярен вектору силовой линии магнитного поля Земли. Компонента вдоль вектора индукции  $V_{\text{поля}}$  Земли равна нулю.

Сравнительно недавно (2011-2012 гг.) в Институте прикладной математики за рубежом найдено управление, обеспечивающее при численном моделировании трехосную ориентацию как в абсолютных, так и в орбитальных системах координат. Американско-японо-израильской группой ученых проведен успешный, по утверждению авторов, летный эксперимент с подобным управлением. К сожалению, эксперимент был не вполне чистым, поскольку на спутнике имелся один маховик и к результату надо относиться с осторожностью.

Алгоритм управления имеет недостатки. Основной недостаток – малость восстанавливающего момента и, как следствие, повешенная реакция на внешние возмущения. Кроме того, для оптимизации параметров управления по быстродействию и точности требуется значительный объем вычислений, базирующихся на теории Флоке.

В настоящий момент разрабатываются и другие алгоритмы управления. Один из них предполагает, что на борту имеется ЭВМ с возможностями среднего бытового компьютера и решение о включении токов принимается методом перебора вариантов. Это требует многократного решения динамических уравнений Эйлера.

Для сокращения затрат машинного времени при удержании спутника в малой окрестности требуемого положения можно воспользоваться линейными дифференциальными уравнениями.

В данном исследовании разработан алгоритм управления положением спутника в плоскости орбиты на основе подобного подхода. Управление обеспечивает переход спутника из произвольного положения в заданное за конечный промежуток времени. Иными словами, управление обеспечивает переход из произвольной точки на фазовой плоскости в ноль. Ввиду неоднозначности управления был проведен анализ управлений по быстродействию и точности с учетом ограниченности управляющих моментов.

## **Параметры движения тросовой системы в космосе при выполнении операций контроля и транспортного обслуживания космических объектов**

Павлович Д.Д.

Научный руководитель – Иванов В.А.

МАИ, г. Москва

Космической тросовой системой называют систему искусственных космических объектов (спутников, грузов и т.д.), соединенных гибкими протяженными элементами, которая совершает орбитальный полет. В наиболее простом и в то же время практичном виде связка будет состоять из двух объектов: базового объекта, который является основным (в качестве которого наиболее часто рассматривается орбитальная станция) и привязного объекта,

который решает целевую задачу. Решение вопросов практического применения тросовых систем основано на исследовании динамики связанных объектов. К одному из многочисленных замечательных свойств этих систем относится возможность изменения конфигурации связки путем выпуска или втягивания троса. В результате, появляется возможность регулировать скорость, ориентацию и взаимное положение соединенных тросом (нитью, кабелем и т.д.) космических объектов, а также зацеплять/расцеплять небесные тела и перемещать груз от одних спутников к другим.

В работе предполагается, что операции контроля и транспортного обслуживания космических объектов происходят с фиксированной длиной соединительного троса. По характеру относительного движения связанных объектов различаются операции из равновесного стационарного режима, из режима колебаний относительно местной вертикали, а также из режима вращения связки вокруг центра масс. В равновесном вертикальном режиме движения связки параметры заданных орбит в результате выполнения этих операций будут зависеть от высоты орбиты центра масс системы, длины соединительного троса и от соотношения масс связанных объектов. Для орбитальных операций из режима колебаний вращения связки вокруг центра масс параметры новых орбит будут еще зависеть соответственно от амплитуды колебаний и угловой скорости вращения связки вокруг общего центра, а также от углового положения связки в момент расцепления. В работе теоретически доказано, что применение режима колебания и вращения значительно расширяет эффективность рассматриваемых орбитальных операций. Преимущество по сравнению с равновесным стационарным режимом движения связки заключается в изменении абсолютной скорости привязного объекта, что имеет существенное значение так как во многих случаях целесообразно выполнять операции контроля и транспортного обслуживания космических аппаратов при нулевой относительной скорости. Для этого в работе показана методика определения значений угловой скорости и амплитуды колебаний связки, которые обеспечивают в момент прохождения связкой вертикального положения равенство абсолютных скоростей привязного объекта и обслуживаемого космического аппарата.

Автор работы рассматривает выполнение операций контроля и транспортных операции между почти круговыми орбитами, а также когда разность высот орбит обслуживаемого космического аппарата и орбитальной станции не превышает располагаемой длины соединительного троса. В этом случае, необходимая длина развернутой системы может быть найдена из начальных условий.

Результаты расчетов параметров движения связанных объектов при выполнении операций контроля и транспортных операций из указанных выше режимов движения связки приведены в виде таблиц. Все эти результаты позволяют выделить некоторые преимущественные особенности тросовых систем при выполнении операций контроля и транспортного обслуживания космических объектов в космосе.

## **Динамика орбитального функционирования связанных космических объектов при постоянной угловой скорости линии визирования**

Расулова Ф.М.

Научный руководитель – Иванов В.А.

МАИ, г. Москва

Первая космическая тросовая система (ТС) была описана более 100 лет назад, в 1895 году К.Э. Циолковским в работе «Грезы о Земле и небе». Там была высказана идея о создании искусственной тяжести на космическом корабле, соединенным цепью с противовесом равной массы и приведенным во вращение вокруг общего центра масс (ЦМ). В дальнейшем эта идея получила широкое развитие. Многими авторами была показана перспективность применения ТС для решения многих практических задач.

Космические ТС в настоящее время рассматриваются, в качестве одного из перспективных направлений развития космической техники. Для разработки теории практики применения ТС необходимо было разработать комплекс математических моделей динамики движения гибко связанных космических объектов. Вместе с тем, ранее при решении той или иной задачи каждый из авторов разрабатывал свою математическую модель движения ТС. Это существенно затрудняет получить общее представление о возможностях ТС для решения широкого круга научных и практических задач с использованием различных режимов управляемого движения и параметров движения обслуживаемых космических объектов.

Для решения этой проблемы в данной работе рассмотрены достаточно общие модели динамики ТС, функционирующих на круговых орбитах, и модели с функционированием ТС на эллиптических орбитах. В том и другом случае рассматривается управляемое движение связанных объектов. Ранее в других работах рассматривались, в основном, модели неуправляемого движения ТС и на круговых орбитах.

В работе показано применение разработанных математических моделей для реализации режима вращения ТС вокруг центра масс при постоянной угловой скорости линии визирования. Поддержание постоянной угловой скорости вращения ТС достигается за счёт регулирования длины троса по определённому закону. Разработаны аналитические зависимости, определяющие закон изменения параметра управления и скорости развёртывания, и свёртывания троса, обеспечивающие вращение ТС с заданной угловой скоростью. Вращение ТС определяется безразмерной угловой скоростью представляющей отношение размерной угловой скорости к орбитальной угловой скорости ТС.

Рассматривается применение выше указанного режима для решения практических задач: вывода КА на орбиту, создания искусственной силы тяжести, а также спуска объектов с орбиты на Землю.

Результаты проведенных расчетов и математического моделирования подтвердили целесообразность использования разработанных математических моделей для решения задач динамики управляемого движения связанных космических объектов.

Основными преимуществами применения ТС, для решения рассматриваемых задач, является уменьшение энергетических затрат для их выполнения, так же большая простота и лёгкость конструкции, по сравнению с обычной двигательной установкой. Уменьшение энергетических затрат достигается за счёт того, что в большинстве случаев тот или иной манёвр в космосе осуществляется без использования двигательной установки, так как роль управляющей силы играет сила реакции натяжения соединительного троса.

### **Обслуживание систем наноспутников при помощи космических тросовых систем**

Родионова А.И.

Научный руководитель – Купреев С.А.

МАИ, г. Москва

В последние десятилетия наблюдаются тенденции расширения оптимальных областей применения малоразмерных КА (в том числе и наноспутников), способных решать задачи научно-прикладного, технического и технологического характера.

Наноспутники (НС) имеют небольшую массу 1-10 кг, характеризуются коротким циклом разработки, они просты в управлении, требуют значительно меньших финансовых затрат для вывода на орбиту. Узкая специализация НС позволяет повысить надежность и экономичность создаваемых на их базе информационных систем.

Для обеспечения высокой эффективности применения НС необходимо предусмотреть возможность их функционирования в составе системы, разнесенных определенным образом по круговой или эллиптической орбите. С энергетической точки зрения развертывание такой системы целесообразно производить с использованием блока разведения (БР), буксируемого специальной тросовой системой (ТС), состоящей из соединенных тросом базового объекта (МКС или специальных КА) и БР с которого через определенные промежутки времени один за другим отделяются все НС системы с переходом на заданные орбиты. Предполагается, что движение базового объекта (БО) осуществляется по круговой орбите. Длина троса подобной ТС находится в диапазоне от 5-40 км и при существующих технологиях может достигать 100 км.

Движение связки, включающей БР, может осуществляться либо в равновесном стационарном режиме, либо в режиме колебаний ТС относительного вертикального положения равновесия.

В зависимости от решаемых НС целевых задач их функционирование может осуществляться на орбитах, расположенных выше или ниже орбиты БО. В первом случае развертывание связки должно осуществляться вверх по отношению к орбите БО, а во втором – вниз. Развертывание связки производится на расчетную длину. Если функционирование НС предусматривается на круговой орбите, то в результате развертывания связка переводится в режим колебаний относительно вертикального положения равновесия с амплитудой равной.

Вместе с тем при функционировании системы НС актуальной становится задача их сведения с орбиты после выполнения программы полета с последующей ликвидацией в плотных слоях атмосферы. Для этой цели предлагается использование ТС, которая помимо выведения НС на орбиту может осуществлять сбор (замену) отработавших НС и сброс их с орбиты на Землю.

Применение технологии ТС для обеспечения функционирования систем НС обладает очевидными преимуществами по сравнению с традиционными космическими технологиями. К этим преимуществам можно отнести:

- Простота конструкций ТС. ТС включает в себя трос, лебедку или шпунль и блок управления длиной троса. Таким образом, ТС проще, легче и дешевле, чем двигательная установка.
- Возможность многократного применения, особенно при решении выше рассмотренных задач.

Более того, применение технологий ТС для вывода НС являются безопасными по сравнению с запуском с борта МКС, так как в последнем случае в процессе дальнейшего функционирования НС существует вероятность столкновения МКС и НС, что вынуждает совершать маневры по уклонению многотонной станции на орбите.

### **Возможные схемы ближнего наведения космических аппаратов**

Ручинская Е.В.

Научные руководители – Иванов В.А., Ручинский В.С.

МАИ, г. Москва

В трудах Международного Аэрокосмического Конгресса, см. [1], проведен анализ возможных схем ближнего наведения космического аппарата(КА) при постоянной угловой скорости линии визирования.

Представленные в данном докладе результаты полного качественного исследования динамической системы управляемого движения КА позволяют существенно расширить представления о возможных схемах ближнего наведения КА и уточнить условия их реализации.

Прежде всего, следует отметить, что построенные качественные структуры фазовых траекторий системы позволяют четко ограничить области начальных условий ближнего наведения КА, в которых реализуется та или иная схема сближения (сближение с жесткой встречей, сближение с мягким контактом, сближение с пролетом на некотором расстоянии). При нулевом значении безразмерной угловой скорости линии визирования (орбитальное параллельное сближение) эти области разделяются кривыми неизолированных состояний системы.

Для орбитального параллельного сближения области начальных условий, расположенной ниже кривых неустойчивых состояний равновесия, соответствуют сближение КА, заканчивающееся жесткой встречей.

Если при нулевом значении безразмерной угловой скорости линии визирования начальные условия ближнего наведения в точности соответствуют кривым неустойчивых состояний равновесия, то сближение КА заканчивается



мягкой встречей (конечно при условии, что в процессе сближения не произойдет значительного удаления от кривых неустойчивых состояний равновесия).

Если начальные условия орбитального параллельного сближения соответствуют области заключенной между кривыми неустойчивых состояний

равновесия системы и линией  $K = 0$ , то реализуется режим сближения с пролетом КА на некотором расстоянии с последующим удалением объектов.

При орбитальном параллельном сближении все траектории относительного движения КА являются прямолинейными.

В случае ближнего наведения КА с постоянной угловой скоростью линии визирования (на определенном отрезке значений параметра безразмерной угловой скорости линии визирования) области начальных условий, расположенной ниже неустойчивого предельного цикла соответствуют траектории сближения с жесткой встречей КА. Области начальных условий,

расположенной между неустойчивым предельным циклом и линией  $K=0$ , соответствуют траектории сближения с пролетом КА на некотором расстоянии (с последующим удалением) от объекта.

В том случае, когда ближнее наведение КА начинается при значениях, соответствующих точке фазовой поверхности, лежащей на неустойчивом предельном цикле системы, сближение КА заканчивается мягкой встречей объектов.

Литература.

1. Иванов В.А., Ручинский В.С. Характеристическая скорость, необходимая для наведения космического аппарата. Тезисы докладов восьмого Международного Аэрокосмического Конгресса. IAC'15. Секция «Космические тросовые системы. Функционирование наноспутников». 28 -31 августа, 2015, Москва, Россия. – М., 2015, с. 337.

## **Траектории относительного движения при манёврах сближения для решения задачи встречи в космосе**

Ручинская Л.В.

Научные руководители – Иванов В.А., Ручинский В.С.

МАИ, г. Москва

Рассматриваемый в докладе метод наведения (при постоянной угловой скорости линии визирования) включает в себя в качестве частных случаев такие широко известные методы наведения, как орбитальное и инерциальное параллельное сближение.

Выполнение полного качественного исследования динамической системы позволило с одной стороны расширить наши представления о возможностях метода параллельного сближения для решения задачи встречи в космосе, а с другой стороны оно показало, что во многих случаях при выполнении маневров относительного движения в космосе (в том числе и маневров сближения) целесообразно не ограничивать себя наведением при угловых скоростях, соответствующих режимам орбитального параллельного наведения или инерциального параллельного наведения.

Динамическая система, соответствующая орбитальному параллельному сближению, является структурно неустойчивой. Следовательно, точная реализация такого наведения практически невозможна, так как малейшее отклонение параметра безразмерной угловой скорости линии визирования от нулевого значения приведет к принципиально другому характеру относительного движения. Так, если наведение будет происходить при весьма малых отрицательных значениях этого параметра, то при любых начальных условиях все траектории относительного движения будут заканчиваться жесткой встречей объектов.

Если же этот данный параметр примет небольшое положительное значение, то вместо кривых состояний равновесия системы появятся два предельных цикла, охватывающих фазовый цилиндр, и качественная структура системы будет такой же, как при любом положительном значении этого параметра. Соответствующим образом изменится и характер относительного движения объектов.

В отличие от орбитального параллельного сближения, для инерциального параллельного наведения критическое значение параметра безразмерной угловой скорости линии визирования не является бифуркационным, и динамическая система является структурно устойчивой. Небольшие отклонения в величине этого параметра не должны приводить к принципиальному изменению характера относительного движения объектов. Но с точки зрения технической реализации метода инерциального параллельного сближения не все так просто. Дело в том, что бортовые датчики угловых скоростей измеряют угловую скорость линии визирования относительно инерциальной системы отсчета. В процессе управления угловой скоростью линии визирования неизбежно будут происходить колебания относительно нулевого значения, т.е. смена знака угловой скорости. Это приведет к смене ориентации осей визирной системы координат, в которой работает система управления, и возникновению нежелательных режимов. Кроме того, при каждой смене знака угловой скорости линии визирования потребуется изменять направление тяги двигательной установки аппарата на  $180^\circ$ . Поэтому на практике регулирование угловой скорости линии визирования осуществляют не относительно ее нулевого значения, а в некотором заранее выбранном диапазоне угловых скоростей.

## **Анализ влияния возмущений от Луны, Солнца и планет Солнечной системы на движение космического аппарата ГЛОНАСС**

Топорков А.Г.

Научный руководитель – Корянов В.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

В настоящее время, одной из наиболее актуальных тенденций совершенствования единой системы координатно-временного и навигационного обеспечения является повышение требований к точности позиционирования центра масс навигационных спутников с целью обеспечения требуемого уровня точности навигации для потребителей навигационной информации.

Для обеспечения требований определения местоположения навигационного спутника на уровне сантиметровых точностей, помимо всего прочего,

необходимо создание прецизионной математической модели, которая будет учитывать возмущающие воздействия соответствующего уровня точности (адекватности).

На орбитальное движение спутников действуют силы, которые обусловлены: центральностью и нецентральностью гравитационного поля Земли, притяжением Луны, Солнца и других внутренних планет Солнечной системы, прецессией и нутацией Земли, колебаниями земного полюса, неравномерностью вращения Земли, прямым световым давлением, переотраженной и переизлученной солнечной радиацией (альbedo), твёрдыми земными, океаническими, полюсными, атмосферными приливами и релятивистскими эффектами. Эти и другие факторы неизбежно будут приводить к дрейфу спутника относительно земной поверхности.

В работе исследуются возмущения движения космического аппарата ГЛОНАСС, вызванные гравитационным влиянием Луны, Солнца и планет Солнечной системы (Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун).

Штатный состав орбитальной группировки ГЛОНАСС состоит из 24 космических аппаратов, которые расположены в трёх орбитальных плоскостях с разностью по долготе восходящего узла в 120 градусов. Соответственно в одной плоскости равномерно размещены по 8 КА. Номинальные параметры орбиты КА ГЛОНАСС: орбита круговая, наклонение – 64,8 градуса, высота полёта над поверхностью Земли – 19100 км, период обращения составляет 40544 секунды.

Координаты Луны, Солнца и планет Солнечной системы рассчитывались с использованием эфемерид EPM-2008 (Ephemerides of Planets and the Moon), разработанные в институте прикладной астрономии РАН. Интегрирование дифференциальных уравнений движения КА в данной работе выполнялось с использованием численного метода интегрирования Эверхарта на период времени 7 дней.

В ходе проведенного моделирования, были получены следующие максимальные значения возмущающих ускорений и определён их порядок: Луна –  $0.579 \cdot 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup>; Солнце –  $0.181 \cdot 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup>; Меркурий –  $0.194 \cdot 10^{-11}$  м/с<sup>2</sup>; Венера –  $0.221 \cdot 10^{-9}$  м/с<sup>2</sup>; Марс –  $0.563 \cdot 10^{-11}$  м/с<sup>2</sup>; Юпитер –  $0.302 \cdot 10^{-10}$  м/с<sup>2</sup>; Сатурн –  $0.102 \cdot 10^{-11}$  м/с<sup>2</sup>; Уран –  $0.151 \cdot 10^{-13}$  м/с<sup>2</sup>; Нептун –  $0.413 \cdot 10^{-14}$  м/с<sup>2</sup>; Плутон –  $0.632 \cdot 10^{-18}$  м/с<sup>2</sup>.

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

- Возмущения, вызванные Луной в 2.1...3.2 раза больше возмущений от Солнца.
- Заметное влияние на движение КА оказывают Венера и Юпитер. Возмущения от Венеры на два порядка меньше светового давления (уровня  $10^7$  м/с<sup>2</sup>).
- Возмущения от Юпитера соизмеримы с приливными деформациями Земли (уровня  $10^{-10}$  м/с<sup>2</sup>).
- Гравитационные поля Луны, Солнца и планет Солнечной системы изменяют наклонение орбиты КА в диапазоне -1.61...+1.61 градуса.

## **СЕКЦИЯ № 6. Прикладная математика и математическое моделирование**

Руководитель секции: д.ф.-м.н., профессор Денисова И.П.

---

### **Влияние шероховатости поверхности и пульсации внешнего потока на параметры пограничного слоя в переходной области**

Аккужин Я.Д.

Научный руководитель – Покровский А.Н.

МАИ, ЦНИИМаш, г. Москва

При полете ЛА в плотных слоях атмосферы на его аэродинамические характеристики большое влияние оказывает вязкие силы около поверхности тела (пограничный слой) [1,2] Пограничный слой делится на ламинарный и турбулентный режимы течения, а между ними образуется переходная область. Расчет параметров турбулентного слоя осуществляется по модели Себеси-Смита. В настоящее время уделяется большое внимание на поведение параметров пограничного слоя в области перехода с учетом шероховатости поверхности.

В данной работе предложен метод определения параметров пограничного слоя в переходной области с учетом шероховатости поверхности на примере поведения числа  $St_w$ . Можно отметить, что число  $St_w$  несколько увеличивается в конце области перехода.

Рассмотрено влияние пульсаций скорости внешнего набегающего потока на параметры пограничного слоя, что наблюдается при испытаниях ЛА в аэродинамических трубах. Выявлено, что с увеличением пульсаций внешнего потока начало перехода пограничного слоя смещается к носку тела и наблюдается в конце области перехода небольшой заброс коэффициентов трения  $C_f$  и теплообмена  $St_w$ .

При расчете параметров пограничного слоя использовались методы квазилинеаризации и скалярной прогонки. [3,4]

Литература.

[1] Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.-Л.: Гостехиздат, 1962 г. 480 с.

[2] Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974 г. 683 с.

[3] Липницкий Ю. М., Красильников А. В., Покровский А. Н., Шманенков В. Н. Нестационарная аэродинамика баллистического полета.- М., Физматлит, 2003 г. 176 с.

[4] И. Б. Петров, А. И. Лобанов Лекции по вычислительной математике. Учебное пособие. Интернет-Университет Информационных технологий, 2006 г. 523 с.

## **Методы наглядного представления в теории графов и сетей**

Антонюк В.В.

Научный руководитель – Черкай А.Д.

МАИ, г. Москва

Очень часто приходится прибегать к табличной записи графов, но она плохо информативна. Из нее можно получить информацию о вершинах и об их связи. Появилась идея [1], что эту модель можно улучшить, переставив элементы таким образом, чтобы прослеживалась некая последовательность действий. Это было бы полезно в прикладных задачах экономики, где графами отображают некие экономические процессы. Так же это могло бы пригодиться и в других областях.

Для решения поставленной задачи в данной работе был проведен разбор нескольких алгоритмов для работы с графами. Был использован алгоритм Дейкстры для нахождения минимальных расстояний от одной вершины графа до всех остальных. Алгоритм работает только для графов без рёбер отрицательного веса. Он широко применяется в программировании и технологиях, например, его используют протоколы маршрутизации OSPF и IS-IS. И алгоритм Форда – Фалкерсона для нахождения максимального потока в транспортной сети.

Идея алгоритма заключается в следующем. Изначально величине потока присваивается нулевое значение для всех ребер, принадлежащих графу. Затем величина потока итеративно увеличивается посредством поиска увеличивающего пути (пути от источника к стоку, вдоль которого можно послать больший поток). Процесс повторяется, пока можно найти увеличивающий путь.

На основе этих алгоритмов составляются матрицы, в которых рассматриваются возможности упорядочить элементы для лучшего восприятия информации, с реализацией в графическом приложении, написанном на C# с использованием WindowsForms.

Программа проходит тестирование на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

Литература.

Черкай А.Д. Теория двух рядов 4-х счетов бухгалтерского и финансового учета. Единый план счетов учета по МСФО и РСБУ. Монография. – М.: 2015. – 119 с.

## **Методический подход к определению периодов прогнозирования видимости в радиационном тумане при категорированных минимумах**

Аристов В.В., Гавриленко А.В., Степанов А.В.

Научный руководитель – Дорофеев В.В.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

В работе приведен методический подход к определению периодов прогнозирования видимости для посадок в радиационном тумане продолжительностью от 1 до 3 часов методом физической экстраполяции,

обеспечивающих желательную точность [1] (по данным ИКАО не менее 90%) на основе исследования временной изменчивости метеорологической дальности видимости (МДВ) и высоты нижней границы облаков или вертикальной видимости (ВВ), построением автокорреляционных функций [2].

Анализ автокорреляционных функций МДВ и ВВ в радиационном тумане различной длительности позволил рекомендовать периоды прогнозирования МДВ и ВВ в радиационном тумане различной длительности.

Анализ показывает:

- в радиационном тумане, продолжительностью 1 час днем для МДВ оптимальное время прогноза составляет 3 мин., а для ВВ – 6 мин.
- для продолжительности 2 часа днем для МДВ оптимальное время прогноза составляет 6 мин., а для ВВ – 9 мин.
- для продолжительности 3 часа днем для МДВ оптимальное время прогноза составляет 15 мин., а для ВВ – 12 мин.
- для продолжительности 1 час ночью для МДВ оптимальное время прогноза составляет 6 мин., а для ВВ – 6 мин.;
- для продолжительности 2 часа ночью для МДВ оптимальное время прогноза составляет 12 мин., а для ВВ – 9 мин.;
- для продолжительности 2 часа ночью для МДВ оптимальное время прогноза составляет 12 мин., а для ВВ – 9 мин.;
- для продолжительности 3 часа ночью для МДВ оптимальное время прогноза составляет 15 мин., а для ВВ – 15 мин.

При использовании метода физической экстраполяции для прогноза МДВ и ВВ в радиационном тумане различной длительности необходимо учитывать, что оптимальный временной интервал экстраполяции зависит как от длительности тумана, так и от времени суток и может изменяться в значительных пределах (от 3 до 15 минут).

Внедрение результатов исследования в оперативную практику метеорологического обеспечения полетов ВС в условиях категорированных минимумов, обусловленных радиационным туманом, позволит повысить качество метеорологического обеспечения посадок ВС, регулярность и безопасность полетов.

Литература.

Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМО ГА –95) – М.: Министерство транспорта России, 1995, – 156 с.

Русин И.Н., Татаканов Г.Г. Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. – С.П.: 1996, с. 282.

## **Адаптивная система определения очередности посещения объектов с динамическим изменением временных расстояний между ними**

Артемьев А.В.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Зачастую бывает, что в случае погодных условий, состояния дороги и других факторов может измениться (увеличиться) время проезда по дороге. Проблема увеличивается, если нам необходимо посетить несколько пунктов. В обычном

случае это приводит к задаче коммивояжёра [1], но при динамическом изменении маршрута, задачу надо решать заново после каждого изменения графа дорог или продолжить путь по уже ставшему неэффективным маршруту.

Для решения этой проблемы на протяжении всего пути (при необходимости) выбирать маршрут для того чтобы в кратчайшие сроки доставить тот или иной товар.

В модели подразумевается, что могут появляться случайно некоторые факторы изменения маршрута:

- Фактор изменения маршрута (ФИМ) не находится на нашем пути.
- ФИМ находится на нашем маршруте, но не повлияет на время пути.

Так как проблема может завершиться до нашего прибытия к месту, где произошло событие.

- ФИМ находится на нашем маршруте, и он повлияет на наше время в пути.

ФИМ могут являться ДТП, погодные условия, перекрытие дороги, ремонт дороги.

Не сложно заметить, что при возникновении первого и второго случаев менять выбранный путь не требуется. В третьем случае необходимо сначала оценить время задержки пути из-за ФИМ. После этого мы выполняем новый расчёт задачи коммивояжёра с изменившимися условиями. Если кратчайший путь посещения заданных пунктов короче, чем текущий путь с задержкой, то мы переходим на новый маршрут.

Данные, которые будут использоваться при решении задачи:

- Карта конечных точек, доступных для посещения.
- Расстояние между точками.
- Средняя скорость транспорта.
- Состояние дороги (пробки, перекрытия и т.д.).
- Погода.
- Случайные события, влекущие за собой увеличение времени проезда по дороге (ДТП и др.).
- Список конечных точек, которые необходимо посетить.
- Типы транспортных средств.

Основным методом решения задачи о коммивояжёре (регулярно присчитывание маршрутов при случайных событиях) является метод ветвей и границ.

Описанная выше система была реализована с помощью технологии NETFramework на языке C# с использованием базы данных MSSQLserver.

Программа разрабатывается и тестируется на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

Литература.

Мудров В.И. Задача о коммивояжере. – М.: «Знание», 1969. – С. 62.

## Алгоритм поиска параллельных маршрутов орграфа в структурно-логических моделях диагностики авиационных систем

Бугаев К.С.

Научный руководитель – Котлов Ю.В.  
Иркутский филиал МГТУ ГА, г. Иркутск

Применение диагностических моделей и современных методов принятия решений считаются перспективными для обеспечения эффективной эксплуатации сложных технических объектов, в том числе, авиационных систем и комплексов.

Рассматривается задача и алгоритм поиска параллельных маршрутов орграфа в рамках единой методики разработки и анализа структурно-логических моделей в системе поддержки принятия решений для многокритериальной диагностики авиационных систем [1]. Подход основан на предположении, что следствием неисправности в системе является изменение ее функциональных связей. Модель системы представлена в виде ориентированного графа  $G(X, L)$ , где множество вершин – это множество элементов системы  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ,  $L$  – множество дуг (связей между ними). Орграф  $G(X, L)$  задан через матрицу смежности  $B$  специального вида (структурно-логическую матрицу):

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, x_i R x_j \text{ или } (x_i, x_j) \in L, & i, j = \overline{1, n}, \\ 0, x_i \overline{R} x_j \text{ или } (x_i, x_j) \notin L, & \end{cases}$$

где  $\overline{R}$  – отсутствие отношения.

Особенность рассматриваемых моделей заключается в том, что они по своей сути являются информационными моделями высокой степени абстракции, где равноправно рассматриваются как физические, так и информационные элементы системы.

Алгоритм поиска параллельных маршрутов в орграфе произвольного вида использует матрицу достижимости (всех маршрутов) орграфа и основан на утверждении: вершины орграфа, входящие в один цикл или принадлежащие параллельным маршрутам, имеют одинаковую величину разности полустепени исхода и захода вершины в матрице достижимости. Далее для выделения параллельных маршрутов необходимо определить циклы с помощью следующего критерия [2]:

$$b_{ij}^* \wedge b_{ji}^* = 1, \rightarrow (x_i, x_j) \text{ – цикл или } m_{ij} = b_{ij}^* \wedge b_{ji}^*, \quad i, j = \overline{1, n},$$

где  $M_k(m_{ij})$  – симметричная матрица контуров;  $B^*(b_{ij}^*)$  – матрица достижимости.

Вычислительная сложность алгоритма имеет порядок наиболее затратного алгоритма вычисления матрицы достижимости (алгоритм Уоршола) –  $n^3$ . Алгоритм используется при проверке адекватности диагностической модели, локализации претендентов на отказ и построении программ поиска отказа. Программный модуль выполнен в Delphi.

Литература.



Котлов Ю. В., Литвинова А. С. Система поддержки принятия решений для диагностики авиационных систем. Информационные системы контроля и управления в промышленности и на транспорте, № 25, Иркутск, ИрГУПС, 2015. С. 75–78/

Нефедов В. Н. Алгоритмический подход к решению задач теории графов и сетей. – М.: МАИ, 1990. – 120 с.

## Нелинейные электродинамические эффекты в поле электрического диполя

Васильев М.И.

Научный руководитель – Денисова И.П.

МАИ, г. Москва

В постмаксвелловской электродинамике возникают эффекты двулучепреломления при критических значениях электромагнитного поля  $B_q = 4.41 * 10^{13}$  Гс. Параметризованный Лагранжиан [1] такой теории может быть записан в виде:

$$L = \frac{\sqrt{-g}}{32\pi} \left\{ 2I_2 + \xi [(\eta_1 - 2\eta_2)I_2^2 + 4\eta_2 I_4] \right\} - \frac{1}{c} j^m A_m, \quad (1)$$

где  $\xi = 1/B_q^2$ ,  $I_2 = F_{ik} F^{ki}$ ,  $I_4 = F_{ik} F^{km} F_{mn} F^{ni}$ ,  $F_{ik}$  - тензор электромагнитного поля.

Рассмотрим электрический диполь, помещенный в начало координат, с электрическим дипольным моментом  $\mathbf{d} = \{0, 0, d_z\}$ . Электрическое поле такого диполя будет:

$$\mathbf{E} = \frac{3\mathbf{n}(\mathbf{n}, \mathbf{d}) - \mathbf{d}}{R^3}. \quad (2)$$

Уравнения движения электромагнитной волны в параметризованной постмаксвелловской электродинамике зависят от поляризации волны и могут быть описаны эйконалом [2]:

$$g_{(1)ik} g_{(2)nm} \left( \frac{\partial S}{\partial x^i} \right) \left( \frac{\partial S}{\partial x^k} \right) \left( \frac{\partial S}{\partial x^n} \right) \left( \frac{\partial S}{\partial x^m} \right) = 0, \quad (3)$$

где  $g_{nm}^{1,2}$  - эффективная пространственно-временная метрика, связанная с метрикой  $g_{ik}^{(0)}$  и тензором электромагнитного поля  $F_{ik}$ :

$$g_{ik}^{(1,2)} = g_{ik}^{(0)} - 4\eta_{1,2} \xi F_{ip} F_k^p.$$

Решая уравнения (3) методом Лагранжа-Шарпи, получим геодезические уравнения движения:

$$\frac{dk^m}{d\sigma} + \Gamma_{pn}^m k^p k^n = 0, \quad g_{ik}^{(1,2)} k^i k^k = 0, \quad (4)$$

где  $\sigma$  - некоторый аффинный параметр,  $k^m = dx^m / d\sigma$  - волновой четырехвектор, а  $\Gamma_{pn}^m$  - символы Кристоффеля эффективного пространства-

времени с метрическим тензором  $g_{nm}^{(1)}$  для нормальных волн первого типа и  $g_{nm}^{(2)}$  - для нормальных волн второго типа.

Решая систему уравнений (4) в декартовой системе координат мы получим уравнения движения электромагнитной волны. Из уравнений движения получается время запаздывания для первой и второй нормальных волн.

$$\Delta T = \frac{3(45\pi - 32)(\eta_2 - \eta_1)\xi}{256ct_0^5} d_z^2$$

Литература.

[1] Денисов В.И., Денисова И.П., ДАН. 2001. 378, 4. С. 463.

[2] Denisov V.I., Svertilov S.I. Physical Review D. 2005. 71, 6. P 063002.

## Полиномиальный хэш в строковых алгоритмах и хэш таблицах

Гаврилов А.В.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

Рассматривается задача изучения поведения процесса полиномиального хэширования.

Полиномиальный хэш представляется следующей формулой:

$$H(s_1 s_2 s_3 \dots s_n) = (s_1 + s_2 p + s_3 p^2 + \dots + s_n p^{n-1}) \bmod M.$$

Эффективность (вероятность коллизий) данной хэш функции зависит от правильного выбора параметров  $p$  и  $M$ . Исследуя функцию, можно прийти к выводу, что  $p$  должно быть простым числом, примерно равным мощности хэшируемого алфавита. Например, для того чтоб хэшировать строку, состоящую из латинских букв (26 букв нижнего регистра и столько же верхнего), оптимальное значение  $p = 53$ .

Наиболее популярным способом выбора  $M$  является значение наибольшего целочисленного типа в данной архитектуре (232 для x86 и 264 для x64). Тем не менее, при таком подходе теряется ряд полезных свойств хэша. Нужно подобрать  $M$  так, чтоб при вычислении

$$(M - 1) \times p + (M - 1) = (M - 1) \times (p + 1)$$

и левая и правая части равенства помещались в выбранный для хранения хэша тип данных.

Сложность вычисления хэша  $O(n)$ .

Данный хэш может использоваться для строковых алгоритмов. Таких как:

- сравнение подстрок,
- поиска подстроки в строке за  $O(n + m)$ ,
- нахождение z-функции за  $O(n \log n)$ ,
- поиска всех палиндромов в строке за  $O(n \log n)$  и т.д.

Также хэш обладает свойством кольцевого хэша (rollingproperty). Из этого следует, что если мы знаем хэш строки, то, если мы добавим символы в конец, то с легкостью сможем пересчитать хэш новой строки практически за даром. (нам придется посчитать хэш добавленной части и сложить с тем, что мы уже имеем).

Полиномиальный хэш показал себя не хуже других при использовании в хэш таблицах, в которых ключом является строка.

## Об одном эффективном методе синтеза булевых формул

Гавриш О.Н.

Научный руководитель – Чебурахин И.Ф.

МАИ, г. Москва

В настоящее время сохраняется актуальность проблем моделирования, анализа и синтеза математических моделей дискретных логических управляющих и вычислительных устройств. Особо важной является задача вывода оценки показателя сложности при представлении булевой функции в классах формул и схем. Эта задача сохраняет свою актуальность и в настоящее время.

Решаем задачи реализации булевых функций, играющих фундаментальную роль в информатике. Используемый подход основан на построении счетных классов БФ и получения показателей их сложности при помощи функциональных уравнений [1].

Из множеств булевых функций “&”, “∨”, “⊕”, “~”, обладающих одинаковыми алгебраическими свойствами, можно выбрать одну из них и изучать ее, перенося получаемые результаты на остальные функции списка. Для этой цели, в качестве примера, выберем класс “&”.

Дано: n-множество  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , m-множество

$M = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ ,

$g^{(1)}$  - функция отрицания. Конструируем функцию

$$f_{\&}^{(n)}(X) \text{-- (n – местную конъюнкцию),} \quad (1)$$

а также m– функцию  $g_{\&}^{(m)}(X)$  (m – местную конъюнкцию), (2)

приводя (1) и (2) к виду (функции Шеффера):

$$g^{(1)}(f_{\&}^{(n)}(X)) \quad (3)$$

$$g^{(1)}(g_{\&}^{(m)}(X)) \quad (4)$$

Задача. Требуется представить функцию  $g^{(1)}(f_{\&}^{(n)}(X))$  в базисе  $g^{(1)}(g_{\&}^{(m)}(X))$  и определить оценки (3) и (4) сложности представления.

Заметим, что в [1,2] были решены упрощенные задачи для функционалов сложности LF и DepS и множеств X и M. Поэтому воспользуемся их решением, а именно, получаем –

$$LF(f_{\&}^{(n)}) = \lceil n - 1 / m - 1 \rceil, \quad (5)$$

$DepS(f_{\&}^{(n)}) = \lceil \log_2(m) \rceil$  (оценка сохраняется [1]).

Возвращаемся к исходной задаче и уточняем функционалы сложности. Вначале исключаем, убираем функцию отрицания, затем при помощи параллельной структурно-функциональной декомпозиции с получением суперпозиционной формулы Фс.ф., подсчитываем сложность показателя LF и возвращаем 1 за функцию отрицания  $g^{(1)}$ .

Итого:  $LF(g^{(1)}(f_{\&}^{(n)})) = \lceil n - 1 / m - 1 \rceil + 1.$

Предлагаемый математический метод применяется в работе для минимизации числа функциональных элементов, а также распараллеливания обработки информации.

Литература.

Чебурахин И.Ф. Синтез дискретных управляющих систем и математическое моделирование: алгоритмы, программы // М.: Физматлит, 2004.

Чебурахин И. Ф., Гавриш О. Н. Уточнение оценок показателей сложности схем и автоматизация их эффективного применения //«Мехатроника, автоматизация, управление», том 17, №2, М.: «Новые технологии», 2016.

### **Теоретико-графовый алгоритм решения задачи о назначении и перемещении локомотивов**

Гайнанов Д.Н., Рассказова В.А.

МАИ, г. Москва

Задача оптимизации грузовых железнодорожных перевозок включает в себя, в качестве одного из основных направлений, задачу назначения и перемещения локомотивов. Для формализации, и далее для решения этой задачи, удобный аппарат математического моделирования предоставляют средства теории графов и комбинаторной оптимизации.

В качестве модели железной дороги используется ориентированный граф, в котором вершины – множество станций, а ребра – множество ориентированных перегонов, связывающих соседние станции. Задается план перевозок, в котором каждая перевозка задана набором параметров, содержащим начальную и конечную станции перевозки, время начала и окончания выполнения перевозки. Имеется множество локомотивов доступных для перевозок. Для каждого локомотива заданы время и станция начала доступности для назначения на перевозку. Также для локомотивов задано множество допустимых перемещений на ориентированном графе, которое задается аналогично плану перевозок. Объединение множества заданий на перевозку и множества допустимых перемещений локомотивов назовем множеством всех перемещений. Таким образом, любое перемещение локомотива является либо заданием на перевозку, либо допустимым перемещением.

Рассматриваются отображения множества перемещений на множество локомотивов. Допустимым называется такое отображение, что в момент времени из периода планирования каждый локомотив может быть назначен не более чем на одно перемещение из множества перемещений, причем если локомотив назначен на перемещение, то время, определенное для выполнения этого перемещения, должно быть актуальным на момент назначения. Также допустимые отображения должны удовлетворять условиям совместности – начальная станция первого назначенного на локомотив перемещения должна совпадать со станцией доступности локомотива, и время начала доступности локомотива, назначенного на перемещение, не должно превышать времени начала выполнения этого перемещения. Также в последовательности перемещений, назначенных на один и тот же локомотив, начальная станция каждого перемещения совпадает с конечной станцией предшествующего, и

время начала каждого перемещения не превышает времени окончания предыдущего.

Задача 1. (О назначении и перемещении локомотивов). Среди допустимых отображений необходимо найти такие, что число заданий на перевозку во множестве перемещений, назначенных на локомотивы, максимально, и при этом использовать для назначения наименьшее количество локомотивов.

Вводится понятие ориентированного графа совместимости перемещений, вершинами которого служат перемещения, и две упорядоченные вершины связаны дугой, если они совместимы в таком порядке. Формируется множество простых ориентированных путей графа совместимости перемещений.

Задача 2. Найти подмножество простых ориентированных путей, для которого существует равномощное подмножество локомотивов таких, что для любого пути найдется локомотив такой, что для первого набора в пути и локомотива, назначенного на этот путь, выполняются условия совместимости; и подмножество простых ориентированных путей графа совместимости перемещений содержит максимально возможное число заданий на перевозку из множества заданий и при этом имеет минимально возможную мощность.

Утверждение. Решение задачи 2 является также решением задачи 1.

### **Анализ вычислительной эффективности различных подходов к описанию химических превращений в турбулентном потоке на примере течения в камере сгорания высокоскоростного ЛА**

Галицкий И.О., Заворина Е.И.

Научный руководитель – Волохов В.М.

МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

На сегодняшний день процесс преобразования энергии, запасенной в топливе, в полезную работу посредством горения, имеет место во множестве технических устройств, таких как: авиационные двигатели, наземные силовые установки, двигатели внутреннего сгорания и т.д. Тем не менее, ряд фундаментальных задач, связанных с описанием процессов горения, до сих пор не решен. Одной из подобных задач является задача описания процесса горения углеводородных топлив в турбулентном потоке.

Турбулентный режим горения – наиболее часто встречающийся режим горения в практических устройствах и одновременно наиболее сложный для изучения. Первое систематическое исследование горения в турбулентном потоке газа было проведено в середине 20-го века Дамкелером [1]. Дальнейшее развитие представлений процессов турбулентного горения связано с ростом производительности вычислительной техники и появлением инструментом вычислительной гидродинамики в середине-конце 20-го века. Обычно, для описания взаимодействия турбулентных процессов и химических превращений, в частности горения, используют дополнительные упрощающие модели, предполагающие разделение временных масштабов процессов турбулентности и химической кинетики. Самые известные среди этих моделей: модель с бесконечной скоростью протекания химических реакций, модель распада вихря [2], локально-реакторные модели [3].

Для ламинарного потока задача взаимодействия турбулентности и горения существенно упрощается, и становится возможным получить ряд аналитических решений. С появлением и увеличением же интенсивности турбулентных пульсаций возникает как экспериментальные сложности получения корректных данных, так и расчетные, связанные с проблемой разрешения всех масштабов турбулентности. Рассмотрение же всех масштабов турбулентности и горения в рамках уравнений Навье-Стокса представляет собой практически невыполнимую задачу даже для умеренных чисел Рейнольдса. В связи с этим становится актуальным вопрос об эффективности, корректности и точности, используемых расчетных моделей и численных алгоритмов.

В работе для модельного турбулентного течения в элементе ВЛА проведено сравнение вычислительной эффективности различных моделей взаимодействия турбулентности и процесса горения в рамках решения уравнений Навье-Стокса. Проведен сравнительный анализ полученных данных с известными открытыми источниками.

Исследовательские работы проводятся при финансовой поддержке государства в лице РФ по соглашению №15-11-30012 от 08.07.2015 по теме: «Суперкомпьютерное моделирование физико-химических процессов в высокоскоростном прямоточном воздушно-реактивном двигателе гиперзвукового летательного аппарата на твердых топливах».

Литература.

1. G. Damkohler. Der Einfluss der Turbulenz auf die Flammengeschwindigkeit in Gasgemischen. *Zs Electrochemie*, 6, pp. 601-652.

2. B.F. Magnussen. On the Structure of Turbulence and a Generalized Eddy Dissipation Concept for Chemical Reaction in Turbulent Flow. 19th AIAA Aerospace Science Meeting, 1981.

3. B.F. Magnussen, B.H. Hjertager. On Mathematical Modeling of Turbulent Combustion with Special Emphasis on Soot Formation and Combustion. 16th Symp. Int. on Combustion, Comb. Inst., Pittsburg, Pennsylvania, pp. 719-729, 1976.

### **Анализ кинетических схем различной степени детализации, описывающих процессы пиролиза сложных углеводов в системе охлаждения высокоскоростного ЛА**

Галицкий И.О., Заворина Е.И.

Научный руководитель – Волохов В.М.

МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Создание высокоскоростных летательных аппаратов (ЛА) является одним из перспективных направлений развития авиации, однако длительные полеты с гиперзвуковыми скоростями требуют решения ряда научно-технических задач как фундаментального, так и прикладного характера. Проектирование перспективного ЛА требует знания характеристик физико-химических процессов протекающих в нем, таких как: горение топлива в турбулентном потоке, термическая деструкция топлива в системе охлаждения (для схемы с охлаждением), диссоциация воздуха в элементах проточного тракта и т. д.

Процессы пиролиза, протекающие в системе охлаждения (СО) высокоскоростного летательного аппарата на эндотермическом топливе

определяют характеристики процесса отбора тепла из камеры сгорания. Таким образом, качество описания процессов пиролиза является ключевым элементом при построении модели СО с большой предсказательной способностью. Разложение сложного углеводородного топлива в тракте СО при умеренных температурах  $T < 1000$  К происходит по радикально-цепному механизму, включающему три стадии: инициирование цепей, ветвление, разрыв цепей. В реальности каждая из стадий включает в себя десятки элементарных реакций и компонент. Для практических целей описания процесса разложения в каналах сложной геометрии встает задача о редуцировании детального химического механизма с сохранением основных интегральных теплот выделения/поглощения каждой из стадий.

В работе на примере модельного топлива (пентан,  $C_5H_{12}$ ) на основе детальной кинетики процесса [1] для рассматриваемого диапазона условий по давлению и температуре, реализующихся в СО ЛА получен скелетный кинетический механизм, описывающий с заданной точностью тепловой эффект системы. Редуцирование механизма было проведено с использованием метода анализа графа прямых связей (DirectedRelationGraph) [2] и его модификаций. Проведено сравнение выхода продуктов и тепловыделения детального и скелетного механизмов в условиях реактора идеального смешения. Полученный скелетный механизм интегрирован в трехмерный газодинамический расчет турбулентного течения в проточной части панели системы охлаждения. Дополнительно проведен расчеты панели СО с использованием упрощенного кинетического механизма, состоящего из одной глобальной реакции и основанного на экспериментальных данных. Результаты расчетов показали, что использование редуцированного механизма позволяет получить количественные характеристики выхода основных продуктов разложения, в том числе легких фракций, однако, требует больших ресурсов в сравнении с механизмом, полученным экспериментально.

Исследовательские работы проводятся при финансовой поддержке государства в лице РФ по соглашению №15-11-30012 от 08.07.2015 по теме: «Суперкомпьютерное моделирование физико-химических процессов в высокоскоростном прямоточном воздушно-реактивном двигателе гиперзвукового летательного аппарата на твердых топливах».

1. C.K. Westbrook and oth. A Detailed Chemical Kinetic Reaction Mechanism for n-Alkane Hydrocarbons from n-Octane to n-Hexadecane // Comb. Flame 156, 1, 2009, pp.181-199.

2. L. Tianfeng, L. Law Chung. A directed relation graph method for mechanism reduction // Proc. of Combust. Inst. 30, 2005, pp.1333-1341.

## **Исследование различных вариантов метода пропорционального сближения**

Галкина Т.В.

Научный руководитель – Мирошкин В.Л.  
МАИ, г. Москва

Метод пропорционального сближения является довольно общим методом, на основе которого можно получить другие методы сближения. Но, несмотря на

это, метод пропорционального сближения не теряет актуальности в наши дни и носит не только теоретический характер.

В зарубежной литературе введена классификация вариантов метода пропорционального сближения по перпендикулярности вектора управления. Основные варианты:

- Pure Proportional Navigation (PPN) – управляющее ускорение перпендикулярно вектору скорости ракеты;
- True Proportional Navigation (TPN) – ускорение перпендикулярно линии визирования цели;
- Ideal Proportional Navigation (IPN) – управляющее ускорение перпендикулярно относительной скорости.

Для исследования свойств траекторий различных вариантов метода пропорционального сближения разработан программный комплекс, в состав которого входит пользовательский интерфейс, позволяющий выбирать различные варианты управления, задавать начальные условия, выполнять анализ как одного метода сближения, так и всех трех одновременно. Входными данными являются вводимые на экран числовые данные и условия управления. Выходные данные – графическая и текстовая информация, выводимая на экран и записываемая в текстовые файлы.

Дальнейшая работа предусматривает доработку и расширение программного комплекса: построение трехмерных графиков, кинематические исследования с введением типовых видов маневра цели, учет динамических параметров объекта управления.

Основная цель кинематического исследования заключается в определении формы траекторий, в определение потребных перегрузок, времени полета летательного аппарата до цели и некоторых других характеристик, которые необходимо знать, как при проектировании летательного аппарата, так и системы сближения. Исследования проведены при различных условиях управления:

- идеальное управление;
- управление с запаздыванием;
- без возможности управления продольным ускорением.
- Показатели качества сближения:
- параметр максимальной перегрузки;
- интеграл от квадрата максимальной перегрузки;
- графики угловой скорости.

В результате проведённых численных экспериментов была выявлена «мертвая зона» у метода True Proportional Navigation при запусках в хвост. При исследовании идеального управления оказалось, что при скоростях ракеты близкой к скорости цели модель PPN работает плохо, был сделан вывод, что при запуске в хвост идеальным будем вариант PPN, а на встречу IPN. Также было установлено, что угловые скорости линии визирования моделей IPN и TPN не зависят от точки старта, то есть с точки зрения работы следящей системы являются оптимальными. Наглядно стало видно, что методы IPN и TPN работают только в том случае, если есть управление продольным ускорением, отсутствие управления продольным ускорением в значительной степени влияет на работу модели IPN.



## Решение задачи об оптимальном гашении колебаний идеальной жидкости в сосуде цилиндрической формы

Герман И.М.

Научные руководители – Петров В.М., Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

Для идеальной несжимаемой жидкости, удовлетворяющей уравнению Лапласа и ограниченной сосудом цилиндрической формы, ставится задача об оптимальном гашении колебаний. При этом необходимо определить форму свободной поверхности и потенциал поля скоростей.

Интенсивность возмущения свободной поверхности описывается функционалом  $J$ :

$$J := \sum_{n,k} (p_{nk}^2 + q_{nk}^2)$$

Где  $p_{ij}(t)$  и  $q_{ij}(t)$  – амплитуды соответствующих возмущений потенциала поля скоростей и формы свободной поверхности, являющиеся решением системы обыкновенных дифференциальных уравнений с квадратичной нелинейностью.

Погасить колебания свободной поверхности означает доставить минимум функционалу  $J$  к фиксированному моменту времени, то есть возникает экстремальная задача с терминальным функционалом.

Следует отметить, что рассматриваемая задача относится к классу задач с нестационарной областью, где на неизвестной границе (на свободной поверхности) поставлены два граничных условия: динамическое, возникающие из интеграла движения Коши, и кинематическое. Для решения возникшей задачи используется проекционный метод, основанный на разложении в ряд Фурье искомым функций. Решение экстремальной задачи основывается на принципе максимума Понтрягина.

При решении задачи на собственные значения в полярных координатах возникают функции Бесселя. Вследствие этого при применении проекционного метода Бубнова-Галеркина возникает двойная сумма. Для определения коэффициентов применяется свойство ортогональности функций Бесселя.

В результате возникают некоторые вычислительные сложности, связанные с получением системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

Также стоит отметить что при моделировании колебания жидкости и при составлении учитываются первые  $N$  членов:  $n + k \leq N$ .

Для решения данной задачи был разработан программный комплекс на языке C# 5.0 платформы.NETFramework 4.5, позволяющий наглядно представить форму свободной поверхности и автоматически составить систему нелинейных дифференциальных уравнений.

Программный комплекс проходит тестирование на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

## Об оценке сложности алгоритма генерирования однородных мономов заданной степени

Голанова О.А.

Научные руководители – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

Для ряда задач компьютерной алгебры необходимо иметь возможность генерировать множество однородных мономов, заданной степени. Алгоритм, который генерирует все мономы, удовлетворяющие нужному свойству, достаточно прост и легко может быть реализован на компьютере. При этом возникает ряд вопросов касающиеся оценки сложности данного алгоритма. Например, оценка объема памяти для хранения всех полученных мономов, оценка времени работы алгоритма и др.

В данной работе показано, что для определения сложности алгоритма основную роль играет функция  $p(n)$  – количество разбиений натурального числа  $n$  в сумму натуральных слагаемых, или по-другому число натуральных решений  $(x_1, \dots, x_n)$  уравнения

$$\sum_{k=1}^n kx_k = n.$$

Для получения информации о функции  $p(n)$  важную роль играет ее производящая функция:

$$P(z) = \sum_{n=0}^{\infty} p(n) z^n,$$

разложение в бесконечное произведение которой получено еще Эйлером и задается формулой

$$P(z) = \prod_{n=1}^{\infty} \frac{1}{1 - z^n}.$$

С помощью формулы суммирования Эйлера было установлено асимптотическое поведение логарифма производящей функции для последовательности  $p(n)$  в окрестности 1. На основании данного результата получена оценка сверху для количества разбиений числа  $n$ . А именно, установлено, что

$$p(n) \ll \sqrt{t} e^{nt + \frac{\zeta(2)}{t}}, \text{ где } t = \sqrt{\zeta(2)/n}.$$

Для численных экспериментов была разработана программа для генерации однородных мономов. Данная программа позволяет подсчитать размер необходимой памяти и количество итерации для генерации мономов нужной степени. Программа написана на языке C++ с использованием библиотеки MFC.

Литература.

Кнут, Дональд, Э. Искусство программирования, том 4, выпуск 3: генерация всех сочетаний и разбиений, Москва, 2007.

Шеферд Дж., Круглински Д., Уингоу С. Программирование на Microsoft Visual C++ 6.0 для профессионалов, Издательско-торговый дом «Русская Редакция», Москва, 2004.

## **Методы и программные средства оценки экономической безопасности стран мира**

Гришков А.Н.

Научный руководитель – Черкай А.Д.

МАИ, г. Москва

Из-за изменений, происходящих в мировой обстановке в последние годы, остро встает вопрос экономической безопасности государств.

Экономическая безопасность — это состояние национальной экономики, обеспечивающее удовлетворение жизненно важных потребностей страны в материальных благах независимо от возникновения в мировой экономической системе или внутри страны форс-мажорных обстоятельств социально-политического, экономического или экологического характера [1].

Её структурными элементами являются технологическая, технико-производственная, валютно-кредитная, сырьевая, энергетическая, экологическая и информационная составляющие.

Сущность экономической безопасности реализуется в системе критериев и показателей. Но значения имеют не сами показатели, а их пороговые значения.

Пороговые значения – предельные величины, превышение которых мешает нормальному существованию государства, приводит к ухудшению экономического положения страны, а, следовательно, и к ухудшению жизни.

Целью данной работы – рассмотреть сущность, методы оценки и программные средства для оценки экономической безопасности стран.

В докладе особое внимание уделено разработке программных средств оценки как отдельных показателей надежности государства, так и интегрального показателя уровня экономической безопасности государства.

Автоматизация оценки этих показателей с использованием программных средств обработки данных из существующей базы данных Всемирного банка упрощает решение задач оценки экономического положения государств и выявление проблемных составляющих в обеспечении их безопасности.

Литература.

Гордиенко Д.В. Основы экономической безопасности государства. Курс лекций. Учебно-методическое пособие. – М.: Финансы и статистика, Инфра-М, 2009. – 224 с.

## **Математические методы прогнозирования динамических процессов в экономике**

Дубровский Н.А.

Научный руководитель – Черкай А.Д.

МАИ, г. Москва

В современном мире люди пытаются спрогнозировать ситуацию на мировом рынке как можно точнее на последующие годы, чтобы, например, избежать предполагаемых кризисов. Одним из основных показателей, характеризующим эту ситуацию, является ВВП. Он отражает суммарную рыночную стоимость всех конечных товаров и услуг. Для его прогнозирования используют различные

методы, но какого-то единого нет в связи с тем, что на конкретном временном участке один метод будет точнее, а на другом участке — другой.

Особенностью подхода [1], учитывающего это и реализуемого в настоящей работе, является то, что для прогнозирования используется не один из выбранных методов, а рассматривается их совокупность и выбирается из них конкурентно лучшие на отдельных временных участках. На первом этапе основное внимание уделяется методам авторегрессии и Хольта-Винтерса. При этом ставится задача выявления закономерностей динамики изменения ВВП и установления, где и какой метод действует эффективней, после чего осуществляется их объединение с лингвистическим методом [1; 2].

Так как ВВП зависит от многих показателей, то в работе также анализируется от каких конкретно имеется эта зависимость. Для этого строится множественная линейная регрессия для разных временных участков с чередованием стабильного состояния экономики мира и его кризисного состояния в периоды до, во время и после скачкообразного снижения ВВП. Множественная линейная регрессия сначала строится без какого-либо смещения предполагаемых зависимых параметров ВВП, затем относительно ВВП смещаются параметры на 1, после на 2 года. Рассмотрев коэффициенты корреляций, в результате выявляются факторы, влияющие на ВВП в тот или иной момент времени, и на основе их анализируются возможности прогнозирования ВВП, используя конкурирующие методы.

Таким образом в работе рассматриваются методы прогнозирования и их реализация в виде программного обеспечения для прогнозирования ВВП.

Литература.

1. Черкай А.Д. Лингвистические модели и их место в новой теоретической парадигме экономической науки / Материалы IV Международного научного конгресса «Глобалистика-2015», посвященного 70-летию Организации Объединенных Наций. Тезисы докладов. Том 3. XXIII Кондратьевские чтения. – М.: Фонд Вернадского, 2015.

2. Черкай А.Д. О перспективности использования лингвистических моделей при решении задач управления в экономике // Модернизация России: ключевые проблемы и решения. Ежегодник: выпуск 10, часть III. – М.: ИНИОН РАН, 2015. – С. 114-117.

## **О методах синтеза булевых формул и схем**

Егорова Е.К.

Научный руководитель – Чебурахин И.Ф.

МАИ, г. Москва

Современные достижения в области науки и техники основываются на использовании различных информационных систем (интеллектуальных, кибернетических, автоматизированных и др.), которые продолжают сохранять темпы развития.

Пусть  $f^{(n)}$  булева (логическая) функция (БФ), зависящая от  $n$  переменных из множества  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ . Под базисом  $G$  понимаем конечную функционально полную систему БФ (или соответствующих ФЭ), в частности, базис Жегалкина  $G_3 = \{\&, \oplus, 0, 1\}$  для всех БФ из  $P_2$ . Считаем, что функция  $f^{(n)}$  задается

формулой  $F^{(n)}$  в базе  $G$  и формула изоморфна соответствующей схеме  $S$  из функциональных элементов (ФЭ). Мерой сложности является дискретный функционал:  $L_F(f, G)$  – число базисных функций в  $F$ ;  $L_S(f, G)$  – число ФЭ в схеме  $S$  [1]. По практическим соображениям функционалы минимизируем. Для этой цели в классе формул используются эквивалентные преобразования, – в классе схем для минимизации числа ФЭ дополнительно применяется ветвление некоторых их выходов. Итак, предлагается алгебраический метод синтеза формул на основе функциональных уравнений (ФУ), сопровождаемый получением заранее аналитических оценок различных показателей сложности [2] (в частности, по числу подформул). При этом получаемые решения могут быть минимальными (и для счетных классов), а другие решения могут быть сильно загроможденными. Такие (первые) решения выводятся за счет применения алгебры логики и эквивалентных преобразований, а также благодаря важнейшему системному понятию – строению (формулы и др.). В качестве иллюстрационного примера 1 рассмотрим две БФ –  $f^{(7)}$  и  $f^{(9)}$ , задаваемые соответственно полиномами Жегалкина  $F^{(7)}$  и  $F^{(9)}$ ,

$$F^{(7)} = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \oplus x_2 \cdot x_3 \cdot x_5 \oplus x_3 \cdot x_6 \oplus x_7 = x_3 \cdot (x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 \oplus x_2 \cdot x_5 \oplus x_6) \oplus x_7 =$$

$$= x_3 \cdot (x_2 \cdot (x_1 \cdot x_4 \oplus x_5) \oplus x_6) \oplus x_7 = x_3 \cdot (x_2 \cdot ((x_1 \cdot x_4) \oplus x_5) \oplus x_6) \oplus x_7 = F_{\text{cf}}^{(7)},$$

строения  $r^{(7)} = (4, 3, 2, 1)$ ;

$$\text{и } F^{(9)} = x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_9 \oplus x_2 \cdot x_3 \cdot x_5 \cdot x_9 \oplus x_2 \cdot x_7 \cdot x_9 \oplus x_8 \cdot x_9 \oplus x_1 =$$

$$= x_9 \cdot (x_2 \cdot (x_3 \cdot (x_4 \cdot x_5 \oplus x_6) \oplus x_7) \oplus x_8) \oplus x_1 = F_{\text{cf}}^{(9)}, \text{ строения } r^{(9)} = (5, 4, 3, 2, 1).$$

При этом выполнены эквивалентные преобразования полиномов Жегалкина  $F^{(7)}$  и  $F^{(9)}$  в соответствии с ФУ и, таким образом, получены неповторные скобочные формулы  $F_{\text{cf}}^{(7)}$  и  $F_{\text{cf}}^{(9)}$ , минимальной сложностью  $L_F(F_{\text{cf}}^{(7)})_{\min} = 6$ ,  $L_F(F_{\text{cf}}^{(9)})_{\min} = 8$ . При этом однозначно определен порядок вычисления формул  $F_{\text{cf}}^{(7)}$  и  $F_{\text{cf}}^{(9)}$ . Также использована таблица повторяемости переменных в полиномах Жегалкина.

**Закключение.** Предложен метод многоступенчатого алгебраического синтеза булевых формул, позволяющий учесть нетривиальные свойства декомпозируемой функции и на основе этого получить ее эффективное представление.

**Литература**

Чебурахин И. Ф. Синтез дискретных управляющих систем и математическое моделирование: алгоритмы, программы // М.: Физматлит, 2004.

Егорова Е. К., Чебурахин И. Ф. О минимизации сложности и автоматизации эффективного представления булевых функций в классах формул и схем // Изв. РАН. ТИСУ. 2013, № 3, С. 121-129.

### Оценка базы 3-комплекса

Егорова Е.К., Мокряков А.В.

Научный руководитель – Цурков В.И.

МАИ, г. Москва

Вопрос подсчёта экстремальных 3-комплексов пока не решён аналитически. Поэтому был выбран следующий способ:

- Написана программа, подсчитывающая все возможные экстремальные комплексы с помощью задания всех баз, которые можно построить на  $n$  вершинах.
- Посчитали все значения для  $n$  до 11 включительно и разбили полученные данные на группы по мощности баз.
- Пусть  $B_n^k$  – количество баз, состоящих из  $k$  элементов на  $n$  вершинах.
- Предпожили, что  $B_n^k = \sum_i a_i C_t^{4n}$ , где  $t$  зависит от количества вершин.
- Предположение подтвердилось в части полученных данных. К сожалению время подсчёта, для каждого следующего  $n$  возрастает сравнимо с  $10^n$ . Поэтому пока удалось найти только значения для  $1 \leq k \leq 3$ :

$$B_n^1 = C_n^4; B_n^2 = 15C_{n+2}^8 + 5C_{n+1}^8 + C_n^8;$$
$$B_n^3 = C_{n+6}^{12} + 127C_{n+5}^{12} + 722C_{n+4}^{12} + 610C_{n+3}^{12} + 183C_{n+2}^{12} + 17C_{n+1}^{12} + C_n^{12}.$$

Для следующих значений коэффициенты растут ещё быстрее. Форма должна иметь тот же вид, только с большим количеством коэффициентов.

### Математическое моделирование скоростной аберрации при лазерной локации ИСЗ, находящегося на круговой орбите

Жукова М.Н., Пасисниченко М.А.

Научный руководитель – Денисов В.И.

МАИ, г. Москва

Согласно оптике, законы отражения от движущегося зеркала отличаются от законов отражения от покоящегося зеркала (так называемая скоростная аберрация). Эта закономерность должна проявляться и при отражении от ретрорефлектора – от оптического прибора, применяемого при лазерной локации космических аппаратов. Ретрорефлектор устроен так, что в системе покоя он отражает световой импульс строго обратно по направлению, по которому этот импульс пришел. Если же он движется вместе с космическим аппаратом относительно лазерной станции, то между направлением, по которому этот импульс приходит к ретрорефлектору, и направлением, по которому он отражается, должен существовать некоторый угол. Из-за этого угла эффективность лазерной локации снижается. Целью настоящей работы является математическое моделирование влияния скоростной аберрации на величину этого угла во всей области, доступной лазерной станции для локации. Основными уравнениями нашей математической модели являются: - уравнения движения космического аппарата геоцентрической не вращающейся системе отсчета; - уравнения движения светового импульса в этой же системе отсчета. Для уменьшения погрешностей, вносимых неоднородностью атмосферы, рабочими при лазерной локации считаются участки небесной сферы,

расположенные на  $20^\circ$  выше местного горизонта. Это условие в топоцентрической системе отсчета принимает вид:

$$z_s(t) > \sqrt{x_s(t)^2 + y_s(t)^2 + z_s(t)^2 \cos 70^\circ}.$$

В работе [1] показано, что в геоцентрической не вращающейся системе отсчета вектор скорости отраженного светового импульса  $V_{ref}$  равен:

$$V_{ref} = 2V_r - V_{(ph)} - 2(V_{(ph)}V_r)V_{(ph)}/c^2 + O(V_r^2/c^2)V_{(ph)},$$

где  $V_r$  – вектор скорости космического аппарата, а  $V_{(ph)}$  – вектор скорости импульса, испущенного лазерной станцией.

Синус угла аберрации  $\alpha$  может быть найден из соотношения:

$$\sin \alpha = \left\| \left[ V_{ref}, V_{(ph)} \right] \right\| / c^2.$$

Проведенный численный расчет с использованием построенной математической модели показал, что величина угла скоростной аберрации при лазерной локации может достигать нескольких угловых секунд, что приводит к смещению центра светового импульса относительно лазерной станции от сотни метров в случае локации низкоорбитального космического аппарата до километра при локации высокоорбитального космического аппарата.

Литература.

[1] Денисов М.М. // Закон отражения лазерного импульса от ретрорефлектора, установленного на космическом аппарате. Электромагнитные волны и электронные системы. 2010. Т. 15. № 4. С. 33-39.

## **Метод R-функций решения неоднородной задачи изгибных колебаний тонкой пластины сложной формы**

Ирышкова Ю.В.

Научный руководитель – Семерич Ю.С.

ПГУ, г. Пермь

Работа посвящена решению с помощью метода R-функций неоднородной краевой задачи для дифференциального уравнения в частных производных четвертого порядка, которая описывает изгибные колебания тонкой упругой однородной изотропной пластинки. Математическая модель задачи имеет вид

$$-\Delta^2 u(x, y) - \lambda u(x, y) = 0, \quad \forall (x, y) \in \Omega \subset R^2, \tag{1}$$

$$u(x, y)|_{\partial\Omega} = g(x, y), \quad \left. \frac{\partial u(x, y)}{\partial \nu} \right|_{\partial\Omega} = h(x, y). \tag{2}$$

Здесь используются следующие обозначения:  $u(x, y)$  – функция прогиба срединной поверхности пластинки;  $\Delta^2$  – бигармонический оператор;  $\lambda$  – числовой параметр;  $\Omega$  – ограниченная односвязная область в  $R^2$  с кусочно-

гладкой границей  $\partial\Omega$ ;  $\nu$  – внешняя нормаль к границе  $\partial\Omega$ ;  $g(x, y)$ ,  $h(x, y)$  – заданные на  $\partial\Omega$  функции.

Замена  $u = \Phi + \Psi$  позволяет перейти к задаче с однородными краевыми условиями. Здесь  $\Psi$  – новая неизвестная функция, а  $\Phi$  – известная функция, построение которой выполняется с помощью метода  $R$ -функций [2].

Как известно [2], краевой задаче соответствует эквивалентная задача о нахождении наименьшего собственного числа оператора  $-\Delta^2$ , то есть задача об определении точной нижней границы функционала

$$I(\Psi) = (-\Delta^2 \Psi, \Psi) - 2(f, \Psi)$$

при дополнительном условии  $(\Psi, \Psi) = 1$  на множестве функций из  $M = \left\{ \Psi(x, y) \mid \Psi \in C(\bar{\Omega}), \Psi \in C^4(\Omega), \Psi|_{\partial\Omega} = 0, \partial\Psi/\partial\nu|_{\partial\Omega} = 0 \right\}$ ,

$\bar{\Omega} = \Omega \cup \partial\Omega$  в гильбертовом пространстве  $L_2(\Omega)$ .

Неизвестная функция  $\Psi(x, y)$  выбирается из условия точного удовлетворения краевым условиям и строится с помощью метода  $R$ -функций в виде [2]

$$\Psi(x, y) = \omega^2(x, y)\Phi(x, y), \quad (3)$$

где функция  $\omega(x, y)$  является знакопостоянной в области  $\Omega$  и равна нулю на границе  $\partial\Omega$ , то есть  $\omega(x, y) = 0$  на  $\partial\Omega$ ,  $\omega(x, y) > 0$  внутри  $\Omega$ ,  $\omega(x, y) < 0$  вне  $\Omega$ ;  $\Phi(x, y)$  – так называемая неопределенная компонента структуры решения, которая задается в виде линейной комбинации некоторой системы базисных функций  $\{\gamma_k(x, y)\}$  с неизвестными коэффициентами  $\alpha_k$ , то есть

$$\Phi(x, y) \approx \Phi_n(x, y) = \sum_{k=1}^n \alpha_k \gamma_k(x, y) \quad (4)$$

Функция  $\Phi$  выбиралась в виде  $\Phi = \tilde{g} - \omega(D_1 \tilde{g} + \tilde{h})$ , где  $D_1 = (\partial\omega/\partial x)(\partial/\partial x) + (\partial\omega/\partial y)(\partial/\partial y)$ ;  $\tilde{g}$  и  $\tilde{h}$  – продолжения функций  $g$  и  $h$  внутрь области.

#### Список литературы

1. Кревчик, В.Д. Определение модуля Юнга тонких пластин и стержней с помощью колебательной системы с присоединенной массой / В.Д. Кревчик, А.В.



Рудин, С.В. Кочкин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 2 (26). – С. 110-119.

2. Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения. – Киев: Наук. думка, 1982. – 552 с.

## Оптимальное управление процессом науглероживания стального цилиндрического стержня

Ислентьев М.Д.

Научный руководитель – Петров В.М.

МАИ, г. Москва

В настоящее время практически все распространенные в промышленности способы нагрева металла до температур пластической деформации приводят к существенному обезуглероживанию его поверхностного слоя. Для улучшения качества изделий можно восстановить обезуглероженный слой реставрационным науглероживанием.

В связи с этим в работе рассматривается задача об оптимальном управлении процессом науглероживания стали на примере цилиндрического стержня радиуса  $R$  и конечной длины  $L$ , на поверхности которого происходит диффузионный обмен с внешней средой. При этом будем считать, что стержень стоит вертикально на подставке с малым коэффициентом диффузии, что не позволяет примеси углерода выходить через его нижнюю поверхность. Обозначаем через  $C = C(t, r, z)$  концентрацию углерода внутри стержня в момент времени  $t$  в точке  $(r, z) \in \Omega = \{0 \leq r \leq R, 0 \leq z \leq L\}$  и считаем, что в начальный момент времени концентрация углерода внутри него равна нулю. К заданному моменту времени  $T > 0$  через управление концентрацией углерода во внешней среде необходимо максимально приблизить концентрацию углерода в стержне к желаемому распределению  $C_g(r, z)$ .

Этот процесс описывается уравнением в частных производных параболического типа в цилиндрических координатах и следующими начальными и граничными условиями:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( D r \frac{\partial C}{\partial r} \right) + D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}, 0 \leq t \leq T, (r, z) \in \Omega; \\ C|_{t=0} &= 0, (r, z) \in \Omega; \\ C|_{r=0} < \infty, \left( C + \frac{D}{h} \frac{\partial C}{\partial r} \right) \Big|_{r=R} &= u(t), 0 \leq t \leq T, 0 \leq z \leq L; \\ D \frac{\partial C}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0, \left( C + \frac{D}{h} \frac{\partial C}{\partial z} \right) \Big|_{z=L} &= u(t), 0 \leq t \leq T, 0 \leq r \leq R, \end{aligned}$$

где  $D$  – коэффициент диффузии,  $h$  – коэффициент массоотдачи,  $u(t)$  – концентрация углерода во внешней среде.

В качестве минимизируемого функционала был выбран квадратичный функционал качества вида

$$J = \iint_{\Omega} [C(T, r, z) - C_g(r, z)]^2 dr dz$$

С помощью конечного интегрального преобразования по вертикальной переменной задача свелась к системе одномерных параболических уравнений,

где роль пространственной координаты играет радиус стержня, при этом управление входит в граничное условие.

Для численного решения данной задачи был использован градиентный метод наискорейшего спуска, при этом градиент минимизируемого функционала определялся с помощью привлечения сопряженной системы уравнений.

## **Разработка программного комплекса для решения двумерной задачи распределения тепла методом переменных направлений**

Кадыева Л.М.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

Рассматривается модельная задача распространения тепла в прямоугольной области. Исходное двумерное уравнение теплопроводности имеет вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \Delta u + f(x, t),$$

где  $f(x, t)$  – функция источников тепла. В данной задаче  $f(x, t) = x_1 t^2 \sin x_2$ . Уравнение решается в области  $G = \{0 < x_1 < 1; 0 < x_2 < \frac{\pi}{2}\}$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x_1} \right|_{x_1=0} = \left. \frac{\partial u}{\partial x_1} \right|_{x_1=1} = 0; \quad \left. \frac{\partial u}{\partial x_2} \right|_{x_2=0} = \left. \frac{\partial u}{\partial x_2} \right|_{x_2=\frac{\pi}{2}} = 0; \quad u|_{t=0} = 0.$$

В настоящей работе рассматривается применение метода переменных направлений (продольно-поперечная схема). Для этого вводится равномерная сетка и для значений функции в узлах сетки составляется разностная схема. Решение задачи сводится к нахождению решения двух систем с трехдиагональными матрицами вида:

$$\begin{aligned} \left( u_{ij}^{k+\frac{1}{2}} - u_{ij}^k \right) / (\tau/2) &= A_1 u_{ij}^{k+\frac{1}{2}} + A_2 u_{ij}^k + f \left( x_{1i}, x_{2j}, t_{k+\frac{1}{2}} \right), \\ \left( u_{ij}^{k+1} - u_{ij}^{k+\frac{1}{2}} \right) / (\tau/2) &= A_1 u_{ij}^{k+\frac{1}{2}} + A_2 u_{ij}^{k+1} + f \left( x_{1i}, x_{2j}, t_{k+\frac{1}{2}} \right), \\ 1 \leq i \leq N_x - 1; 1 \leq j \leq N_y - 1; 0 \leq k \leq M - 1, \end{aligned}$$

где  $u_{ij}^{k+\frac{1}{2}}$  – значение температуры в узле  $(i, j)$  на промежуточном  $(k + \frac{1}{2})$  слое,  $A_1$  и  $A_2$  – разностные операторы. Первая схема неявна по направлению  $x_1$  и явна по направлению  $x_2$ , вторая – явна по  $x_1$  и неявна по  $x_2$ , что позволяет использовать для нахождения решения одномерные прогоны. Описанные действия выполняются для всех моментов времени до выполнения условия  $\left| \frac{u_{ij}^{k+1} - u_{ij}^k}{u_{ij}^{k+1}} \right| < \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  – точность счета.

При решении многомерной задачи большое значение имеет число арифметических действий для решения задачи с требуемой точностью. Явная и неявная схемы имеют одинаковый порядок точности, но при использовании явной схемы количество арифметических действий пропорционально числу узлов сетки при условной устойчивости. В случае неявной схемы необходимо решить систему уравнений, число которых пропорционально количеству узлов сетки, но в то же время такая схема безусловно устойчива. Метод переменных

направлений относится к так называемым экономичным разностным схемам, которые сочетают в себе достоинства явных и неявных схем – относительно небольшой объем работы и безусловная устойчивость.

При разработке программного комплекса была учтена возможность задания начальных условий и функции источников тепла пользователем. Таким образом, после ввода данных программа строит статичный график в координатах XYZ в зависимости от времени и сохраняет изображение либо динамичный график в тех же координатах в зависимости от временного интервала. Во втором случае результатом работы является gif-файл. Для разработки программного комплекса использовался пакет программ MATLAB, в котором происходит моделирование и нахождение оптимального решения исходной системы.

В настоящее время программный комплекс проходит доработку на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника» в МАИ.

### **Синтез оптимального регулятора ГТД заданной точности путём оптимизации описания его предметной области**

Капырин Н.И.

Научный руководитель – Костюков В.М.

МАИ, г. Москва

В работе исследован способ оценки сложности математических моделей относительно предметной области информационных и управляющих систем, также решается задача структурно-параметрической идентификации, построенная на его основе. Работа является развитием [1, 2] и демонстрирует процесс синтеза оптимального регулятора газотурбинного двигателя (ГТД).

Проектирование оптимальных регуляторов и фильтров можно представить, как ряд структурных преобразований – структурированные априорные сведения, все уравнения, экспериментальные наблюдения и другие представления, должны найти отражение в свойствах системы. На основе этого ставится задача структурно-параметрического синтеза регулятора – аналитически (алгебраическая часть решения) или при помощи численных методов (идентификация). Несмотря на хороший уровень широко доступного инструментария для обеих задач, адекватная по предметной области идентификация осложнена тем, что обобщающую способность модели, на основе которой синтезируется регулятор, принято изучать в целом, не распределяя вклад в точность работы на разные компоненты предметной области.

Метрика, изученная в работе, позволяет перенести требования к точности на требования к каждому звену модели, поскольку опирается на шаблон модели (мета-модель) значительно большего уровня сложности, чем необходимо для синтеза. Относительно мета-модели, сложность текущей реализации регулятора выражается через параметризованную структуру поверх мета-модели (уже без структурной неопределённости).

Инструментарий, демонстрирующий метрику сложности модели, является простой системой автоматизированного проектирования (САПР) задач структурного синтеза, в которой реализованы следующие действия:

- мета-модель в формате OpenDocument/Draw хранит объекты MathML, SVG и CSV в виде сетевой диаграммы;
- автоматическая обработка модели объединяет формулы, экспериментальные данные и условные обозначения из документа в общее представление;
- на основе анализа интерфейсов математической модели генерируется код для задачи идентификации и происходит её решение.

В итоге, помимо традиционного сравнения эксперимента и симуляции, мы получаем новую возможность оценки адекватности регулятора. Работа системы продемонстрирована на канонических примерах, а также на наброске регулятора для некоторых функций ГТД.

Литература.

1. Капырин, N. Design of gas turbine control systems at different levels of abstraction / N. Капырин // Proceedings of the 29 Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences. – St. Petersburg, Russia, 2014.

2. Капырин, Н. И. Разработка системы структурной идентификации моделей газотурбинного двигателя с элементами системы компьютерной алгебры / Н. И. Капырин, В. М. Костюков // Тезисы 13-ой Международной конференции "Авиация и космонавтика-2014". – М., 2014. – С. 325.

### **Использование систем линейных регрессионных уравнений для оптимизации производства со стохастическими параметрами**

Котенко А.А.

Научный руководитель – Докучаев А.В.  
СамГТУ, г. Самара

Рассматривается задача многокритериальной оптимизации технологического (например, химического) процесса с конфликтующими критериями. При этом связи, вызывающие влияние исходных параметров сырья на целевые характеристики продукции, обычно имеют стохастическую природу. Предложено использовать систему регрессионных линейных уравнений, позволяющих построить экономически оптимальный выпуск годной продукции. Выявлен статистически противоречивый характер ограничений, описывающих требования стандартов к готовой продукции.

Подобные технологии характерны, например, для нефтепереработки (производство битумов, асфальта, топливных смесей), когда сырьё поступает с разных месторождений и имеет значительный разброс характеристик. Определение выходных параметров продукции (значений целевых функций) может исследоваться статистически, однако идентификация параметров соответствующих регрессионных уравнений не даёт ответа на вопрос: как подобрать управляющие технологические факторы, гарантирующие попадание конфликтующих целевых критериев в заданную стандартами область?

Задача сведена к идентификации параметров (структурных коэффициентов) системы  $AY=BX$  линейных взаимозависимых регрессионных уравнений (структурная форма модели – СФМ). Как известно, применение метода наименьших квадратов (МНК) к отдельным уравнениям системы СФМ даёт

несостоятельные точечные оценки структурных коэффициентов по заданной экспериментальной выборке.

В этом случае применим косвенный МНК: строится приведённая форма модели (ПФМ) из независимых уравнений, связывающих целевые критерии  $Y$  с независимыми регрессорами  $X$ . Выборочные приведённые коэффициенты находятся с помощью МНК и при обычных предположениях дают несмещённые эффективные состоятельные точечные оценки соответствующих приведённых коэффициентов генеральной совокупности.

Таким образом, задача сводится к идентификации выборочных структурных коэффициентов по приведённым. Подстановка идентифицированных приведённых регрессий в структурные уравнения и приравнивание коэффициентов при независимых (экзогенных) переменных  $X$  даёт систему линейных неоднородных алгебраических уравнений общего вида.

Поскольку число уравнений и число неизвестных для каждого уравнения СФМ в общем случае произвольны и могут меняться от одного уравнения к другому, необходимо исследовать все возможные случаи:

- точная идентифицируемость, когда структурные коэффициенты определяются по приведённым алгебраически однозначно,
- неидентифицируемость при бесконечном числе равноценных алгебраических решений,
- сверхидентифицируемость, при которой противоречивая алгебраически система имеет единственное наилучшее в смысле МНК решение.

Предложена методика определения допустимых интервалов технологических параметров химического производства, позволяющая определить возможности существующих технологий обеспечивать стандартизованные характеристики продукции с заданной статистической надёжностью. В случае, когда такие технологические параметры выдержать не удаётся, предлагается кардинально решать вопрос обновления технологических процессов и оборудования.

## **Численное моделирование взаимодействия ударной волны с турбулентным потоком**

Кравченко А.Р.

Научный руководитель – Кудимов Н.Ф.

МАИ, ЦНИИмаш, г. Москва

Явление взаимодействия турбулентного потока с ударными волнами очень часто встречается в различных областях – ракетной, авиационной и многих других. Поэтому довольно часто исследователи и инженеры сталкиваются с проблемой выбора модели турбулентности, которая бы давала наиболее физически корректные результаты. При этом есть ряд трудностей в математическом моделировании рассматриваемого явления. В частности, в работе [1] авторами показано, что применение классических моделей турбулентности приводит к завышению турбулентной энергии при взаимодействии скачка с турбулентным потоком. Это приводит к необходимости учитывать эффекты неравновесности в моделях турбулентности, не реализованных в большинстве коммерческих пакетов программ (ANSYSFluent, Star-CD и т.д.).

Разработанная программа для расчета двумерных задач, основанная на осредненных уравнениях Навье-Стокса с моделью турбулентности Спалларта-Алмараса с учетом неравновесных эффектов [2] была верифицирована на различных известных тестах – задаче распада произвольного разрыва с различными конфигурациями (тест Сода, тест Коллелы[3]), а также тесте Шу-Ошера о взаимодействии ударной волны ( $M=3$ ) с неоднородной средой. В частности, показано, что запрограммированный приближенный решатель задачи распада-разрыва Хартена-Лакса-Лира (HLL) дает одинаковые результаты при меньшем требуемом времени решения, чем классический метод Годунова с полным решением задачи распада-разрыва. Также проведен анализ схемной вязкости различных численных схем (схем типа Годунова, Лакса-Вендрофа, Лакса-Фридрикса, Варминга-Бима) для уравнения переноса. Такое тестирование разработанной программы позволяет судить о различных свойствах запрограммированных численных схем (численной вязкости, дисперсии) и делать прогноз о применимости той или иной схемы для решения различных задач.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №16-38-00907.

Литература.

1. Иванов И.Э., Крюков И.А., Ларина Е.В. Математическое моделирование взаимодействия турбулентности с ударными волнами. Вестник МАИ, т. 18, No1, 2011, с. 21-26.

2. Rung, T., Bunge, U., Schatz, M., and Thiele, F., "Restatement of the Spalart-Allmaras Eddy-Viscosity Model in Strain-Adaptive Formulation," AIAA Journal, Vol. 41, No. 7, 2003, pp. 1396-1399.

3. E.F. Toro. Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics. Springer, 2009.

### **Устойчивость вращающихся тел с полостями, заполненными жидкостью**

Кривенков В.С., Филатова Д.В., Цыганов А.А.

Научный руководитель – Гурченков А.А.

МАИ, г. Москва

В последние годы проводятся обширные исследования в области разработки систем управления. Очень часто весьма важные результаты с точки зрения построения системы управления можно получить из математического описания и изучения только объекта регулирования. По известной динамике объекта регулятор может быть найден стандартными методами.

Рассматривается объект регулирования, который представляет собой твердое тело с полостями, частично или полностью заполненными жидкостью, что представляет интерес, как с практической, так и с теоретической точки зрения применительно к таким задачам, как изучение динамики шара, заполненного жидкостью, при угловой стабилизации ракет.

Эту проблему в настоящее время нельзя считать решенной с теоретической точки зрения, хотя она была предметом ряда исследований.

Динамика системы рассматриваемого типа описывается системами обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных

производных. Обыкновенные дифференциальные уравнения описывают движение твердого тела, а уравнения в частных производных – движения жидкости. Чаще всего при переходе от дифференциальных уравнений в частных производных к обыкновенным дифференциальным уравнениям возникает большое количество уравнений, требующих сложных вычислений.

Идея предлагаемого метода состоит в том, чтобы сократить часть переменных, прежде чем решать уравнения, описывающие систему в целом. В первую очередь должны быть уничтожены переменные, описывающие движение жидкости. В результате система будет описываться матрицей полных сопротивлений, связывающей степени свободы твердого тела и соответствующие силы, и моменты. Матрица также отражает влияние жидкости на систему. Этот метод имеет следующие преимущества.

- Для любого типа нетвердого элемента требуется только один раз составить и запрограммировать уравнение. Неважно, сколько элементов этого типа содержится в системе.
- Исходная задача распадается на несколько небольших задач, каждая из которых решается более просто.
- В большинстве случаев возможно получение общих решений дифференциальных уравнений в частных производных, что особенно важно для определения областей устойчивости.

Одним из наиболее интересных свойств каждой системы является ее область устойчивости в функции параметров системы. Для линейных систем с сосредоточенными параметрами имеется ряд стандартных процедур, позволяющих решить эту задачу. Наиболее хорошо известны критерии Рауса-Гурвица и метод Ляпунова [1], использующий функцию Гамильтона в качестве исходной функции. Однако чаще всего эти методы требуют громоздких вычислений.

Рассмотрим ряд факторов, позволяющих значительно облегчить работу. Для этого уравнения системы необходимо составить в форме Лагранжа, т.е. в виде системы уравнений второго порядка.

$$A\ddot{x} + (G + D)\dot{x} + (E + F)x = 0 \quad (1)$$

Матрица, описывающая вторую производную главного вектора, всегда симметрична. Остальные матрицы распадаются на симметричные (D и F) и несимметричные (G и E). Матрицы имеют следующий физический смысл: A – масса, D – демпфирование, G – гироскопический момент, F – силы упругости, E – неконсервативные силы.

Следующая теорема полезна при определении области устойчивости (Томсон, Четаев) [2]. Если матрица D положительно определенная и  $E \neq 0$ , то устойчивость системы определяется только матрицей F и не зависит от A, D и G.

В предлагаемом методе дифференциальные уравнения в частных производных не заменяются системами обыкновенных дифференциальных уравнений, и система не может быть представлена в форме (1). Однако матрицы в (1) оказываются симметричными, что позволяет непосредственно применять теоремы [2] к дифференциальным уравнениям в частных производных. Теорема Томсона-Тэйта применима только для систем с демпфированием. Если требуемые условия выполнены, то теорема определяет область устойчивости в

общем виде. Опубликованные ранее результаты рассматриваются как особые случаи.

Литература.

Иртегов В.Д. О методе Рауса-Ляпунова. Институт динамики систем и теории управления СО РАН, Иркутск. 2011.

Thomson W. and Tait P. Treatise on Natural Philosophy. Part I. Cambridge University Press, 1879.

### **Компьютерное моделирование графеновых датчиков давления ёмкостного типа**

Кузнецова А.В., Ляпунов Н.В., Сидоров А.А.

Научный руководитель – Афанасьев В.П.

МЭИ, г. Москва

В настоящее время все больший и больший интерес вызывают датчики давления (ДД), материалом чувствительного элемента (измерительной мембраны) которых является двумерная аллотропная модификация углерода – графен. Это обусловлено, в первую очередь, уникальными свойствами графена, позволяющими улучшить массовые и габаритные характеристики готового датчика за счет уменьшения размера измерительной мембраны от нескольких микрометров (для традиционных кремниевых ДД) до нескольких ангстрем (диаметр атома углерода).

Двумя наиболее распространенными типами ДД являются тензорезистивный и емкостной. В ДД тензорезистивного типа 4 резистора соединены в мост Уитстона. Тип моста выбирается в зависимости от желаемой чувствительности готового датчика: это может быть, как четверть- или полу-, так и полный мост. В традиционных кремниевых ДД обычно задействованы все 4 резистора, но применение графена в качестве материала измерительной мембраны накладывает некоторые ограничения на конструкцию датчика, поэтому оптимальным является полу- или четверть-мост. Последний подробно рассмотрен в работе зарубежного коллектива авторов [1]. Принцип действия данного датчика основан на изменении сопротивления резистора-мембраны, обусловленном тензорезистивным эффектом – изменением сопротивления материала при деформации.

Однако, несмотря на все достоинства ДД тензорезистивного типа, ДД емкостного типа имеют значительное преимущество в плане математического расчета и последующего компьютерного моделирования. Упрощенно, ДД емкостного типа является плоский конденсатор, в котором одна из обкладок неподвижна, а другая – графеновый монослой – под действием приложенного (измеряемого) давления прогибается, тем самым изменяя расстояние между обкладками конденсатора. Таким образом, по изменению емкости конденсатора можно однозначно определить величину приложенного давления. Стоит отметить, что графе новый ДД емкостного типа предназначен скорее не для измерения давления как такового, а для фиксирования изменения давления с очень высокой точностью. Это может быть использовано в тех областях, где требуется контролировать и поддерживать давление на определенном уровне,



малейшее несоответствие которому может привести к критическим последствиям.

Литература.

1. A. D. Smith, F. Niklaus, A. Paussa, S. Vaziri, A. C. Fischer, M. Sterner, F. Forsberg, A. Delin, D. Esseni, P. Palestri, M. Östling, M. C. Lemme. Electromechanical Piezoresistive Sensing in Suspended Graphene Membranes // Nano Letters. 2013. 13 (7). PP 3237–3242.

## **Концепция платформы для анализа математических и имитационных моделей**

Малышева М.С., Ненахов Е.В.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

В настоящее время одной из актуальных проблем является автоматизация процесса анализа эффективности работы имитационных и математических моделей. Для исследования этой проблемы была поставлена задача разработать концептуальную платформу для анализа математических и имитационных моделей.

В процессе решения была разработана архитектура данной платформы, состоящая из следующих модулей:

- Имитационная или математическая модель – объект исследования.
- Методы(инструменты) анализа модели.
- Графический интерфейс для представления входных параметров и результатов работы платформы.
- Обработка данных.

В качестве входных данных для платформы будет выступать строго структурированный файл определенного формата. Входной файл будет содержать обязательные параметры, такие как: полный путь до исполняемого файла модели, входные параметры модели. Конфигурационный файл настраивается пользователем. Анализируемая модель должна удовлетворять минимальным требованиям, необходимым для успешной проверки в данной платформе. С учетом указанных параметров, в специальном модуле тестируется модель с последующим сбором данных о результатах работы модели. Количество тестируемых объектов исследования не ограничивается одной моделью. Модели тестируются независимо друг от друга и анализ полученных результатов также проводится обособленно.

Полученные данные передаются в модуль анализа модели. В данном модуле происходит обработка полученной информации с помощью определенных методов математической статистики. Результатом работы этого модуля является информация, позволяющая оценить эффективность данной версии модели в зависимости от входных параметров. Выходные данные передаются в модуль обработки данных.

Модуль обработки данных собирает полученную информацию и на ее основе создает отчет в определенном формате о результатах теста объекта исследования на данной платформе. Также данный модуль предоставляет возможность экспортировать отчет о результатах в выбранный пользователем

текстовый формат данных. Модуль обработки данных поддерживает возможность версионности проводимых тестов, а также сохранение статистики в базе данных.

Визуализация отчета для пользователя происходит в модуле графического интерфейса. Графический интерфейс позволит отображать результаты исследования в удобной форме в виде графиков и диаграмм. А также, отображать сам процесс моделирования и прогресс исследования объектов.

Данные между модулями передаются по особому протоколу.

В результате была разработана концепция платформы, позволяющая создать универсальный программный комплекс для анализа имитационных и математических моделей. Программный комплекс предоставит возможности для получения оценки эффективности данных моделей независимо от объектов моделирования.

## **Методы статистического анализа значимости внесенных изменений в математическую модель**

Мальшева М.С., Ненахов Е.В.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

В настоящее время одной из актуальных проблем является оценка эффективности работы математической модели. Часто при упрощении модели рядом параметров можно пренебречь, однако достаточно трудно оценить, насколько адекватной она останется. Для того, чтобы получить данную оценку, возникла необходимость определить, насколько изменилось физическое поведение модели, как поменялись данные и их характер. Найти ответы на поставленные вопросы позволяет сравнительный анализ.

Для исследования этой проблемы была поставлена задача: создать платформу, которая могла бы по некоторым признакам оценить влияние внесенных изменений на модель и сравнить с помощью методов статистического анализа измененную модель с ее исходной версией.

В процессе решения был разработан инструмент, позволяющий провести статистический и сравнительный анализы, в частности, корреляционный анализ, работы модели. На начальном этапе происходит сбор данных исходной математической модели, которые передаются в качестве входных данных платформе. Для сравнения требуется собрать данные измененной модели и передать их платформе. На выходе генерируется отчет о проделанной работе.

Для генерации входных данных требовалось определить параметры, влияющие на эффективность работы модели, установить их зависимость друг от друга и выявить критические параметры. Следующей подзадачей стал выбор методов математической статистики для проведения анализа объекта исследования, подходящих для данной задачи.

Затем в рамках данной работы были определены критерии для сравнения версий объекта исследования, такие как: время сходимости модели, критерий точности и другие критерии, оказывающие влияние на решение, а также требования, которым должны удовлетворять исследуемые модели, так как добиться полной универсальности работы подобного оценивающего

инструмента для разнообразных математических или имитационных моделей невозможно.

Результатом работы стали разработанная методика статистического анализа значимости внесенных изменений в математическую модель и инструмент для автоматизированной оценки эффективности работы модели. Для тестирования данной платформы используются классические математические модели.

## **Теоретическое исследование ИК излучения колебательно возбужденной газовой смеси, содержащей HCl**

Маслова Д.В.

Научный руководитель – Молчанов А.М.

МАИ, г. Москва

Для расчета теплового излучения колебательно неравновесных высокоэнтальпийных продуктов сгорания необходимо знать скорости колебательного обмена энергии между молекулами, которые находятся в струе. Сложность этой задачи состоит в необходимости учета термодинамических неравновесных процессов: неравновесности химических реакций, тепловой и динамической неравновесности между различными фазами течения, термической неравновесности между различными степенями свободы молекул газа, а также процессов турбулентного смешения.

Несмотря на значительный объем информации, доступной в настоящее время о передаче энергии между основными молекулами, находящимися в выхлопном факеле (т.е. CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO, HCl, H<sub>2</sub>), большую важность представляют теоретические оценки для скоростей процессов, которые не были экспериментально исследованы. К ним, в частности, относятся энергетических реакции с участием возбужденных молекул HCl.

Расчет теплового излучения колебательно неравновесного газа проводится с использованием метода k-распределения.

Математическая модель включает в себя:

- основную систему уравнений – общее уравнение неразрывности, уравнение количества движения, уравнение полной энергии, уравнения неразрывности для компонентов газовой смеси и уравнения колебательной энергии для всех колебательных энергетических мод;
- уравнение переноса излучения для смеси газов без учета рассеяния (уширения);
- расчет распределения молекулярных состояний в предположении, что заселенности колебательно-вращательных уровней внутри одной энергетической моды подчиняются распределению Больцмана по соответствующим колебательным и вращательным температурам;
- методику расчета переносных свойств газовой смеси;
- систему реакций Коннера и др. для расчета горения водорода;
- трехпараметрическую  $k$ - $\epsilon$ - $V_n$  модель турбулентности для турбулентных течений.

Также в модели используются следующие допущения:

- вращательные энергетические моды находятся в равновесии с поступательными, и они определяются единой поступательно-вращательной температурой  $T=T_{tr}$ ;
- энергия возбужденных электронных состояний молекул пренебрежимо мала по сравнению остальными энергетическими модами;
- потери тепла на излучение в уравнении энергии обусловлены в основном высвечиванием (деактивацией) колебательных мод;
- колебательное движение молекул описывается моделью гармонического осциллятора;
- энергетические переходы электронов и ионов не учитываются.

Для численного решения основных газодинамических уравнений использовался численный метод из работы, и программа Universe CFD, разработанная в МАИ.

В работе по имеющимся в литературе данным для энергетических процессов с участием колебательно-возбужденных молекул HCl построены обобщающие зависимости в достаточно широком диапазоне температур ( $300 \text{ K} \leq T \leq 3000 \text{ K}$ ). Для тестирования полученных формул проведен расчет газодинамических параметров и интенсивности теплового излучения горячих продуктов сгорания при истечении их в спутный воздушный поток низкого давления ( $P_{\infty} = 0.007 \div 0.2 \text{ Па}$ ); рассмотрено влияние скоростей V-T и V-V колебательных переходов с участием возбужденных молекул HCl на распределение температур и спектр излучения.

## **Кластеризация и корреляционный анализ связанных рядов длин ортологических белков**

Молчанова В.О.

Научный руководитель – Любецкая С.Н.

МАИ, г. Москва

В данной работе проводился сравнительный анализ длин ортологических белков трех организмов относительно длин белков базисного ряда на основе представления о связанных вариационных рядах, когда базисный ряд упорядочен, а в других рядах порядок зависит от этого базисного ряда. Целью работы было дополнить исследование [1] тех же исходных данных [2], где для корреляционного анализа брали по два ряда из приращений длин каждого ортологического ряда относительно базисного и самих длин базисного ряда.

На первом этапе изучено одновременно четыре связанных ряда. Из исходных данных получилась матрица из 198 строк по 4 значения. Для группировки этих объектов применили метод кластерного анализа (иерархический агломеративный), а затем метод главных компонент. В итоге выделены три группы однородных объектов, три кластера: первый из 157 строк, второй из 38 строк и третий кластер из трех строк (их решено исключить из анализа). Затем методом главных компонент получили одну четырехмерную главную компоненту и рассчитали ее значения с высокой достоверностью. Оказалось, что каждому кластеру соответствуют непересекающиеся интервалы значений главной компоненты. Это подтверждает наличие кластеров.

Корреляционный анализ рядов длин ортологичных белков относительно длин базисного ряда проведен с уровнем значимости 0,05. По первому кластеру регрессии всех трех ортологичных рядов с базисным рядом имеют угловой коэффициент приблизительно равный 1, а величины свободных членов уравнений не велики и близки между собой.

По второму кластеру для всех трех случаев угловые коэффициенты значимо меньше 1 при почти втрое больших свободных членах уравнений регрессии, что вполне объясняет наличие кластеров.

На втором этапе определяли принадлежность кластерам тех белков, для которых не нашлось места в матрице из 198 строк. Кластеризация проводилась для исходных пар рядов, составленных, из базисного и одного из ортологичных рядов. В каждом случае получили три кластера. Первые соответствуют первому кластеру четырехмерного случая для всех организмов, а для второго и третьего кластеров проверили гипотезы об однородности их объединения при уровне значимости 0,05. Гипотеза принимается, причем уравнения регрессии по такому объединенному кластеру для всех организмов согласуются с выводами 4-мерного анализа по второму кластеру. Таким образом, одновременное изучение связанных рядов позволило надежно и более подробно описать соотношения длин ортологичных белков, выделив изменение зависимости длин между короткими и длинными рядами по кластерам.

Литература.

[1] A.V. Seliverstov, O.A. Zverkov, S.N. Istomina, S.A. Pirogov, P.S. Kitsis, Comparative Analysis of Apicoplast-Targeted Protein Extension Lengths in Apicomplexan Parasites, BioMed Research International, 2015, Vol. 2015, Article ID 452958.

[2]<http://lab6.iitp.ru/utills/aapf>

### **Решение уравнения типа волнового при моделировании траекторно-волнового движения объекта**

Нагорнова Д.В., Сафин А.А.

Научный руководитель – Валишин Н.Т.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Согласно методу V-функции, траекторное движение объекта (например, летательного аппарата, электрона, частицы) сопряжено с волновым движением [1-4]. Траекторное движение объекта описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений, а волновое движение – уравнением типа волнового. Рассматривается движение объекта в потенциальном поле сил, а именно, линейный гармонический осциллятор. В этом случае уравнение траекторного движения объекта (частицы) допускает первый интеграл движения. Полученное уравнение траекторного движения подставляется в уравнение волнового типа. Волновое уравнение для гармонического осциллятора решается с известными начальными и граничными условиями, вытекающими из метода V-функции. Для решения применяется метод разделения переменных. Полученное стационарное уравнение решается численно методом Рунге-Кутты четвертого порядка и аналитически в системе компьютерной математики Maple. В результате находятся собственные функции

и собственные частоты, которые удовлетворяют определенному закону, т.е. собственные частоты принимают дискретные значения. Отсюда с учетом оптико-механической аналогии [1,5,6] следует, что энергия гармонического осциллятора квантована. Причем закон квантования связывает три соседние уровни.

Полученные результаты согласуются с тем, что у реальных микроскопических осцилляторов, взаимодействующих со светом, могут осуществляться переходы только между соседними уровнями. К тому же закон квантования энергии гармонического осциллятора не противоречит известным результатам Шредингера [7].

Литература.

1. Valishin N.T. Variational principle and the problems dynamics // Life Science Journal. 2014, 11(8), pp. 568-574

2. Valishin N.T. A Method of V-Function and the Problems of Trajectory-Wave Dynamics // World Applied Sciences Journal 24 (7): 937-943, 2013

3. Валишин Н.Т. Валишин Ф.Т., Моисеев С.А. Траекторно-волновой подход к динамике электрона в атоме водорода. // Бутлеровские сообщения. Т.25. №5, 2011 г. С.1-12.

4. Валишин Н.Т., Павлова К.Е., Халилова А.И. Применение метода V-функции для решения прямой и обратной задачи динамики при движении объекта в центральном поле сил. // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева №3, 2010. С.84-92.

5. Валишин Н.Т. Вариационный принцип и задачи траекторно-волновой динамики. // Вестник КНИТУ-КАИ – 2014. №2. С.181-190.

6. Валишин Н.Т., Сафин А.А., Нагорнова Д.В. Оптико-механическая аналогия и задачи траекторно-волновой динамики // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки [Электронный ресурс]. 2015. № 6. Режим доступа: <http://www.apriori-journal.ru/seria2/6-2015/Valishin-Safin-Nagornova.pdf>

7. Шредингер Э. Квантование как задача о собственных значениях. // Вариационные принципы механики. Сборник статей. М. Физматгиз, 1959. С.668-704.

## **Оптимальное управление процессом нагрева плоской пластины**

Парамонов А.А.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

В работе рассматривается задача оптимального управления параболическим процессом. Такая задача возникает при изучении управления процессом теплопроводности, диффузии и т.п.

Сегодня в промышленности применяют различные технологии горячей обработки цветных металлов давлением. Одним из методов горячей обработки давлением является прессование профилей. Нагрев перед прессованием способствует повышению пластичности металла, и, таким образом, облегчает процесс его обработки. Довольно хорошо поддаются обработке, в частности вытягиванию в проволоку и прокатке в тонкие листы, алюминий и медь.

Технологии нагрева металла характеризуются высокими требованиями к нагреву:

- незначительное отклонение температуры от заданного значения,
- равномерность температурного распределения в заготовке.

Рассмотрим задачу, которая в теплофизических терминах может быть сформулирована следующим образом: имеется однородная плоская пластина (т.е. её толщиной можно пренебречь) длиной  $L_x$  и шириной  $L_y$ . На границах пластины происходит теплообмен с внешней средой и, кроме того, в пластине имеются собственные источники (или стоки) тепла. Через  $w = w(x, y, t)$  обозначим температуру пластины в точке  $(x, y)$  в момент времени  $t$ . Пусть  $w(\omega, 0) = \varphi(\omega), \omega = (x, y) \in \Omega = \{0 \leq x \leq L_x, 0 \leq y \leq L_y\}$  – распределение температуры в пластине в начальный момент времени  $t = 0$ . Требуется, управляя температурой внешней среды и плотностью источников тепла в пластине, к заданному моменту времени  $T > 0$  распределение температуры в пластине сделать как можно ближе к заданному распределению  $b(\omega), \omega \in \Omega$ .

Математическая формулировка задачи: требуется минимизировать функционал

$$J(u) = \int_{\Omega} |w(\omega, T; u) - b(\omega)|^2 d\omega + \beta \int_0^T u^2 dt$$

при условии, что  $w = w(\omega, t) = w(\omega, t; u)$  является решением краевой задачи:

$$\begin{cases} w_t = a^2 \Delta w + q(\omega, t), (\omega, t) \in \Omega \cup Q, \text{ где } Q = \{0 < t \leq T\} \\ w|_{t=0} = \varphi(\omega), \omega \in \Omega, \\ \left. \frac{\partial w}{\partial n} \right|_{\partial \Omega} = v[p(\bar{\omega}, t) - w(\bar{\omega}, t)], (\bar{\omega}, t) \in \partial \Omega \cup Q, \end{cases}$$

где  $a, L_x, L_y, v, T, \beta$  – заданные положительные величины,  $p(\bar{\omega}, t)$  – температура внешней среды,  $q(\omega, t)$  – плотность источников тепла,  $\varphi(\omega), b(\omega)$  – заданные функции из  $L_2(\Omega)$ . Предполагается, что  $u = \{p(\bar{\omega}, t), q(\omega, t)\}$  – искомое управление.

Для численного решения поставленной задачи используется метод проекции градиента, который сводится к построению управляющей последовательности:

$$p_{k+1}(\bar{\omega}, t) = \begin{cases} \hat{p} = p_k(\bar{\omega}, t) - 2\alpha_k a^2 v \psi(\bar{\omega}, t; u_k) \text{ при } p_{min} \leq \hat{p} \leq p_{max}, \\ p_{min} \text{ при } \hat{p} < p_{min}, \\ p_{max} \text{ при } \hat{p} > p_{max}, \end{cases}$$

$$q_{k+1}(\omega, t) = \begin{cases} \hat{q} = q_k(\omega, t) - 2\alpha_k a^2 v \psi(\omega, t; u_k) \text{ при } \|\hat{q}\|_{L_2}^2 \leq R^2 \\ \frac{R\hat{q}}{\|\hat{q}\|_{L_2}^2}, \text{ при } \|\hat{q}\|_{L_2}^2 > R^2. \end{cases}$$

Для подтверждения теоретических выкладок и численного эксперимента был разработан комплекс скриптов на языке MATLAB, позволяющий проводить минимизацию по заданным начальным данным и визуализировать распределение температуры к определенному моменту времени и вид оптимального управления. В настоящее время данный комплекс проходит тестирование на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника» в МАИ.

## Устранение влияния неоднородности в процессе тестирования

Полуян А.В.

Научный руководитель – Осокин А.В.

МАИ, г. Москва

Целью данной работы является исследование проблемы неоднородности в тестировании знаний учащихся и разработка метода устранения её влияния на результаты тестирования. Неоднородность выборок заданий возникает в том случае, когда тестовые варианты имеют одинаковую среднюю сложность заданий, но отличаются количеством заданий различной степени сложности. Таким образом, анализ результатов теста без необходимой коррекции этих результатов является ошибкой, а такой процесс тестирования не соответствует принципам модели Георга Раша.

Первым этапом деятельности был поиск неоднородности в выборках заданий. Для этого в среде программирования MATLAB был смоделирован процесс тестирования. Таким образом, были получены все возможные комбинации выборок тестовых заданий с одинаковой средней сложностью. Затем выборки были подвергнуты анализу на наличие неоднородности. Для проверки гипотезы однородности был использован критерий Пирсона. В результате, было установлено, что некоторые выборки неоднородны между собой, а это, в свою очередь, влечёт за собой необъективность в оценке знаний испытуемых.

В ходе исследований было установлено, что наиболее эффективным инструментом для устранения влияния неоднородности является применение корректирующих коэффициентов. Был разработан универсальный алгоритм поиска коэффициентов для различных выборок заданий путём решения задачи оптимизации. Полученные коэффициенты необходимо использовать для пересчёта баллов тестирования. Таким образом, по новым результатам тестирования становится возможным проведение сравнительного анализа, ввиду того, что влияние неоднородности было сведено к минимуму.

На этапе разработки процедуры пересчёта баллов с использованием корректирующих коэффициентов была обнаружена проблема, возникающая вследствие того, что заданиям с одинаковым уровнем сложности соответствуют разные коэффициенты. Для устранения данной проблемы разработан алгоритм, позволяющий корректно пересчитать баллы испытуемых и получить более объективные результаты. Установлено, что для эффективного перераспределения баллов необходимо учитывать, сколько разных коэффициентов соответствуют заданиям одного уровня сложности, а также веса этих коэффициентов.

Эффективность разработанной процедуры устранения влияния неоднородности была проверена в ходе проведения численного эксперимента. В итоге, после проведения процедуры пересчёта баллов, результаты у неоднородных тестовых вариантов были скорректированы, что, в свою очередь, способствует проведению объективного сравнительного анализа.

Также в работе был представлен и альтернативный метод решения проблемы неоднородности. В его основе лежит несколько иной алгоритм расчёта корректирующих коэффициентов, позволяющий на практике более существенно нивелировать разницу между результатами, которым соответствуют



неоднородные тестовые варианты. Однако в этом случае нарушается принцип минимальности отклонений от первоначальных выборок при расчёте коэффициентов. В связи с этим фактом, альтернативный метод не может считаться оптимальным, и не рекомендован к применению на практике.

### **Эффективное моделирование диффузионных процессов в литий-фосфорных аккумуляторах**

Романов Н.А.

Научный руководитель – Кудряшова Н.Ю.

ПГУ, г. Пермь

В современном мире подавляющее большинство технических устройств функционирует благодаря электроэнергии. Однако, достигнув впечатляющих результатов в области ее получения, человечество все еще не решило проблему долгосрочного хранения электричества. Создание эффективных аккумуляторов является чрезвычайно важным и перспективным направлением современной прикладной науки.

Одним из активно изучаемых типов аккумуляторов в данный момент является литий-фосфорный – это, в первом приближении, кусок черного фосфора, внутри кристаллической решетки которого могут находиться ионы лития. Моделирование диффузии ионов лития может дать ответы на многие вопросы физиков и химиков, а также поможет увеличить КПД готового изделия.

Эмпирическим путем установлено, что процесс зависит от таких макроскопических параметров, как начальная концентрация ионов лития в фосфоре и электролите и величины ЭДС. Допустим, что аккумулятор в начальный момент полностью разряжен (нулевая концентрация лития). В результате приходим к уравнению диффузии:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial X^2}$$
$$u(X, t)|_{X=\Gamma} = \phi(X)$$
$$u(X, 0) = 0$$
$$\frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0} = kR'(t) \Big|_{t=0}$$

Здесь  $u$  – концентрации в точке  $X$  в момент времени  $t$ ,  $\Gamma$  – граница области,  $R$  – сопротивление образца,  $a^2$  – коэффициент диффузии. Величина  $R$  будет расти по мере зарядки аккумулятора и зафиксирована при полном заряде.

Важно отметить, что данный процесс будет анизотропным, то есть величина коэффициента диффузии будет неодинаковой в различных направлениях. Более того, учитывая внутреннюю структуру черного фосфора, можно указать направление, вдоль которого коэффициент диффузии будет практически равен нулю [2]. Благодаря этому можно свести уравнение в пространстве к уравнению на плоскости.

Эффективное моделирование данного процесса возможно осуществить при помощи разностных методов [3]. Данные методы допускают параллелизацию, что дает возможность использовать в решении вычислительные кластеры или графические процессоры. Целью данной работы является построение устойчивой разностной схемы и ее программная реализация

Список литературы

1. Кревчик, В.Д. Определение модуля Юнга тонких пластин и стержней с помощью колебательной системы с присоединенной массой / В.Д. Кревчик, А.В. Рудин, С.В. Кочкин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 2 (26). – С. 110-119.

2. Motohiro Nagao, Akitoshi Hayashi, Masahiro Tatsumisago. Journal of the power sources. – 196 (16):6902–6905.

2. Численные методы. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. – Изд. «Бином. Лаборатория знаний», 2008. – 640.

## Метод R-функций решения задачи Гильберта для уравнений Коши–Римана в односвязной области сложной формы

Романова О.В.

Научный руководитель – Семерич Ю.С.

ПГУ, г. Пермь

В работе рассматривается задача Гильберта для уравнений Коши–Римана в односвязной области сложной формы. Решение задачи основано на сведениях к задаче о наклонной производной для уравнения Лапласа и применении вариационного метода Ритца в сочетании с методом R-функций. Математическая модель задачи имеет вид

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0, \quad \forall (x, y) \in \Omega \subset R^2, \quad (1)$$

$$\left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \Big|_{\partial\Omega} = f(x, y) \quad (2)$$

Здесь используются следующие обозначения:  $u(x, y)$  – искомая функция;  $\Omega$  – ограниченная односвязная область в  $R^2$  с кусочно-гладкой границей  $\partial\Omega$ ;  $g(x, y)$  – заданная на  $\partial\Omega$  функция.

Замена  $u = \Phi + \Psi$  позволяет перейти к задаче с однородными краевыми условиями. Здесь  $\Psi$  – новая неизвестная функция, а  $\Phi$  – известная функция, построение которой выполняется с помощью метода R-функций [2].

В краевой задаче (1), (2) выполним замену  $u = \Phi + \Psi$ , где  $\Psi$  – новая неизвестная функция, а  $\Phi$  – известная функция, такая, что

$$\left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) \Big|_{\partial \Omega} = f(x, y)$$

. Тогда для функции  $\Psi$  получим краевую задачу с однородным краевым условием:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, \quad \forall (x, y) \in \Omega \subset R^2, \quad (3)$$

$$\left( \frac{\partial \Psi}{\partial x} + \frac{\partial \Psi}{\partial y} \right) \Big|_{\partial \Omega} = 0 \quad (4)$$

Решение задачи (3), (4) будем искать с помощью метода R-функций. Для этого введем функцию  $\omega(x, y)$  такую, что является знакопостоянной в области  $\Omega$  и равна нулю на границе  $\partial \Omega$ , то есть  $\omega(x, y) = 0$  на  $\partial \Omega$ ,  $\omega(x, y) > 0$  внутри  $\Omega$ ,  $\omega(x, y) < 0$  вне  $\Omega$ . Кроме этого, введем

определенные в области  $\Omega$  операторы  $D = -(\partial \omega / \partial x)(\partial / \partial x) - (\partial \omega / \partial y)(\partial / \partial y)$  и  $T = (\partial \omega / \partial y)(\partial / \partial x) - (\partial \omega / \partial x)(\partial / \partial y)$ . Заменяем условие (4) на условие

$$g = (D\Psi + T\Psi) \Big|_{\partial \Omega} = 0 \quad (5)$$

Функция  $g$  определена везде в области  $\bar{\Omega}$ , а в точках границы обращается в нуль. Структура решения задачи (3), (4) имеет вид  $u = F_0 + w(\omega q - TF_0 - DF_0)$

$\psi = \Phi_0 + \omega(\omega q - D\Phi_0 - T\Phi_0)$ , где  $\Phi_0(x, y)$  – неопределенная функция.

#### Список литературы

1. Кревчик, В.Д. Определение модуля Юнга тонких пластин и стержней с помощью колебательной системы с присоединенной массой / В.Д. Кревчик, А.В. Рудин, С.В. Кочкин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 2 (26). – С. 110-119.

2. Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения. – Киев: Наук. думка, 1982. – 552 с.

## Метод R-функций решения задачи вихревого обтекания произвольного тела идеальной жидкостью

Сальников Д.В.

Научный руководитель – Семерич Ю.С.

ПГУ, г. Пермь

Работа посвящена решению краевой задачи, описывающей осесимметричное вихревое течение невязкой несжимаемой жидкости в круглой трубе около произвольного тела вращения относительно оси трубы с проекцией в осевом сечении сложной формы. Математическая модель задачи относительно функции тока  $\Psi(\rho, z)$  в переменных цилиндрической системы координат  $(\rho, \varphi, z)$  имеет вид

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial \rho^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \Psi}{\partial \rho} = g(\rho), \quad \forall (\rho, z) \in \Omega. \quad (1)$$

$$\Psi(\rho, z)|_{\partial\Omega_1} = \Psi_1, \quad \Psi(\rho, z)|_{\partial\Omega_2} = \Psi_2. \quad (2)$$

$$\Psi(\rho, z) = h(\rho), \quad \rho \rightarrow \infty. \quad (3)$$

Здесь используются следующие обозначения:  $\Omega$  – область в  $R^2$ , ограниченная линиями  $\partial\Omega_1$  и  $\partial\Omega_2$ ;  $g(\rho)$  и  $h(\rho)$  – заданные функции;  $\Psi_1$  и  $\Psi_2$  – заданные постоянные.

Задача при условии что  $g(\rho) = 0$  рассматривалась в работе [2].

Для решения задачи (1) – (3) воспользуемся методом R-функций в сочетании с вариационным методом Ритца. Для этого выполним замену  $\Psi(\rho, z) = u(\rho, z) + v(\rho, z)$ , где  $u(\rho, z)$  – новая неизвестная функция, а  $v(\rho, z)$  – некоторая функция, точно удовлетворяющая граничным условиям (2), (3) и принадлежащая классу  $C^2(\Omega)$ .

В результате приходим к краевой задаче с однородными краевыми условиями

$$\frac{\partial^2 u}{\partial \rho^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial u}{\partial \rho} = f(\rho, z), \quad \forall (\rho, z) \in \Omega \quad (4)$$

$$u(\rho, z)|_{\partial\Omega_1} = 0, \quad u(\rho, z)|_{\partial\Omega_2} = 0 \quad (5)$$

$$u(\rho, z) = 0, \quad \rho \rightarrow \infty. \quad (6)$$

$$f(\rho, z) = g(\rho) - \frac{\partial^2 v}{\partial \rho^2} - \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial v}{\partial \rho}.$$

Здесь

Приближенное решение задачи (4) – (6) будем искать в виде

$$u_n(\rho, z) = \omega(\rho, z) \sum_{\substack{i+k=0 \\ i,k \geq 0}}^n c_{ik} \gamma_{ik}(\rho, z)$$

Здесь  $\omega(\rho, z) \gamma_{ik}(\rho, z)$  – полная система линейно независимых функций, удовлетворяющие условиям (5), (6);  $c_{ik}$  – неопределенным коэффициенты. Функция  $\omega(\rho, z)$  строилась по методу R-функций.

Список литературы

1. Волчихин В.И. Построение математических моделей гетерогенных структур с использованием декомпозиционного подхода / В.И. Волчихин, Д.В. Артамонов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2011. – № 3. – С. 61-68.
2. Колосова С.В. Об обтекании невязкой жидкости цилиндра в трубе // Прикладная механика. – 1971. – № 7. – Вып. 10. – С. 100-105.

### **Модель специального программного обеспечения каталогизации наукоёмкой продукции**

Сидорина И.Ю.

Научный руководитель — Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Анализ применения информационных технологий в промышленности показывает, что одним из направлений развития является все более широкое применение каталогизации на всех стадиях жизненного цикла сложной наукоёмкой продукции в рамках интегрированной информационной среды.

В результате применения технологий интегрированной логистической поддержки обеспечивается создание, сопровождение и развитие систем технической эксплуатации, свойства которых должны быть рациональным образом согласованы с конструкцией изделия.

К проблематике интегрированной логистической поддержки и каталогизации принято также относить электронные технологии создания эксплуатационной и ремонтной документации, использующие информационные ресурсы, накапливаемые в базе данных, а также специфические информационные ресурсы и программные средства подготовки модулей данных и электронных публикаций. Наличие электронной документации является практически непременным условием при заключении экспортных сделок. Поэтому технология каталогизации на сегодняшний день востребована промышленностью.

В рамках интегрированной логистической поддержки разработана модель специального программного комплекса, предназначенного для статистической обработки и последующей передачи данных для использования при модернизации изделия или при проектировании новых изделий.

Целями разработки модели специального программного обеспечения является контроль за всеми этапами работ по каталогизации наукоёмкой продукции; снижение материальных и временных затрат в ходе классификации, идентификации, кодирования изделий, сбора, обработки, хранения и распространения информации об изделии; а также накопление и упорядочение разнообразной информации о каталогизированных изделиях наукоёмкой продукции, включая формирование базы нормативных и справочных документов, изображений, найденных в процессе идентификации с целью последующего использования при автоматизированной обработке.

Применение процедур каталогизации позволяет избежать неоправданного роста номенклатуры составных частей изделия, минимизировать количество дублирующих изделий в системе материально-технического обслуживания, обеспечить взаимозаменяемость и совместимость, облегчая техническое обслуживание и ремонт однотипных изделий.

## **Структурная сегментация изображений с выделением контура с использованием нейронных сетей**

Смирнова К.П.

Научный руководитель – Марченко А.Л.

ГКА им. Маймонида, г. Москва

Цель исследования -разработать последовательность алгоритмов, позволяющих выделить на изображении керна детали, не отражающие типы осадконакоплений и классифицировать их с помощью персептрона.

Разработан однослойный персептрон, обучающийся по дельта-правилу. Классификатором является сигмоидальная логистическая функция. После его тестирования было выявлено, что емкость персептрона позволяет решить данную задачу. Данная нейронная сеть при ста входах и 33-х выходах выдавала ошибку около 15%.

Таким образом, при трех выходах (скол, высверление, керн (остальное отбрасывается) возможно уменьшение процента ошибки.

Перед распознаванием применяется алгоритм Гауссовой фильтрации для улучшения сегментации путем нормализации разностей цветов между соседними пикселями.

В ходе тестирования водораздельного метода сегментации стало очевидно, что сегментирование размытого изображения дало гораздо меньше мелких и неинформативных сегментов.

Сейчас для данной задачи будет применяться алгоритм сегментации на графах, который находится в процессе разработки.

Каждый объект на изображении – сегмент – будет представлять собой минимальное остовное дерево в графе, где ребра графа – разности между суммами цветов соседних пикселей по R, G, B, A.

В качестве результата был разработан проект, который дает пользователю возможность самостоятельно сегментировать изображения для классификации и для распознавания, а также обучать нейронную сеть и сохранять его в файл нейронной сети, а затем использовать этот файл для распознавания изображений.

После доработки алгоритма сегментации на графах станет возможным машинное описание и удаление деталей на изображении керна, не отражающих тип осадконакоплений.

## **Решение задачи коммивояжера с погодными эффектами**

Смирнова М.А.

Научный руководители – Мокряков А.В., Чебурахин И.Ф.

МАИ, г. Москва

Одной из основных задач комбинаторной оптимизации является задача «коммивояжера», которая подразумевает нахождение самого выгодного маршрута при следовании из одного пункта в другой. Применение решений данной задачи получило широкое распространение: навигаторы, программы оптимизации движения, логистические программы построения маршрутов движения товаров. Многие из данных решений основываются на различных факторах, влияющих на сложность маршрута, к примеру, состояние дорог, трафик и условия рельефа местности. Влияющих на маршрут условий огромное множество. В представленной работе решается задача нахождения самого выгодного пути из одного пункта в другой с учетом вероятности погодных эффектов.

Для создания программного алгоритма решения задачи было решено представить саму задачу в виде математической модели. Проблему коммивояжера можно представить в виде динамического графа. Вершины графа соответствуют городам, а его ребра – дорогам, связывающим эти города. Выгодный путь является минимальным путем в графе от одной вершины до другой с помощью алгоритма Дейкстры. Веса ребер графа динамически изменяются в зависимости от времени и вероятности того или иного погодного события.

Программный комплекс, реализующий данную работу, разделен на следующие этапы:

- Получение данных для построения графа
- Получение прогноза погоды на определенный временной промежуток
- Получение исходного пункта и пункта назначения
- Построение графа и определение весов его ребер
- Подсчет самого выгодного пути от исходно пункта до пункта назначения

Программный комплекс реализован на языке программирования C# на базе операционной системы Windows.

Результатом работы программного комплекса является список самых выгодных маршрутов с указанием сложности каждого этапа маршрута. А также графическое представление маршрута на схеме графа.

Программный комплекс обеспечивает выгодное планирование поставок. В дальнейшем планируется реализовать получение погодного прогноза от онлайн сервисов, и данные о графе на основе реальных карт дорог.

В данный момент комплекс проходит тестирование на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

## Разработка программного комплекса для решения задачи о гашении колебаний продольно движущейся мембраны

Снегирева В.А.

Научный руководитель – Петров В.М.

МАИ, г. Москва

При изготовлении бумаги полотно бумажной массы движется между валов. Скорость прохождения полотна, а также толщина и гладкость конечного листа зависят от процесса прохождения полотна через валы, описываемого параболическим уравнением:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + 2v_0 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial t} + (v_0^2 - c^2) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \frac{g(t)}{m} \quad (1)$$

где  $m$  – масса на единицу длины,  $\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$  – локальное ускорение,  $2v_0 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial t}$  – Кориолисово ускорение,  $v_0^2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$  – центростремительное ускорение,  $c$  – скорость распространения волны,  $x \in [0,1]$ ,  $T_0$  – продольное напряжение полотна [2].

При этом заданы следующие граничные условия:

$$w(0, t) = w(1, t) = 0 \quad (2)$$

И начальные условия:

$$w(x, 0) = 0.2 \cdot \sin(3\pi x), \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t}(x, 0) = 0.6 \cdot \cos(x) \quad (4)$$

Наша цель – сделать колебания бумажного полотна при прохождении через валы минимальными [1].

Энергия, связанная с отклонением полотна от горизонтали, описывается выражением

$$E_w = \int_0^1 \left\{ \frac{T_0 W_x^2}{2} + \frac{\rho[v_0^2 + (w_t + v_0 w_x)^2]}{2} \right\} dx, \quad (5)$$

Данный функционал требуется минимизировать

$$E_w(T) \rightarrow \min \quad (6)$$

Также обозначим

$$g(t) \equiv \frac{g(t)}{m}, \quad 0 \leq g(t) \leq g_{max} \quad (7)$$

Для данной задачи установлен принцип максимума Понтрягина, и в соответствии с ним оптимальное управление определяется следующей формулой

$$\tilde{g}(t) = \begin{cases} g_{max}, & \text{если } \int_0^1 q_2(x, t) dx > 0 \\ 0, & \text{если } \int_0^1 q_2(x, t) dx < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Для решения применяется метод последовательных решений, предложенный Черноусько и Крыловым.

Литература.



Галеев Э. М., Тихомиров Э.М. «Оптимизация: теория, примеры, задачи» – М.: Элиториал УРСС, 2000.

Фляте Д. М. «Технология бумаги» – М.: Лесн. пром-сть, 1988.

## Асимптотический анализ алгоритма пузырьковой сортировки

Соломинов В.М.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

В работе рассматриваются методы аналитической теории чисел для оценки сложности алгоритма пузырьковой сортировки. Для определения сложности того или иного алгоритма, используются различные критерии стоимости выполнения. В случае сортировок, особый интерес представляет число проходов ( $A$ ), число обменов ( $B$ ) и число операций сравнения ( $C$ ), которые необходимо выполнить для приведения массива чисел из  $n$  элементов к упорядоченному виду. Если значения  $A_{min}, B_{min}, C_{min}$  в наилучшем варианте (массив упорядочен) и значения  $A_{max}, B_{max}, C_{max}$  в наихудшем случае (массив инвертирован в обратном порядке) вычислить не составляет труда, то вот вычисление средних значений  $A_{ave}, B_{ave}, C_{ave}$  является трудоёмким процессом.

С использованием техники работы с таблицами инверсий перестановок и применением дискретного преобразования Абеля установлены следующие соотношения:

$$A_{ave} = n + 1 - \frac{1}{n!} \sum_{0 \leq k \leq n} k^{n-k} k! \quad (1)$$

$$B_{ave} = \sum_{1 \leq k \leq n} b_k, \text{ где } b_k - \text{таблица инверсий} \quad (2)$$

$$C_{ave} = C_{n+1}^2 - \frac{1}{n!} \sum_{1 \leq j \leq n} \sum_{0 \leq k \leq n-j} (j+k)! (j-1)^{n-j-k} \quad (3)$$

Для асимптотических оценок сумм в формулах (1) и (3) тривиальные подходы не всегда имеют успех, если для оценки  $A_{ave}$  достаточно применения формулы суммирования Эйлера, то для определения асимптотики выражения  $C_{ave}$  требуется применение метода комплексного интегрирования.

В данной работе доказано, что  $A_{ave} = n + \sqrt{\frac{\pi n}{2}} + \theta + O\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)$ . Для доказательства того, что:

$$C_{ave} = C_{n+1}^2 - \frac{(n+1)}{2} \ln(n+1) + \frac{(\gamma + \ln 2)}{2} (n+1) - \frac{2}{3} \sqrt{2\pi(n+1)} + \frac{49}{36} + O\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)$$

был использован метод комплексного интегрирования, который в данном контексте имеет специальную форму, называемую методом Гамма-функции.

Стоит отметить, что наивный подход к определению сложности пузырьковой сортировки дает грубую оценку  $O(n^2)$ , что совпадает с результатом, полученным в работе. Однако, наш результат помимо асимптотически главного члена содержит информацию о членах меньшего порядка, которыми не всегда можно пренебрегать, и иногда эти члены могут доставлять значительные

неудобства. Аналитические методы позволяют получать необходимое количество остаточных элементов, что является несомненным плюсом для более точного анализа эффективности алгоритмов.

Для демонстрации полученных результатов и для эмпирической оценки сложности было разработано оригинальное оконное приложение позволяющие отслеживать и визуализировать процесс пузырьковой сортировки. Данная программа написана на языке C# 5.0.netframework 4.6 с применением современных приемов построения оконных приложений. С помощью разработанного приложения был проведен ряд численных экспериментов и получены эмпирические значения для параметров  $A_{ave}$ ,  $B_{ave}$ ,  $C_{ave}$ , которые согласуются с теоретическими результатами работы.

## **Распад произвольного разрыва на скачке площади канала.**

### **Роль диссипации**

Стратула Б.А.

Научный руководитель – Дубравин. Ю.А.

МАИ, г. Москва

Понятие «Распад произвольного разрыва» – впрямь РПР – связано с невыполнением условий совместности (условия Гюгонио) на поверхности контакта двух сред с произвольными параметрами состояния.

Применительно к одномерным течениям политропного газа эта проблема решена Кочиным Н.Е. (1924 год). Последующие попытки квазиодномерного описания подобного рода задач в каналах со скачком площади поперечного сечения (и многие другие виды локальных воздействий на поток) были связаны с работами Дулова В.Г. (ЛГУ, 1958 г.), Яушева И.К. и других ученых СО РАН (начиная с 1967 г.). В этих работах, по существу, обнажена проблема незамкнутости законов сохранения при квазиодномерном описании состояния среды на границах зоны перестройки, вызванной местным воздействием. Предложенные способы «лечения» сводились к использованию прямых экспериментальных данных или формулировке гипотез. Первые, к сожалению, носили частный характер, вторые, как правило, нарушали какие-либо законы сохранения или (и) 2-е начало термодинамики.

Здесь, на примере РПР на скачке площади сечения канала, предпринята попытка построения модели РПР непротиворечивой с позиции 2-го начала термодинамики и удовлетворяющей всем законам сохранения. В основе модели метод построения замкнутых систем уравнений для узлов одномерных течений (Дубравин Ю.А. 1987 г.). Метод позволяет, на основе выводов 1-го и 2-го начал термодинамики, сформулировать необходимое число дополнительных уравнений, замыкающих систему уравнения законов сохранения.

Модель включает: в одномерном описании соотношения на ударных волнах и вверсе волн разрежения в различных сочетаниях, соотношения на скачке площади (с явным описанием давления на уступе канала). Применительно к последним соотношениям, может быть реализована в рамках модели идеальной жидкости, а для дозвуковых течений на скачке площади может использоваться экспериментальный материал гидравлики для учета диссипативных потерь.

Были выполнены численные расчеты согласно изложенной модели с использование пакетов Maple и Mathematica.

Литература.

1. Дубравин Ю. А. О связи гидродинамических параметров в зонах локальных воздействий на поток // Журнал прикладной механики и технической физики 3. Новосибирск. 1989 г. С. 60-69.

2. Атанов Г.А. Газовая динамика: учебное пособие. Киев. 1991 г. 359 с.

## **Асимптотический анализ алгоритма обхода бинарного дерева в симметричном порядке**

Трофимущкин А.С.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

В работе рассматриваются применение методов аналитической теории чисел для оценки в среднем размера стека необходимого при выполнении обхода бинарного дерева в прямом порядке.

Как известно, бинарное дерево – это абстрактная структура данных, предназначенная для хранения упорядоченных пар, вида  $(k; v)$ , где  $k$  – элемент, принадлежащий пространству всех допустимых ключей  $K$ , а  $v$  – сопутствующие данные для этого ключа. Предназначение данной структуры – организация поиска информации, оценка сложности которого в среднем случае равна  $O(\log n)$ , где  $n$  – количество пар  $(k; v)$ . Операция, позволяющая посетить каждый узел дерева в точности 1 раз – обход дерева. В данной работе допущено одно существенное предположение, что все ключи  $k$  равномерно распределены.

Для определения оценки сложности была введена целочисленная случайная величина  $A_{nk}$ , равная количеству всех деревьев, состоящих из  $n$  узлов, при обходе которых высота стека не превышает  $h$  и соответствующая ей производящая функция:

$$A_h(z) = \sum_n A_{nh} z^n$$

Для вычисления конечного выражения, представляющего данную производящую функцию, была введена вспомогательная величина  $p_h(z)$ , которая удовлетворяет рекуррентному соотношению:

$$p_{h+1}(z) = p_h(z) - zp_{h-1}(z), p_0(z) = 0, p_1(z) = 1$$

И получено окончательное выражение для искомой производящей функции:

$$A_h(z) = \frac{zp_h(z)}{p_{h+1}(z)}$$

Средний размер стека при обходе дерева можно выразить следующим соотношением:

$$H_{ave} = \frac{S_n}{A_{nh}}$$

$$S_n = \sum_{k \geq 1} \tau(k) (C_{2n}^{n+1-k} - C_{2n}^{n-k} + C_{2n}^{n-1-k})$$

Для оценки асимптотического поведения величины  $S_n$  был применен метод комплексного интегрирования, который в данной работе имеет специальную

форму, называемую методом Гамма функции. И конечным результатом является:

$$H_{ave} = \sqrt{\pi n} - \frac{3}{2} + \frac{11}{24} \sqrt{\frac{\pi}{n}} + O(n^{-3/2})$$

Для подтверждения теоретических выкладок и численного эксперимента было разработано оконное приложение, позволяющие визуализировать процесс прямого обхода дерева и отслеживать размер стека. Программа разработана на языке C# 6.0.Netframework 4.6.1 с применением технологии построения оконных приложений WindowsPresentationFoundation и современных паттернов проектирования.

### **Построение программного комплекса для задачи о гашении колебаний продольно движущейся упругой пластины**

Хроменко А.М.

Научный руководитель – Петров В.М.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

Рассматривается задача о гашении колебаний продольно движущейся упругой пластины. Подобные задачи могут возникать, например, при изготовлении листового железа.

Известно, что при больших скоростях проката возникает неустойчивость, которая приводит к отклонению листа от горизонтального положения, что, в свою очередь, ведет к срыву процесса. С помощью управления, которое заключается в вертикальном обдуве рассматриваемой конструкции, можно привести упругий лист в горизонтальное положение.

Цель работы заключается в определении оптимального управления данным процессом, т.е. необходимо найти  $g(t)$ , которое за данное время приведет упругий лист в горизонтальное положение.

Рассмотрим уравнение, описывающее движение упругой пластины:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + 2v_0 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial t} + (v_0^2 - c^2) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{D}{m} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = \frac{g(t)}{m}, \quad (1)$$

Необходимо найти функцию  $w(x, t)$ , удовлетворяющую уравнению (1), а также управление  $g(t)$ , чтобы функционал принимал бы минимальное значение.

$$\varepsilon_w(t) \rightarrow \min \quad (2)$$

Энергия (2), связанная с отклонением пластины от горизонтали, является суммой кинетической и потенциальной энергии.

Для данной задачи с помощью привлечения игольчатой вариации установлен принцип максимума Понтрягина, заключающийся в следующем: если управление  $\hat{g}(t)$  при ограничениях  $0 \leq g \leq 1$  и соответствующая ему функция  $w(x, t)$  достигают минимум функционала (2), то существуют такие функции  $q_1(x, t)$  и  $q_2(x, t)$ , удовлетворяющие сопряженной системе:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial q_1(x, t)}{\partial t} = (v_0^2 - c^2) \frac{\partial^2 q_2(x, t)}{\partial x^2} + \frac{D}{m} \frac{\partial^2 q_3}{\partial x^2}, \\ \frac{\partial q_2}{\partial t} = 2v_0 \frac{\partial q_2}{\partial x} - q_1, \\ \frac{\partial^2 q_2(x, t)}{\partial x^2} = q_3(x, t). \end{array} \right. \quad (3)$$

Тогда при каждом  $t \in [0; T]$  величина  $\hat{g}(t) \int_0^1 q_2(x, t) dx - \beta \hat{g}^2(t)$  достигает своего максимума по всем  $\hat{g}$ .

Для численного решения системы (3) используется метод матричной прогонки. В результате работы был создан программный комплекс, который оптимизирует процесс изготовления пластины, а также строит график поведения пластины.

## Об одном классе решений двумерного уравнения мультиферрионка

Цыпкайкина Е.С.

Научный руководитель – Кулагин Н.Е.

МАИ, г. Москва

Рассмотрим мультиферрионк [1] со свободной энергией вида

$$\mathcal{J} = \frac{1}{2} \left( (\nabla l_x)^2 + (\nabla l_y)^2 + (\nabla l_z)^2 + \mu \left( l_x \frac{\partial l_z}{\partial x} + l_y \frac{\partial l_z}{\partial y} - l_z \frac{\partial l_x}{\partial x} - l_z \frac{\partial l_y}{\partial y} \right) - \frac{1}{2} \kappa_b l_y^2 - \frac{1}{2} \kappa_c l_z^2 \right),$$

$$\mu = \pm 1, 0, l = (l_x; l_y; l_z), |l| = 1.$$

При  $\kappa_b = 0$  стационарное уравнение  $\left[ l, \frac{\delta \mathcal{J}}{\delta l} \right] = 0$  допускает выделение точного класса решений с аксиальной симметрией, который в полярных координатах имеет вид  $l = (\sin \theta(r) \cos \varphi; \sin \theta(r) \sin \varphi; \cos \theta(r))$ , где  $\theta(r)$  удовлетворяет дифференциальному уравнению

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{d\theta}{dr} \right) - \frac{1}{r^2} \cos \theta \sin \theta - \frac{2\mu}{r} \sin^2 \theta - \kappa_c \sin \theta \cos \theta = 0.$$

Нас интересуют решения с условием  $\lim_{r \rightarrow \infty} \theta(r) = \pi \kappa$ , ограниченные в нуле.

$$\theta(r) = ar + \left( \frac{1}{4} \mu a^2 - \frac{1}{12} a^3 + \frac{1}{8} \kappa_c a \right) r^3 + O(r^5).$$

Так как  $\theta'(0) \neq 0$ , такие решения имеют в нуле особенность.

При различных значениях параметров были построены семейства решений.

В дальнейшем планируется исследовать полученные решения на устойчивость.

Литература.

N.E. Kulagin, A.F. Popkov, A.K.Zvezdin, S.E. Soloviov. Spatially Modulated Antiferromagnetic Structures in Multiferroic with Biaxial Anisotropy // Solid State Phenomena. – 2012. – Vol. 190. – P. 285-288.

## **О возможности применения метода пропорционального сближения в задаче траекторного управления высотным скоростным ЛА на маршевом участке полета**

Чернов А.В.

Научный руководитель – Мирошкин В.Л.

МАИ, г. Москва

Развитие современной авиационной техники как гражданского, так и военного назначения стремится к увеличению высоты и скорости полета летательных аппаратов. Такие аппараты оснащаются прямоточными воздушно-реактивными двигателями (далее ПВРД). Такие высотные скоростные летательные аппараты (далее ВСЛА) движутся в атмосфере со скоростями порядка 4-15М и обладают большим аэродинамическим качеством. Самой важной задачей на маршевом участке полета ВСЛА является задача управления движением его центра масс. Известна статья «Траекторное управление высотным скоростным летательным аппаратом на маршевом участке полета», авторами которой являются А. И. Кибзун, В. Л. Мирошкин, К.И. Сыпало, М. Н. Красильщиков. В статье предложен кусочно-программный способ управления ВСЛА. Но для решения поставленной задачи также возможно применения метода пропорционального сближения. Предлагается методика формирования и способ реализации управления движением центра масс, применяя метод пропорционального сближения.

Рассматривается траекторное управление ВСЛА после окончания участка выведения и отделения от системы выведения. Совершается автономный полет в верхних слоях атмосферы (25–32 км) на гиперзвуковой скорости (более 5М) под действием тяги двигательной установки, аэродинамических сил и силы тяжести. Управление ВСЛА осуществляется с помощью изменения угла атаки. Предположим, что ВСЛА и ПВРД как объекты управления мгновенно «отрабатывают» поступившие сигналы управления, а возмущения отсутствуют. Из соотношения, определяющего наведение ВСЛА в определенную точку пространства методом пропорционального сближения, можно найти требуемое ускорение. Используя связь требуемого ускорения и величины, характеризующей изменение угла наклона траектории, проводится их сравнение. Исходя из сравнения этих величин, подбирается требуемый угол атаки. Если требуемое ускорение больше реального, то величина требуемого угла атаки уменьшается, если меньше, то увеличивается. От требуемого угла атаки зависит угол отклонения руля высоты. Таким образом, осуществляется управление ВСЛА и выход на необходимую траекторию. Сравнение и соответствующая корректировка требуемого угла атаки происходят в каждый момент времени. После того, когда требуемое ускорение достигнуто и ВСЛА вышел на необходимую траекторию, следует заново рассчитать следующую точку траектории, то есть вычислить новое требуемое ускорение по формуле метода пропорционального сближения.

Созданная на основе вышеизложенного метода управления ВСЛА модель позволяет исследовать траектории полета. С помощью имитационного моделирования было показано, что предложенный способ управления ВСЛА удовлетворяет заданным ограничениям. Также была показана возможность

компенсации влияния горизонтальных порывов ветра (турбулентности) и отклонений плотности атмосферы от стандартных. В будущем планируется реализация на одной платформе кусочно-программного способа управления и предложенного выше способа с целью их подробного сравнения и выявления достоинств и недостатков.

Предложенный алгоритм позволяет осуществить управление ВСЛА на рассматриваемом участке полета, обеспечивающее перевод центра масс ВСЛА из заданного левого конца траектории (зоны возможных пусков) в заданную точку терминальной области (области достижимости).

## **Применение китайской теоремы об остатках в криптографии**

Чопик А.А.

Научный руководитель – Асмыкович И.К.

БГТУ, г. Брянск

В работе представлены алгоритм RSA, формулировка китайской теоремы об остатках, ее применение и происхождение. RSA, пожалуй, наиболее популярная и самая известная криптосистема с открытым ключом. Она обеспечивает как цифровое подписывание, так и шифрование, что делает ее универсальным средством. Китайская теорема об остатках в арифметической формулировке впервые была упомянута в трактате китайского математика Сунь Цзы предположительно в третьем веке до н.э. [1].

RSA – криптографический алгоритм с открытым ключом, основывающийся на вычислительной сложности задачи факторизации больших целых чисел. При расшифровании или подписывании сообщения в алгоритме RSA показатель вычисляемой степени будет довольно большим, поэтому используется алгоритм для сокращения количества операций и китайская теорема об остатках.

Приведены примеры нахождения ключа с использованием формулы Гарнера. Китайская теорема об остатках помогает свести некоторое сравнение по модулю к системе более простых сравнений, и наоборот, свести систему сравнений к одному сравнению. Рассмотрены примеры различных задач, решение которых находится при помощи составления системы сравнений [2].

Таким образом, в работе показана ценность китайской теоремы об остатках для прикладной математики. Ее использование позволяет сократить массу времени при вычислениях. Издержками использования китайской теоремы об остатках является лишь дополнительная сложность программного обеспечения и необходимость преобразований. Как правило, китайская теорема об остатках упоминается лишь как один из приемов реализации алгоритма RSA.

Литература.

Ишмухаметов Ш.Т. Методы факторизации натуральных чисел: учебное пособие. – Казань: Казан. Ун., 2011. – 190 с.

Фергюсон Н., Шнейер Б. Практическая криптография, 2005. – 424 с.

## Применение матричного алгоритма для кластеризации вершин размеченного графа

Щербаков М.С.

Научный руководитель – Котенко А.П.

СамГТУ, г. Самара

Проблема кластеризации объектов со сходными свойствами упирается в необходимость обоснованного определения числа необходимых кластеров. Предложим метод подбора числа кластеров, объединяющих вершины графа с рёбрами, взвешенными мерой «сходства-различия» вершин. Такие оценки получаются, например, при опросе экспертов, сравнивающих объекты исследования (вершины графа) попарно.

Пусть известна матрица  $\Omega$  оценок рёбер графа  $G$  с петлями неотрицательной цены. Несмежным вершинам припишем ребро бесконечной цены. Окаймим матрицу справа и снизу начальными бесконечными оценками попарного сходства вершин графа и в качестве оценки сходства вершин с вершиной  $x_1$  возьмём наименьшие суммарные цены путей от вершины  $x_1$  до всех остальных вершин. Для этого применим следующие преобразования 1-4 матрицы  $\Omega$ .

- Заменяем значение в окаймлении первой строки нулём.
- Прибавим правый столбец окаймления по очереди ко всем столбцам.
- Заменяем нижнюю строку окаймления минимумом элементов соответствующего столбца, включая элемент строки окаймления.
- Если строка окаймления совпала со столбцом окаймления, то наименьшие суммарные цены путей найдены. В противном случае заменим правый столбец окаймления матрицы транспонированной нижней строкой и перейдём к шагу 2.

Будем повторять шаги 2-4 до тех пор, пока окаймление не перестанет изменяться. На этом алгоритм свою работу завершает.

Бесконечные значения кратчайших расстояний означают отсутствие пути, соединяющего вершину  $x_1$  с соответствующей вершиной. Аналогично применяем алгоритм для расчёта наименьших суммарных цен путей от оставшихся вершин  $x_2, x_3, \dots, x_n$  до остальных. При этом нулевое начальное значение на шаге 1 размещается в соответственно 2-й, 3-й и т.д. строке.

Полученный алгоритм применим для выбора вершины, наименее удалённой от всех остальных. Критерием выбора служит суммарная длина путей, соединяющих данную вершину с остальными. Эта задача, очевидно, эквивалентна определению единственного кластера с центром в полученной вершине на множестве вершин графа  $G$ .

На следующем шаге найдём 2 вершины, образующие 2-элементное множество вершин, наименее удалённых от остальных. Критерием выбора вновь возьмём суммарную длину кратчайших путей от данных вершин до оставшихся. Вновь отметим эквивалентность этой задачи определению 2 кластеров с центрами в найденных вершинах.

Продолжая наращивать число кластеров вплоть до  $n$ , переберём все варианты разбиения  $n$ -элементного множества вершин графа  $G$  на кластеры.



Единообразный характер расчётов в матричной форме позволяет строить эффективное программное обеспечение для выбора числа разбиения на кластеры множеств объектов самой разнообразной природы.

Предложенная матричная модификация алгоритма Дейкстры позволяет рассматривать также отрицательные «веса» рёбер. Наличие условия отсутствия циклов отрицательного суммарного веса либо постулируется заранее, либо проверяется по заикливанью алгоритма. Сложность алгоритма отыскания кратчайших расстояний пропорциональна квадрату числа вершин графа, в то время как сложность подбора оптимального числа кластеров вершин графа пропорциональна кубу этого числа.

## **СЕКЦИЯ № 7. Прикладные программно-аппаратные комплексы**

Руководитель секции: к.ф.-м.н. Павлов В.Ю.

---

### **Мобильное приложение для определения скорости реакции нервной системы**

Асалин К.К.

Научный руководитель – Павлов В.Ю.

МАИ, г. Москва

Время реакции нервной системы человека на внешний раздражитель является одним из важных диагностических параметров – её изменение, как правило, связано с изменениями психофизического состояния человека (усталость, стресс, заболевание, опьянение и др.). Кроме того, время реакции является одним из важных критериев профессиональной пригодности водителей, операторов, летчиков, спортсменов и представителей ряда других профессий.

Современный способ измерения скорости реакции предполагает снятие энцефалограммы и поиск в ней сигнала отклика на раздражитель. Плюсы энцефалографического метода – это точность измерения. Однако эта процедура достаточно медленна, дорогостояща и проводится только стационарно в лабораторных условиях, поэтому не может использоваться для постоянных самостоятельных измерений человеком.

Исходя из вышесказанного можно сказать, что задача заключается в разработке простого программно-аппаратного комплекса, который позволит измерять скорость реакции нервной системы человека в любых условиях без дополнительного специального оборудования.

В рамках предлагаемой нами методики измерения целесообразно использовать в качестве внешнего раздражителя световые сигналы. Самый простой и удобный способ, это использовать для измерения смартфон. В большинстве смартфонов присутствуют LED вспышки.

Алгоритм измерения предусматривает генерирование мигающего светового сигнала LED вспышки с постепенно увеличивающейся частотой. Пользователь должен нажать кнопку смартфона в тот момент, когда он перестает различать отдельные вспышки. Алгоритм предусматривает многократное измерение скорости реакции как при плавном повышении частоты вспышек, так и при плавном ее понижении. Это позволяет устранить влияние запаздывания мышечной реакции человека.

На данный момент программа реализована на ios, но также может быть адаптирована и на другие мобильные платформы.

## **Разработка комплексного алгоритма кооперации «Муравьиный алгоритм»**

Белашев М.И.

Научный руководитель – Павлов В.Ю.

МАИ, г. Москва

В современном мире многие процессы автоматизируются, широко начинают использоваться различные робототехнические средства. В связи с этим возникает проблема кооперации как одинаковых, так и различных робототехнических единиц. Для решения этой проблемы и служит предлагаемый алгоритм. Он позволит объединять в единую вычислительно-реакционную систему единицы с разными вычислительными и функциональными возможностями. Предлагаемый алгоритм может применяться в автоматических системах охраны (дроны-наблюдатели), системах грузообработки (автоматизированный, малобюджетный склад), в системах автоматического правоохранения (патрульные дроны), в системах автоматического разбора завалов и многом другом.

Муравьиным алгоритм назван из-за того, что он предусматривает работу единиц централизованную, децентрализованную и гибридную. При выполнении различных задач единицы будут действовать подобно муравьям-рабочим, а центральная станция – подобно королеве муравейника. Королева раздаёт задачи и при необходимости помогает решать их. А муравьи-рабочие решают задачу самостоятельно или же под непосредственным управлением королевы.

Централизованная работа системы применяется при недостатке вычислительной мощности у единиц для решения задачи. Преимуществом такого способа управления является малая нагрузка на аппаратуру самих единиц, что ведет к понижению энергозатрат единицы, а так же даёт возможность решения более сложных проблем. Минусами такой работы является необходимость достаточно надежного и ёмкого канала передачи данных на станцию управления.

Децентрализованная работа системы применяется тогда, когда одна или несколько рабочих единиц могут самостоятельно справиться с задачей вычисления для конкретного задания. Преимущества подобной работы – это полная автономность единиц при выполнении задач, эффективность при выполнении тривиальных задач (например перевозка грузов на складе). Минусами подобного функционирования являются повышенные энергозатраты на вычисления.

Если сравнивать предлагаемый алгоритм кооперации с имеющимися аналогами, то нужно заметить, что эти аналоги являются строго специализированными. С другой стороны, существуют алгоритмы, созданные по подобию поведения различных насекомых и животных. Рассмотрим для сравнения как таковой пример алгоритм Движения Муравья. В отличие от нашего алгоритма, использующего математические абстракции для навигации единиц, а так же объединение их в единую систему абстракций, алгоритм Движения Муравья предусматривает полную автономность единиц, а так же использует химические маркеры для пометки пройденного маршрута, что не всегда применимо. Подводя итоги, можно сделать вывод, что на данный момент

не существует унифицированного алгоритма кооперации роботизированных единиц аналогичного предлагаемому.

На данный момент алгоритм находится на ранних стадиях разработки. Создан эскизный алгоритм, и начата работа над отдельными модулями, такими как: Модуль децентрализации, Модуль ориентирования и др. Разрабатывается экспериментальная установка для реализации алгоритма.

**Использование теории распознавания образов  
для автоматизированного определения наличия патогенных  
микроорганизмов в движущемся потоке воды методом ВРМБ**

Бобков П.В.

Научный руководитель – Могильная Т.Ю.

МАИ, г. Москва

Задача автоматизации определения наличия в движущемся потоке воды патогенных микроорганизмов методом вынужденного рассеяния Мандельштамма – Бриллюэна является в общем случае задачей обработки поступающих спектральных распределений в режиме реального времени. Для решения этой задачи требуется, чтобы система своевременно обрабатывала большое количество информации. Это связано с разнообразием видов и штаммов микроорганизмов, погрешностями и влиянием условий среды (таких как температура и скорость потока воды) на спектральные распределения. Таким образом, система должна учитывать случайные изменения большого количества параметров.

Задача распознавания патогенных организмов является типовой задачей многоальтернативного распознавания образов. Особенность данной задачи состоит в том, что существует огромное количество штаммов, распознавание которых может привести к резкому увеличению объемов выборок и как следствие к падению производительности системы. Однако определение штаммов с одной стороны является избыточной информацией, с другой недостаток выборки может привести к увеличению ошибок первого и второго рода. Поэтому был предложен алгоритм распознавания, в котором помимо распознавания по эталону проводится распознавание по информативным параметрам, присущим целому виду организмов. Были следующие информативные параметры: координаты главного максимума, количество пиков, среднее квадратическое отклонение от эталонного спектрального распределения (СКО), распределения Лоренца, аппроксимирующие пики. Эталонные параметры были определены нами для целого ряда вирусов и бактерий в наших предыдущих исследованиях. В результате был разработан пакет программ для автоматической обработки входящих спектральных распределений. Программы включал в себя методы распознавания по эталону и информативным спектральным параметрам, присущим всему виду, что позволило резко уменьшить объем выборки. Программное обеспечение было апробировано на различных штаммах E-coli, сальмонеллы, гепатита С и других микроорганизмов. Оценка по функции правдоподобия показала, что вероятность распознавания не менее 98%.

## **Анализ состояния исследований, по разработке ЕЯ-интерфейсов для взаимодействия с онтологиями**

Волков Д.С., Карпов А.М., Нагорный А.А.

Научный руководитель – Фомичев В.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время огромную популярность приобрел проект Semantic Web (Семантическая Паутина), позволяющий компьютерным системам не только отображать информацию, но и понимать ее смысл. В основе Semantic Web лежит структура распределенных баз знаний – онтологии. Основными инструментами по работе с онтологиями служат естественно-языковые интерфейсы (ЕЯ-интерфейсы). Они позволяют принимать запросы и отображать информацию на естественном языке (ЕЯ).

При разработке ЕЯ-интерфейсов важнейшую роль играют структуры данных, описывающие семантические роли и отношения между ними в тексте. Семантическая сеть (размеченный ориентированный граф) наглядно демонстрирует смысл текста, в том числе и для текстов с косвенной речью. Для представления подобных смысловых структур используется язык RDF (Resource Description Framework).

Исследования по разработке ЕЯ-интерфейсов активно развиваются, и сегодня можно выделить ряд готовых инструментариев, таких как языковая система OWL (Ontology Web Language), ЕЯ-интерфейсы PANTO, ORAKEL и другие. Каждая из этих систем внесла вклад в развитие SemanticWeb, предоставив методы семантического разбора (semantic parsing) текстовой информации в Сети, что нашло применение в таких направлениях, как биология и медицина в системе SemanticMEDLINE.

Основной целью нашей работы является анализ передовых исследований для актуализации информации о результатах. Помимо данной цели, мы поставили следующие задачи:

- Изучение особенностей проекта Semantic Web.
- Анализ системы представления данных в проекте Semantic Web (язык RDF).
- Выделение требований к ЕЯ-интерфейсам.
- Сбор информации об основных средствах разработки ЕЯ-интерфейсов для взаимодействия с онтологиями.
- Сравнение и выделение наиболее перспективных ЕЯ-интерфейсов и средств их разработки.

### **«Умная» одежда: традиции + инновации**

Волкова А.В.

Научный руководитель – Павлов В.Ю.

МАИ, г. Москва

«Умной» одежда называется тогда, когда она может интерактивно взаимодействовать с окружающей средой, обрабатывать полученную информацию и запустить ответные реакции.

Первая попытка внедрить в одежду электрические элементы относятся к концу XIXвека, когда лампы накаливания начали вытеснять газовое освещение.

В 1884 году в TheNewYorkTimes была опубликована реклама компании, предлагавшей услуги девушек, которые могли служить в качестве живых светильников, носивших на себе лампочки накаливания. В 1968 году в Нью-Йорке прошла выставка BodyCovering, на которой была продемонстрирована не только специальная одежда, такая как скафандры, для космонавтов, огнеупорный костюм, но и обычная повседневная одежда, оснащенная электрическими устройствами: например, пальто с вшитыми фотографиями, которые подсвечивались лампочками, работающими от вшитых батареек.

В настоящее время одежда становится действительно «умной» за счёт встраивания в неё интеллектуальных датчиков (контролирующих как параметры среды, так и физиологические характеристики человеческого организма) и микропроцессоров, обрабатывающих информацию с датчиков и формирующих ответную реакцию встроенных исполнительных элементов, обеспечивающих человеку безопасность и комфорт. Умная одежда используется в различных сферах:

- Медицина. Одежда используется для слежения за состоянием пациента: снимает кардиограмму, следит за сердечным ритмом, дыханием, давлением и т.д. С помощью «умной» одежды можно удаленно проводить анализы и консультирование.
- Спорт и фитнес. Проводится сбор и анализ различных данных о физической активности, что помогает следить за здоровьем человека и корректировать режим тренировок в зависимости от его текущего физического состояния.
- Военная сфера, выживание и безопасность. При помощи данного вида одежды можно отслеживать местоположение солдат, контролировать уровень их усталости, оперативно получать информацию об их ранениях и травмах для оказания своевременной помощи. Системы умной одежды могут встраиваться в скафандры, включать в себя экзоскелеты, помогающие действовать эффективнее в сложных ситуациях.
- Мода. Одежда и аксессуары, совмещающие в себе высокую технологию и стиль. Synape Dress – проект от нидерландского дизайнера. Синаптическая одежда, распечатываемая на 3D-принтере, с помощью технологии Intel, отображает на ткани эмоции человека через световые сигналы.

Сейчас разработка «умной» одежды включает в себя не только прикрепление к одежде новых устройств, но и модернизацию самих тканей. На данный момент разрабатываются технологии, которые позволят на обычных ткацких станках вплетать в любую ткань проводящие нити и тем самым формировать схематехническую основу умной одежды, представляющей собой интегрированную информационно-исполнительную систему, включающую ткань, распознающую набор простых касаний – то есть выполнять функцию сенсорной панели, вплетённые в ткань солнечные батареи, нагревательные и охлаждающие элементы, вибро- и электромассажные панели и многое другое. Таким образом, актуальной задачей становится разработка средств программирования ткацкого оборудования, обеспечивающих решение схематехнических задач производства тканей для умной одежды.

## **Макетирование оптической схемы датчика чистоты авиационного топлива**

Добринский А.М.

Научный руководитель – Павлов В.Ю.

МАИ, г. Москва

Оптические методы контроля чистоты и однородности фазового состава жидкостей давно и успешно применяются в самых разных отраслях науки и техники. Наибольшей чувствительностью к изменению фазового состава жидкостей и связанными с ним изменениям показателя преломления отличается интерферометрические датчики, в том числе, лазерные спекл-интерферометры. Анализ существующих методов определения чистоты авиационного топлива показал, что в настоящее время не существует датчика, способного оперативно в режиме реального времени обнаруживать рассеивающие частицы в авиационном топливе как на земле так и на борту.

Для проверки пригодности метода спекл-интерферометрии для решения этой задачи был создан макет проточного оптического датчика, показавший работоспособность метода. Были проведены эксперименты с водой и керосином, как чистым, так и искусственно загрязненным металлическими частицами и пузырьками воздуха. Эксперименты показали, что данный образец датчика уверенно обнаруживает относительно крупные фазовые неоднородности в жидкости, такие как пузырьки воздуха.

Однако чувствительность экспериментального образца оказалась недостаточной для обнаружения частиц микронных размеров. Анализ результатов экспериментов показал, что причина заключается в неоптимальной оптической схеме датчика: преломление света в цилиндрической кювете приводит к паразитной засветке внутренней поверхности корпуса прибора, на фоне которой сигнал от малых частиц оказывается неразличим. Для устранения этого недостатка разработана новая конструкция лабораторного образца датчика, которая позволяет менять параметры оптической схемы для их оптимизации.

## **Программный комплекс реализации дополненной реальности на примере игры ShootingGod**

Ефимов А.И.

Научный руководитель – Ильин В.Н.

МАИ, г. Москва

В настоящее время все большую популярность набирает технология дополненной реальности. Дополненная реальность представляет собой технологию дополнения видеоряда из реального мира виртуальными элементами, что имеет ряд возможных применений на практике т. к. позволяет выводить информацию в сжатом и наглядном виде. Таким образом можно отображать скрытые элементы механизма, визуализировать и систематизировать данные датчиков (отображение изменением цвета температуры отдельных деталей) а также отображать траектории летательных аппаратов. Привязка виртуальной сцены к реальным объектам создает иллюзию нахождения

дополнительных элементов в пространстве, что обеспечивает простоту восприятия и ассоциирования полученных данных с конкретными объектами.

Для реализации привязки требуются опорные объекты, называемые маркерами. В качестве маркера можно использовать плоские или объёмные изображения. Использование дополнительных приборов, таких как компас, гироскоп, акселерометр, GPS существенно упрощает распознавание, а в определенных случаях даже позволяет осуществлять привязку без маркеров.

В данном докладе дополненная реальность демонстрируется на примере игры ShootingGod. Для реализации дополненной реальности был использован инструментарий Vuforia. Принцип его работы заключается в поиске плоских маркеров на видеоряде, в конкретном случае, получаемом с камеры телефона.

Игра представляет из себя смесь жанров towerdefense и шутера от первого лица. Исходя из этого нужно обеспечить высокую точность распознавания маркера и быструю реакцию игры на действия игрока одновременно.

Приложение реализовано для платформы Android, также в перспективе возможна реализация для IOS. Из-за сравнительно низкой производительности устройств, а также высокой динамичности игры, одной из основных задач является оптимизация затрат ресурсов процессора и оперативной памяти.

### **Мобильное приложение для водителей «Антисон»**

Жуленков А.А.

Научный руководитель – Гуснин С.Ю.

МАИ, г. Москва

В среднем в год происходит около 200,000 ДТП. Примерно 20% из них происходит из-за усталости или сонливости водителей.

Причин тому может быть множество. Кто-то, несмотря на свое состояние, садится за руль уже уставшим. Кто-то начинает засыпать из-за долгого движения по однородной местности, например, по прямому участку дороги, окруженному полем. Вождение ночью так же может оказать влияние на водителя.

Существует много устройств, которые не дают водителю заснуть во время движения. Большинство из них определяет угол наклона головы и подает сигнал, если голова водителя начинает опускаться. Чаще всего, в основном на дешевых устройствах, сигнал подается только при наклоне головы вперед. Бывают и случаи, когда датчик и вовсе не срабатывает. Подобный способ нельзя назвать надежным, так как невозможно предугадать в какую сторону начнем склоняться голова заснувшего водителя и будет ли склоняться вообще. В силу того, что устройства крепятся на ухо, они могут вызывать дискомфорт, что также можно отнести к минусам.

Говоря о минусах, можно выделить несколько, характерных для всех устройств, подобного плана:

- ненадежность определения состояния водителя
- дискомфорт при использовании
- необходимость приобретения отдельного устройства
- высокая цена в ряде случаев



Программное обеспечение, основанное на распознавании образов, может стать достойной заменой описанным выше устройствам. Платформой для разработки была выбрана операционная система Android. На Android работает около 80% всех мобильных устройств. Существует огромное множество бюджетных мобильных устройств под управлением данной ОС, что делает такие мобильные устройства крайне распространенными в нашей стране. Эти факторы и стали решающими при выборе платформы для разработки.

Определение состояния водителя будет осуществляться, как упоминалось ранее, при помощи технологии распознавания образов. Изображение, полученное с камеры мобильного устройства, будет обрабатываться программным обеспечением и, при закрытии водителем глаз, последует звуковой сигнал, приводящий водителя в себя. Подобный подход имеет ряд плюсов:

- - высокая точность определения состояния водителя
- - дешевизна
- - отсутствие дискомфорта

Единственный же возможный минус – это необходимость приобретения дополнительного приспособления для фиксации мобильного устройства, что, в любом случае, требует намного меньших затрат, нежели покупка отдельного устройства для борьбы со сном.

### **Стенд для разработки алгоритмов управления летательным аппаратом с тепловым координатором**

Изотов Е.Н.

Научный руководитель – Лосев С.А.  
БГТУ «ВОЕНМЕХ», г. Санкт-Петербург

Тепловой координатор — это автоматическое измерительное устройство, устанавливаемое на летательный аппарат (ЛА) и используемое для поиска, обнаружения и сопровождения цели по ее тепловому излучению.

Стенд предназначен для разработки и исследования различных алгоритмов поиска и выделения цели на фоне окружающей среды, методов подавления помех и наведения ЛА на цель по сигналам теплового координатора.

Стенд представляет собой полунатурный комплекс моделирования, в состав которого входят имитатор цели, тепловой координатор и центральный компьютер. Имитатор включает в себя тепловой излучатель, два электропривода, предназначенных для перемещения излучателя в горизонтальной и вертикальной плоскостях, и управляющую микро-ЭВМ. Микро-ЭВМ реализует заданную траекторию движения цели, управляя электроприводами излучателя. Тепловой координатор состоит из четырех тепловых датчиков, положение которых в пространстве изменяется с помощью двух сервоприводов, и управляющей микро-ЭВМ. Микро-ЭВМ осуществляет обработку и фильтрацию сигналов тепловых датчиков, реализует заданные алгоритмы поиска, обнаружения и сопровождения цели, выдавая управляющие сигналы на сервоприводы. Программы поиска, обнаружения и сопровождения цели загружаются в микро-ЭВМ теплового координатора из центрального компьютера через USB порт. Через этот же порт микро-ЭВМ теплового

координатора передает в центральный компьютер информацию о захвате цели и ее координатах. В центральном компьютере реализуется динамическая модель ЛА на основе информации, поступающей с теплового координатора, решается задача наведения ЛА на цель.

В качестве управляющей микро-ЭВМ в имитаторе цели и тепловом координаторе использованы отладочные модули, построенные на базе ARM STM32F103RBT6 серии Performance. В состав модулей входят JTAG-эмулятор и USB порт. Наличие JTAG-эмулятора дает возможность оперативно изменять заложенные в памяти ARM алгоритмы.

Программное обеспечение имитатора цели и теплового координатора разрабатывалось в среде отладки Keil uVision, представляющей собой набор утилит для выполнения полного комплекса мероприятий по написанию и отладке программ для микроконтроллеров.

Модель ЛА описана в среде MATLAB, что позволяет легко изменять ее параметры для моделирования разных типов ЛА.

Универсальность стенда дает возможность разрабатывать и отлаживать на нем алгоритмы наведения для различных видов тепловых координаторов и различных типов ЛА.

### **Структура тренажёра формирования умений и навыков по подготовке специалистов РЭБ поиску неисправностей в РЭА средств РЭП**

Белоцерковский О.А., Колмыков Р.Ю.

Научный руководитель – Мельников В.Ф.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

В настоящее время остро ощущается необходимость в тренажере формирования умений и навыков, как программного комплекса, состоящего из программных продуктов, выполняющих разные задачи в рамках единой цели – подготовки специалистов РЭБ поиску неисправностей в РЭА средств РЭП.

Эффективное формирование такого типа умений и навыков предполагается с помощью специальных технических средств обучения – тренажеров формирования умений и навыков (ТФУиН) на основе современных информационных систем.

Программы визуализации для тренажерных систем применяемых в вооруженных силах разрабатываются под специальные требования, учитывающие особенности военной техники.

Тренажеры военной техники РЭБ предназначены, прежде всего, для подготовки специалистов (операторов), управляющих сложными системами.

Тренажеры бывают двух типов: на базе только сети ПК, предназначенные исключительно для интеллектуального тренажа операторов; на базе сети ПЭВМ с макетами реальных пультов и устройств сопряжения макета пультов с сетью ПК.

Организационная структура ТФУиН должна обеспечить полностью индивидуализированное обучение на основе реализации технологии управления обучением. При этом ТФУиН должна содержать подсистемы, выполняющие следующие функции: поддержку формирования информационных блоков,

осуществлять контроль усвоения учебной информации, представлять учебную информацию в виде функций образца и внешней обстановки во всем диапазоне изменения его характеристик, обеспечивать диалоговый режим «обучаемый – ТФУиН», содержать базы данных для накопления характеристик обучения.

В общем случае тренажер представляет собой программно-аппаратный комплекс, имеющий структуру, содержащую следующие функциональные модули: формирования и предоставления информационных блоков обучаемому, контроля усвоения учебного материала, управления, отображения и обмена информацией с обучаемым, баз данных и документирования

С учетом того, что тренажер формирования умений и навыков предназначен для обучения будущих специалистов по поиску неисправностей в автоматизированных станциях помех, можно выделить три основных способа поиска неисправностей, каждый из которых имеет различные уровни сложности: по встроенным приборам и штатной диагностике, с помощью внешних штатных средств контроля и диагностики, с привлечением дополнительного измерительного оборудования

Построение ТФУиН на основе предложенной структуры с изложенными требованиями позволит создать эффективные учебные тренировочные станции по подготовке специалистов РЭБ с различным уровнем подготовленности по диагностике неисправностей в радиоэлектронной аппаратуре средств РЭП.

Литература.

1 В.Ф. Мельников, О.А. Белоцерковский, А.В. Ситкин. Принципы построения АОС по подготовке специалистов РЭБ поиску неисправностей в РЭА средств РЭП // "Актуальные проблемы вооруженной борьбы в воздушно-космической сфере": сбор. статей по мат-лам Всероссийской ежегодной научной конференции. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015.

2 Савельев А.Я. Автоматизированные обучающие системы на базе ЭВМ. М.: Знание, 1977.

## **Интеллектуальный робот-тренажёр для настольного тенниса**

Андрющенко А.В., Котляр Д.И.

Научный руководитель – Ломанов А.Н.

РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск

В настоящее время в Рыбинском государственном авиационном техническом университете в студенческом конструкторском бюро кафедры «Вычислительные системы» разрабатывается интеллектуальный робот-тренажёр для настольного тенниса.

Тренажёр обладает четырьмя степенями свободы: поворот пушки, поворот роликов относительно оси вылета мяча, наклон пушки, и подъём и опускание пушки относительно стола, которая является отличительной особенностью разрабатываемого тренажёра по сравнению с продукцией конкурентов. Также, от аналогичных устройств его выделяет возможность управления с помощью WEB-интерфейса, адаптированного под настольные компьютеры и ноутбуки, так и под мобильные устройства с сенсорным дисплеем.

В первоначальной концепции управление тренажёром было разделено на два уровня: интерфейс пользователя и устройство управления механизмами

тренажёра. Уровень интерфейса построен с использованием операционной системы Linux модификации Raspbian для мини-компьютера Raspberry Pi и программного обеспечения Apache, PHP, MySQL. Управление механизмами было разделено на два блока по пространственному признаку, выполненных на микроконтроллере ATmega128. Первый блок отвечал за подъём и поворот пушки, и был установлен внизу тренажёра. Второй блок отвечал за наклон пушки, поворот и скорости вращения роликов, и был установлен на самой пушке. Оба блока управления не могли самостоятельно работать без интерфейса пользователя, т.к. выполнение следующей позиции в программе тренировки инициализировалось с помощью Raspberry Pi.

В первый год работы был изготовлен тестовый образец тренажёра, управление которым осуществлялось в ручном режиме с помощью WEB-интерфейса, запущенного на Raspberry Pi и подключенного к точке доступа.

По окончании первого года разработки были проведены масштабные испытания устройства, которые позволили выявить недостатки данного тестового образца как в конструктивной части, так и в концепции построения аппаратного обеспечения второго уровня связанное с ограниченными ресурсами используемых микроконтроллеров. По результатам данного испытания была пересмотрена концепция построения аппаратной части проекта и переработана 3D модель тренажёра.

В настоящее время управление тренажёром разделено на три уровня: интерфейс пользователя, блок контроля устройств управления, дискретные устройства управления отдельные для каждой координаты.

На втором уровне загружается программа тренировки спортсмена. Для управления дискретными устройствами управления предусмотрен универсальный удобный двунаправленный интерфейс, состоящий из линии передачи управляющих команд с помощью USART в одном направлении и дискретной линии готовности устройства.

Третий уровень представляет из себя интеллектуальный драйвер, отвечающий за работу двигателя конкретной координаты тренажёра. Такой драйвер позволяет контролировать текущее положение устройства в пространстве, задавать его положение не в относительных величинах, а в абсолютных, позволяет организовать модульную структуру проекта, в связи с чем возможно заменить одно устройство управления на другое, например, изменив тип двигателя, при этом не затрагивая изменения всех остальных устройств.

В новой концепции, тренажёр способен самостоятельно выполнять загруженную программу тренировки. Это означает, что интерфейс пользователя может быть также заменён на другое аналогичное устройство, подключаемого к той же самой шине.

## **Программный комплекс математического моделирования мероприятий инженерно-авиационного обеспечения**

Легкодымов С.О.

Научный руководитель – Рубинов В.И.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Для моделирования процессов инженерно-авиационного обеспечения боевых действий (ИАО БД) авиационной части, с учетом основных технологических состояний самолетного парка авиационной части и изложенных в [1] теоретических основ моделирования квазипуассоновских процессов был разработан граф состояний парка летательных аппаратов (ЛА).

Граф отражает взаимосвязь подсистем подготовки и ремонта ЛА и показывает логическую последовательность перехода ЛА в различные технологические состояния. Вершины графа соответствуют состояниям, в которых может находиться ЛА в случайные моменты времени. Технологическими состояниями модели являются:

1. Исправные ЛА на подготовке к очередному вылету.
2. Боеготовые ЛА.
3. ЛА в среднем ремонте.
4. ЛА в текущем ремонте.
5. ЛА отошедшие в безвозвратные потери.

Для оценки интегральных характеристик используются псевдосостояния:

0. Неисчерпаемый источник.
6. Количество обеспеченных самолето-вылетов, приходящихся на один исправный ЛА.
7. Количество обеспеченных самолето-вылетов на промежутке ведения БД.

Совокупность состояний графа являются координатами фазового вектора системы. Состояния системы попарно связаны. Уменьшение одного состояния на какую-то величину приводит к увеличению парного состояния на такую же величину. Эти связи описываются с помощью вектора переходов. Подсистемы подготовки и ремонта ЛА в рассматриваемой системе моделируются как системы массового обслуживания с ограниченным числом каналов. Интенсивности подготовки и ремонта ЛА являются нелинейными величинами и для дальнейшего использования подвергаются статистической линеаризации.

Разработанная математическая модель реализована в виде программного комплекса на языке C++ и позволяет моделировать процессы эксплуатации ЛА с получением результатов в виде графиков для математических ожиданий и доверительных «коридоров» моделируемых процессов с заданной вероятностью прогноза.

Таким образом, использование описанного подхода для моделирования процессов ИАО БД позволит моделировать процессы, как с ординарными, так и с неординарными потоками переходов ЛА из одного состояния в другое, а также решать оптимизационные задачи управления ИАО БД.

Данные достоинства, а также высокая скорость решения задач, позволит использовать предложенную модель ИАО БД в алгоритмах оперативного применения.

Литература.

1 Шаламов А.С. Теоретические основы математического моделирования процессов инженерно-авиационного обеспечения. ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1992.

## **«Fast Formule Finder» — Поиск минимальных формул в заданном базисе**

Лелицак Василе

Научный руководитель – Молчанова С.И.

МАИ, г. Москва

Различные электронные схемы или их комбинации на логическом уровне могут быть описаны с помощью логических функций. Такое описание электронных схем позволяет отойти от физической природы электронных элементов и анализировать их как абстрактные объекты. При запуске первой версии программы Formule Finder пользователь может выбирать обозначение входов, доступные логические элементы и максимальное количество элементов которые необходимо использовать при реализации одного модуля. Логические функции представляются как бинарное дерево, содержащее два типа узлов операторов: унарные(инверсия), бинарные(дизъюнкция, конъюнкция, импликация, коимпликация, сложение по модулю 2, эквиваленция, стрелка Пирса, штрих Шеффера) и узлы значения. Первоначально создаются узлы значения (начальные значения). На следующем этапе они связываются с помощью разрешённых операторов до тех пор, пока не будут построены все функции в заданном базисе или не достигнут предел, определённый пользователем.

Принцип работы очень похож на перебор, который является единственным алгоритмом гарантирующим практически 100% правильность результатов. Данный алгоритм оказался совсем не эффективным, поиск минимальных формул в базисе Стрелка Пирса для трех переменных занимает несколько дней. После анализа результатов работы программы стало понятно, что в сети бинарных деревьев существует узлы, которые не используются при получении минимальной функции. Выяснилось, что у каждой минимальной функции все дочерние узлы также являются минимальными функциями. После добавления фильтра в существующий алгоритм, время выполнения сократилось до трех минут.

При следующей модификации алгоритма было учтено, что время выполнения зависит также от размера задания. Алгоритм был построен таким образом, что вычислял повторно значения определённых функций, так как каждая минимальная функция потом станет дочерним узлом другой. Было решено сохранять значения выражений в самый верхний узел для последующего чтения. После редактирования алгоритм стал сложнее, но работает он быстрее, результат удивительный — 2 секунды.

После анализа этой версии алгоритма были найдены причины, по которым алгоритм работает медленно:

- использование динамической памяти, так как получение памяти в куче и её освобождение занимает время;
- использование классов, так как опять же используется динамическая память;

- преобразования типов int — string и наоборот, текстовые файлы играли роль временных буферов, и при записи и чтении пришлось преобразовать данные, в следующей версии программы используются бинарные файлы.

Исключения данных проблем привело к несовместимости и пришлось переписать базовые функции вычисления унарных и бинарных операций, но это привело только к лучшему так как возросло быстродействие программы. В итоге была разработана совершенно новая программа Fast Formule Finder. Программа Fast Formule Finder способна найти все минимальные функции трёх переменных в базе Стрелка Пирса в интервале времени чуть меньше чем 100 миллисекунд.

Но и этот алгоритм не оказался идеальным, беда состояла в том, что множество минимальных функций может возвращать один и тоже результат, то есть существуют повторные вычисления. Эта проблема также была решена: процесс поиска делится на две части: поиск и оформление ответов. На этапе поиска вся информация собирается во временных файлах, затем выполняется этап оформления. Тесты показали, что второй этап гораздо медленнее, так как каждая операция записи и чтения занимает определённое время. После внесенных исправлений поставленная задача решается в течение 40 миллисекунд.

Программа «Fast Formule Finder» позволяет найти все минимальные формулы в заданном базисе. Программа написана на языке программирования C++.

Литература.

1. Конспект лекций по дисциплине «ООП». Молчанова Светлана Ивановна.

Конспект лекций по дисциплине «Проектирование и анализ алгоритмов». Титов Вячеслав Константинович.

Савельев А. Я. Основы информатики: Учеб. Для вузов. — Москва: Изд-во МГТУ имени Н.Э.Баумана, 2001, — 328 с.

4. А. Виллемер Программирование по C++ : пер. с нем. — Москва: Эксмо, 2013. — 528 с.

## **Программное обеспечение «Фитнес – для людей с различными заболеваниями»**

Мишин А.С.

Научный руководитель – Гуснин С.Ю.

МАИ, г. Москва

В наши дни происходят масштабные изменения во всех сферах человеческой жизни. Важную роль в этих преобразованиях играет стремительное развитие научно-технического прогресса, глобальная информатизация передовых стран мирового сообщества.

В Российской Федерации происходит процесс формирования информационного общества, что ставит задачу информатизации большинства сфер.

Информационные технологии в спорте применяются:

- в качестве средства обучения
- в качестве средства информационно-методического обеспечения
- в качестве средства автоматизации процессов контроля
- в качестве средства автоматизации процессов обработки результатов соревнований и научных исследований

- в качестве средства организации интеллектуального досуга, развивающих игр;
- в рекламной, издательской и предпринимательской деятельности в сфере физической культуры и спорта;
- при организации мониторинга физического состояния и здоровья различных контингентов занимающихся.

Занятия фитнесом и спортом в целом помогают удлинить жизнь, снизить вес, справиться со стрессом и укрепить сердце и сосуды. А еще это лучшее лекарство от некоторых болезней.

Принято считать, что заниматься фитнесом и другими видами спорта можно только здоровым людям. Но это не так. Даже при самых серьезных заболеваниях можно подобрать полезные и безопасные упражнения.

- Современный рынок программного обеспечения предлагает продукты, которые нацелены на здоровых людей в то время как моя работа направлена на помощь в занятии фитнесом людям с различными заболеваниями, что и определяет её актуальность.

Особенности разрабатываемого ПО:

- Удобство использования
- Кроссплатформенность – возможность использования на различных ОС
- Функциональность
- Подбор упражнений при заданных заболеваниях
- Использование специализированной медицинской литературы при составлении базы данных упражнений
- Советы дипломированного фитнес-тренера при составлении базы данных упражнений

## **Мобильное приложение «Интерактивная карта горнолыжного комплекса»**

Пахомов Е.В.

Научный руководитель – Гуснин С.Ю.

МАИ, г. Москва

В последние годы индустрия горнолыжного туризма является одной из самых быстро развивающихся отраслей в области внутреннего туризма в России. С каждым годом все больше и больше людей, особенно молодежи, в качестве зимнего увлечения выбирают горные лыжи или набирающий популярность сноуборд. Например, за последние 5 лет поток туристов горнолыжного курорта «Роза Хутор» вырос на 6 тыс. чел/сутки, курорта «Шерегеш» на 47 тысяч человек за сезон. В некоторой степени это связано с ростом курса рубля, что вынуждает часть туристов выбирать не зарубежные, а российские курорты, но немало туристов просто предпочитают российские курорты зарубежным по другим убеждениям. Важной характеристикой при выборе горнолыжного курорта является качество услуг и удобство их использованием, поэтому для туристов очень важно представлять общую схему объектов и разбираться в ней.



Имеющиеся схемы и карты горнолыжных комплексов не очень удобны и информативны. На двумерных изображениях в небольшом масштабе, очень тесно располагаются все объекты, из-за обилия которых разбегаются глаза и очень неудобно ориентироваться.

Для получения общего представления о курорте, планирования распорядка дня, выбора трасс и прочих видов взаимодействия с инфраструктурой комплекса, посетителю приходится отдельно штудировать несколько страниц (веб-сайтов) информации, разбираться в карте, выделять для себя нужные объекты и отбрасывать не нужную информацию.

Приложение же поможет за несколько нажатий получить гораздо больше информации, в зависимости от заинтересованности каким-либо видом деятельности или направлением горнолыжного спорта, получить рекомендации по посещению определенных объектов, то есть осуществит более комфортное взаимодействие туриста с инфраструктурой горнолыжного комплекса.

В качестве объекта, для которого будет разрабатываться приложение, был выбран горнолыжный курорт «Шерегеш».

С помощью данного приложения пользователь сможет получить информацию:

- Об отелях, ресторанах/барах/кафе.
- О расположении пунктов медицинской помощи и станций спасательной службы.
- О подъемниках (тип подъемника, количество мест, время подъема, часы работы, на какие трассы можно попасть, поднявшись на нем).
- О трассах (протяженность, сложность и др.)
- О парках (на какой трассе находятся, какие объекты включает, детальная информация о каждом объекте)
- Рекомендуемые линии спусков, в зависимости от умений (новичок, продвинутый уровень, эксперт) и интересующего направления (фрирайд, фристайл, слалом, непринужденный/разминочный спуск).

### **Программный модуль неразрушающего контроля подповерхностной структуры полупрозрачных объектов**

Астахов Н.О., Попов Ф.Н.

Научный руководитель – Павлов П.В.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Для повышения эффективности работ по дефектоскопическому контролю на производстве и в эксплуатации предлагается использовать устройства неразрушающего контроля (НК), принцип действия которых основан на использовании метода спекл-структур оптического излучения (МССОИ). Физическая сущность данного метода заключается в определении состояния зондируемой поверхности по анализу параметров спекл-картин, регистрируемых при отражении или прохождении когерентного излучения через полупрозрачные шероховатые поверхности. В настоящее время известны работы отечественных и зарубежных ученых по использованию МССОИ для оценки параметров оптически-непрозрачных поверхностей деталей в лабораторных условиях, а также разработан опытный макет мобильного устройства НК, принцип действия

которого основан на МССОИ [1], но данные способы не представляют необходимой информации о внутренней структуре полупрозрачных объектов.

Цель настоящей работы заключается в разработке специализированного программного обеспечения, позволяющего проводить операции по НК внутренней структуре композитных (полупрозрачных) материалов с использованием устройств, принцип действия которых основан на использовании МССОИ. Принципы работы программного модуля построены на основе реализации алгоритмов обработки спекл-изображений описанных в работе [2].

Данный программный модуль позволяет производить захват спекл-изображений, производить расчет мощности источника излучения (лазера) для контроля внутренней структуры полупрозрачного материала на соответствующей глубине, рассчитывать параметры спекл-изображений (коэффициентов корреляционной функции), осуществлять графическое построение рассчитанных характеристик спекл-изображений, сравнивать значения ширины функций автокорреляции спекл-изображения при различных уровнях интенсивности излучения, делая выводы о наличии или отсутствии дефекта на определенной глубине исследуемого объекта.

Таким образом, разработанный программный модуль является важным дополнением к существующему программному комплексу неразрушающего контроля. Он позволяет проводить работы по дефектоскопическому контролю на новом уровне, который позволяет обнаружить не только наличие дефекта во внутренней структуре композитного материала, но и определить глубину его залегания.

Литература.

1. Павлов П.В., Горюнов А.Е. Аппаратно-программный комплекс неразрушающего контроля авиационных деталей. Труды МАИ. №80. 2015. С. 21.
2. Способ неразрушающего контроля подповерхностной структуры полупрозрачных объектов. Павлов П.В. Вольф И.Э., Малов А.Н., Петров Н.В., Левшин Е.А., Петров О.С., Ткаченко С.С. Патент РФ на изобретение №2563334 20.09.2015.

### **Методика полунатурного моделирования динамики военно-транспортного самолёта по сбросу моногруза**

Кузнецов А.Д., Разуваев И.Д.

Научный руководитель – Верещиков Д.В.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Под десантированием грузов и техники понимается процесс их вывода из грузовой кабины или из специальных отсеков и перемещения вблизи летательного аппарата до выхода из зоны возможного соударения с ним.

Самым эффективным способом десантирования грузов на площадке ограниченных размеров является беспарашютный способ, выполняемый с помощью вытяжного парашюта с предельно малых высот. Предельно малой высотой считается такая высота полета самолета, при которой расстояние между колесами выпущенного шасси и поверхностью площадки десантирования

составляет 5-7 м [1]. Для маловысотного десантирования грузов применяются специальные амортизирующие платформы. Процесс десантирования на самолете Ил-76 МД осуществляется на приборной скорости 240-280 км/ч, шасси выпущено, механизация крыла в положении  $\delta_s / \delta_{np} = 30^\circ/25^\circ$ .

Для проведения полунатурного моделирования сброса моногруза на пилотажном стенде с участием летчиков была доработана модель пилотажной индикации самолета Ил-76МД путем размещения радиовысотомера малых высот, устанавливаемого на козырек основной панели приборов. Использование дополнительного радиовысотомера, позволяет активно пилотирующему летчику точнее выдерживать высоту в процессе выполнения режима.

Для моделирования динамики самолета, в программном комплексе Matlab@Simulink создана модель динамики Ил-76МД, включающая следующий ряд элементов [2]:

- систему уравнений, описывающую движение самолета в виде комплекса, состоящего из несущего объекта (планера) и носимых (перемещающихся) грузов;
- Simulink – блок для расчета сил и моментов от силовой установки;
- Simulink – блок, содержащий сведения из банка аэродинамических сил и моментов;
- Simulink – блоки, описывающие динамику рулевых приводов и алгоритмы работы системы управления.
- Полунатурное моделирование сброса моногруза производится с целью:
- определения основных кинематических параметров движения самолета;
- изучения устойчивости и управляемости самолета в широком диапазоне изменения различных эксплуатационных факторов;
- синтеза алгоритмов управления в продольном канале;
- изучения свойств летчика при решении задачи управления самолетом при маловысотном десантировании.

Литература.

1. Разработка методических алгоритмических и программных средств исследования динамики маневренных самолетов с высокоавтоматизированными системами управления // Отчет по НИР № 1609351 (Шифр «ВАСУ»). – Воронеж, 2014. – 186 с.

2. Верещиков Д. В., Кузнецов А. Д., Шинькарук А. С. Проблемы устойчивости и управляемости военно-транспортного самолёта в условиях сброса моногруза // Авиакосмические технологии-2013. Труды XIV Всероссийской научно-технической конференции и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. – Воронеж: ООО Фирма «Элист»; 2013. С. 367-373.

## **Исследование алгоритмов реализации бортовых информационно-вычислительных систем (ИВС)**

Салангин Ю.А.

Научный руководитель – Опадчий Ю.Ф.

МАИ, г. Москва

В настоящее время выделяют следующие виды бортовых ИВС: бортовая ИВС бинокулярной астронавигации ЛА (режим оперативного определения текущего географического местоположения ЛА), бортовая ИВС бинокулярной астронавигации ЛА (режим начальной ориентации бинокулярного астровизира в направлении на опорные светила) и бортовая ИВС пассивной позиционной навигации подвижного объекта по данным от вершин триангуляции триангуляционной системы глобальной навигации. Принцип функционирования данных ИВС основан на определении с требуемой точностью координат текущего местоположения ЛА. Однако указанные выше ИВС имеют различные исходные данные, методики вычислений и алгоритмические блоки.

Бортовая ИВС бинокулярной астронавигации ЛА включает 2 режима. В режиме оперативного определения текущего географического местоположения ЛА заложен алгоритм вычисления координат текущего местоположения ЛА, текущей курсовой координаты ЛА относительно географического северного полюса земли по координатам местоположения опорных светил в эклиптике, наклону плоскости земного экватора относительно плоскости орбиты обращения Земли вокруг солнца, текущим значениям углов разворота в координатах 3-х степенной турели бинокулярного астровизира. Данная ИВС включает в себя три алгоритмических блока, которые в свою очередь состоят из 10 модулей. В основе вычислений координат лежат такие математические операции как сложение, вычитание, умножение и деление. Режим начальной ориентации бинокулярного астровизира в направлении на опорные светила определяет требуемые координаты начального разворота 3-х степенной турели бинокулярного астровизира в направлении на предварительно выбранную пару опорных светил. В основе данного режима также заложено 4 алгоритмических блока, состоящих из десяти модулей вычисления. В основе вычислений лежат математические операции сложения, вычитания, умножения и деления.

Особенностью бортовая ИВС пассивной позиционной навигации подвижного объекта по данным от вершин триангуляции триангуляционной системы глобальной навигации является необходимость расчета вектора линейной скорости перемещения объекта. Проекция вектора скорости на ось ОУ и плоскость земного экватора в гринвичской СК могут быть получены по данным от разных вершин триангуляции в виде произведения скорости на угол между плоскостями. Данные выражения определяют взаимосвязь параметров, формируемых в доплеровских каналах в различных вершинах триангуляции. Алгоритмический блок расчета базовых координат вектора линейной скорости объекта с доплеровскими сдвигами в вершинах триангуляции включает в себя 10 операций вычисления. Предварительная верификация объёмов однопроцессорной обработки и сопутствующего информобмена показывает необходимость выполнения таких математических операций как сложение и

умножение, а также вычисления тригонометрических функций синуса, косинуса, арккосинуса и тангенса.

Учитывая жесткие требования по быстродействию и надежности, а также живучести бортового навигатора особый интерес представляет возможность его реализации на СБИС ПЛ, что за счет оптимального распараллеливания вычислений, позволит значительно повысить быстродействие системы. Попытка реализации данного подхода демонстрирует необходимость модификации существующих в библиотеках стандартных САПР СБИС ПЛ мегафункций, предназначенных для выполнения основных математических операций и вычисления численных значений тригонометрических функций с целью сокращения суммарного времени их вычислений.

### **Метод сжатия графической информации с помощью сеточного представления**

Сорокин М.С.

Научный руководитель – Гуснин С.Ю.

МАИ, г. Москва

Сфера обработки графической информации очень актуальна в настоящее время как в связи с появлением новой аппаратуры для ее воспроизведения, так и с появлением новых форматов графической информации (трехмерное телевидение, сверхвысокое разрешение), поэтому разработка новых методов сжатия графической информации является актуальной темой в настоящий момент.

Сжатием информации называется процесс обработки данных направленный на уменьшение их объема. За последнее время было разработано большое количество эффективных методов сжатия с потерями и без потерь, обладающих рядом совершенно разных свойств.

Сжатие без потерь часто предпочтительней для искусственно построенных изображений, таких как графики, иконки программ, либо для специальных случаев, например, если изображения предназначены для последующей обработки алгоритмами распознавания изображений.

Область сжатия графической информации с использованием сеточного представления является малоисследованной на мировом уровне, поэтому аналогов и прототипов исследований данной области достаточно мало.

Компьютерная графика представляет собой одну из современных технологий создания различных изображений с помощью аппаратных и программных средств компьютера, отображения их на экране монитора и затем сохранения в файле или печати на принтере.

Большими плюсами такого метода должен стать уход от блочного эффекта, а так же увеличение количества кадров в секунду. Уход от блочного эффекта будет достигаться за счет движения узлов объектов, которые имеют свою полноценную форму не разбитую на блоки, а увеличение количества кадров возможно при разбиении вектора движения на более мелкие части, тем самым можно получить плавное движение от кадра к кадру при небольшой частоте дискретизации.

При сжатии графической информации, наряду с оценкой степени сжатия, играет важную роль оценка качества восстановленного изображения. Основная проблема при оценке качества изображений сжатых с использованием методов сжатия с потерями, представляет сложность описания типа и степени ухудшения качества восстановленных изображений. Из-за свойственных субъективным критериям недостатков особый интерес представляет разработка количественных, объективных критериев, как численных, так и графических, которые можно использовать вместо субъективных оценок. Такая методика необходима не только для оценки качества изображения, полученного в результате выполнения определенного алгоритма, но и для сравнения результатов работы разных алгоритмов, цифровых фильтров и т.д.

С помощью данной программы пользователь сможет:

- Уменьшить потерю качества
- Уменьшения объема данного файла
- Редактирование фото и видео информации
- Предпросмотр после редактирования

### **Распознавание рукописного текста с помощью свёрточной нейронной сети, обучаемой методом обратного распространения ошибки**

Федоров М.И.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

Каждый год в мире всё больше действий доверяют искусственному интеллекту. Автоматизация уже прочно обосновалась в нашей повседневной жизни, даже если мы этого не замечаем. Уверен, каждый из вас, читающих это, знаком если не с нейронными сетями, то хотя бы с результатом их работы.

Примером может служить распознавание номерного знака автомобиля по фотографии, прогнозирование временных рядов (курсы валют, цены на сырье и т.д.), распознавание голоса (ok, google), мониторинг информационных потоков, ассоциативный поиск информации в интернете и многое другое.

Среди всего многообразия применения нейронных сетей речь пойдет о распознавании рукописного текста.

Программный комплекс состоит из следующих компонентов:

- Приложение, умеющее на основании базы для обучения распознавать рукописный текст, состоящий из символов, представленных в базе.
- База с русскими буквами, содержащая сотни тысяч вариантов написаний. (с большой вероятностью потребует создания вспомогательного приложения, генерирующего написания русских букв, где написание является наложением на эталон некоторых шумов)

Задачей для Гагаринских чтений является пункт 1.

Каким критериям должна отвечать программа?

- Простота использования – как с точки зрения пользовательского интерфейса, так и с точки зрения программной реализации (у людей, использующих программу, не должно возникать вопросов).

- Открытый исходный код – чтобы каждый мог улучшить или изменить программу под свои нужды

Интеграция готовых решений – если у вас есть база символов, то требуется возможность с легкостью прикрутить её к программе.

Почему распознавание рукописного текста? На этом рынке есть 1 титан, и имя ему Adobe FineReader, показатели его необычайно высоки и едва ли достижимы, вот только платный он. Если же рассматривать бесплатные приложения, то для распознавания английского языка можно найти приемлемый вариант (впрочем, точность распознавания скорее всего будет хромать), а для русского языка ситуация и того хуже – едва ли вы сможете найти приложение, которое сможет распознать рукописный текст написанный на русском языке.

Перейдем к инструментам. Существует множество видов нейронных сетей, в программном комплексе используются сверточные. Причина – они наиболее подходят для распознавания изображений, используя их можно достигнуть впечатляющих (>99%) результатов в точности распознавания, и на сегодняшний день это новый виток в развитии нейросетей.

Метод обратного распространения ошибки выбран как наиболее подходящий для сверточных сетей. Со стороны реализации будет использована платформа.Net, в особенности язык C#, пользовательский интерфейс будет написан при помощи winforms/wpf.

## **Программно-аппаратный комплекс для контроля соблюдения санитарных норм при работе с ЭВМ**

Фенько А.В.

Научный руководитель – Молчанова С.И.

МАИ, г. Москва

В современном мире много внимания уделяется здоровью людей, важной частью нашей жизни является работа с компьютером. При работе с ЭВМ может создаваться много пагубных факторов, таких как: ухудшение зрения, ухудшения осанки, болезни, связанные с сидячим образом жизни.

Задачей медицины является наблюдение за здоровьем человека, и профилактика заболеваний. В этом могут помочь информационные технологии. Чтобы соблюдать санитарные нормы необходимо тщательно следить за тем, как вы работаете за компьютером, для этого применяются различные программы и устройства, в том числе и носимая электроника, которая вовремя указывает на нарушение режима.

Для решения поднятой проблемы применяются различные программные и аппаратные средства, но они полностью не удовлетворяют всем критериям:

- отсутствие необходимости постоянно корректировать действия программы,
- удобное информирование пользователя о результатах работы программы,
- наличие инструкции по проведению упражнений,
- соблюдение санитарных норм.

Также у носимой электроники имеется несколько минусов:

- носимая электроника – личная вещь, ее нельзя передать от сотрудника к сотруднику. Есть шанс утери устройства, если таковое выдается на руки, и находится все время у работника,
- умные браслеты – достаточно дорогое устройство,
- не имеют возможностей следить за работой на компьютере пользователя.

На основе исследования, было принято решение создать недорогой программно-аппаратный комплекс на базе датчиков, подключаемых к любому персональному компьютеру. В программное обеспечение закладываются Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.2.542-96, нарушение которых доводится до сведения пользователя. Программно-аппаратный комплекс рассчитан для использования в компаниях, которые заботятся о своих сотрудниках, которым важен максимальный результат и высокая производительность труда своих кадров, а также для людей, заботящихся о своем здоровье. Ведь от степени усталости человека зависит качество его работы, ни в коем случае нельзя доводить до переутомления.

Программно-аппаратный комплекс будет удовлетворять следующим требованиям:

- освобождения пользователя от «лишних» действий,
- удобная система оповещения, реализуемая с помощью аппаратной части,
- необходимые рекомендации по проведению перерывов,
- общие рекомендации по организации рабочего пространства,
- невысокая стоимость изделия.

## **Реализация и разработка модели электронного журнала**

Филиппенков П.Н.

Научный руководитель – Павлов В.Ю.

МАИ, г. Москва

Современные образовательные технологии предусматривают автоматизацию процессов взаимодействия участников учебного процесса (студенты, их родители, преподаватели, работники деканата и др. сотрудники вуза). Инструментом автоматизации как правило становится так называемый «электронный журнал». В настоящее время большинство электронных журналов в России являются оригинальными разработками различных учреждений, методика работы с такими журналами может сильно различаться. Электронные журналы часто бывают специфичны в использовании, имеют уникальный интерфейс, что затрудняет поиск информации, а также – плохо интегрируемы друг с другом.

- На данный момент существует три вида электронных журналов:
- Параллельные (идентичные друг другу печатная и электронная версия журнала);
- Интегрированные (дополняющие друг друга печатная и электронная версия журнала);
- Оригинальные (обычный электронный журнал).

Целью работы является:



- Разработка комплексной модели электронного журнала на основании требований, сформулированных в результате исследования информационного взаимодействия участников учебного процесса и с учётом анализа существующих электронных журналов;

- Реализация программной системы, реализующей модель информационного взаимодействия участников учебного процесса;

- Анализ существующих электронных журналов, формулировка требований к разработке модели электронного журнала.

Для решения вышеизложенной проблемы предлагается разработать комплексную модель универсального электронного журнала.

В состав комплексной модели предполагается включить:

- Модель агентов;
- Модель взаимодействия между агентами;
- Статистическая модель информационных потоков;
- Модель системы хранения и передачи информации (базы данных).

Требования:

- Простота развертывания компонентов электронного журнала на сервере;

- Возможность настройки параметров без ограничения универсальности электронного журнала.

### **Анализ подходов к разработке рекомендательных систем с естественно-языковым интерфейсом**

Цветков О.А.

Научный руководитель – Фомичев В.А.

МАИ, г. Москва

В теоретической и компьютерной лингвистике естественным языком (ЕЯ) называется совокупность языков, на которых говорят люди в определенном регионе, а на многих из них пишут статьи, книги, ведут теле- и радиопередачи. Грамматические правила и словарь конкретного ЕЯ определяются практикой его применения и иногда бывают даже не зафиксированы формально.

Направление «Обработка естественного языка» (Natural Language Processing) сформировалось с 1950-х годов в процессе развития исследований по искусственному интеллекту. Его задачей является исследование и реализация процесса общения с компьютерными системами на ЕЯ.

В начале 1990-х годов в области электронной коммерции сформировалось новое научное направление по разработке рекомендательных систем (РекС), в рамках которого ученые занимались проблемой выработки рекомендаций на основе анализа характеристик товаров. Эта область быстро развивалась, и спустя десять лет в рекомендательные системы были добавлены естественно-языковые интерфейсы (ЕЯ-интерфейсы), чтобы помочь посетителям интернет-магазинов принять решение при выборе товаров и услуг.

Основным преимуществом рекомендательных систем с ЕЯ-интерфейсом по сравнению с традиционными системами является то, что пользователь не должен быть знаком с предметной областью, отображенной в базе данных рекомендательной системы. Запрос пользователя на ЕЯ позволяет быстро

выделить подмножество тех объектов, которые должны быть ему интересны, и, в дальнейшем, уточнить требуемые характеристики товаров.

В начале 2000-х сотрудники научного центра IBM в США провели исследование по выяснению предпочтений пользователей РекС. В качестве предметной области был выбран интернет-магазин по продаже ноутбуков производства IBM. В процессе подготовки к эксперименту были разработаны два вида интерфейсов: традиционный, основанный на различных меню с множеством критериев, и англоязычный интерфейс, названный Естественнo-языковым помощником (Natural Language Assistant, сокращённо NLA). Испытуемых попросили оценить свой опыт работы с каждым из предложенных интерфейсов. Эксперимент показал, что около 80 процентов пользователей предпочитают взаимодействовать с ЕЯ-интерфейсом, а не с традиционной системой предлагаемых меню.

## СЕКЦИЯ № 8. Проблемы проектирования и эксплуатации компьютерных сетей

Руководитель секции: к.т.н. Гуснин С.Ю.

---

### Атака ARP — spoofing канального уровня вектора «Man In The Middle»

Алтухов А.Н.

Научный руководитель – Полицына Е.В.

МАИ, г. Москва

Проблема информационной безопасности имеет огромное и очень важное значение в сфере информационных технологий. Однако существуют проблемы, которые и по сей день не имеют единых и рациональных решений. К таким проблемам относится ARP — spoofing атака с вектором атаки MitM (Man In The Middle — человек по середине).

Преобразование IP — адреса в MAC — адрес для коммуникации между сетевыми интерфейсами происходит с помощью протокола ARP (*Address Resolution Protocol* — протокол определения адреса). Протокол ARP не имеет способов проверки подлинности пакетов. Другими словами, любой сетевой интерфейс может отправить в сеть как ARP — запрос, так и принять ARP — ответ. Основной уязвимостью ARP протокола является то, что злоумышленник может отправить в сеть ARP — ответ, а сетевой интерфейс, которому предназначался данный ARP — ответ, примет пакет и обновит свою ARP — таблицу.

Цель ARP — spoofing атаки сводится к тому, чтобы перенаправить трафик между двумя узлами «А», «В» через третий узел «С», тем самым давая возможность прослушивать передаваемый трафик третьему узлу «С».

Алгоритм атаки сводится к следующим действиям узла «С»:

- Отправление ARP — ответа узлу «А» с IP — адресом узла «В» и MAC — адресом узла «С»;
- Отправление ARP — ответа узлу «В» с IP — адресом узла «А» и MAC — адресом узла «С»;
- Перевод сетевого интерфейса в режим forwarding пакетов. Это необходимо, чтобы узел «С» смог выступать в качестве роутера. Это выполняется командой в консоли:

```
echo 1 > /proc/sys/net/ipv4/ip_forward
```

В настоящее время нет единого и рационального решения способного предотвращать ARP — spoofing атаку. К существующим решениям можно отнести:

- Программа arpwatсh отслеживает всю ARP-активность на указанных интерфейсах. Когда она замечает аномалии, например, изменение MAC-адреса при сохранении IP-адреса, или наоборот, она сообщает об этом в syslog.
- Вручную формировать ARP — таблицу, при этом она становится неуязвимой к ARP-атакам.

Эти решения не позволяют полностью защититься от ARP — spoofing атаки, поэтому актуальным является дальнейшее более глубокое изучение проблемы и разработка новых методов и инструментов для ее решения, чтобы обеспечить надежную защиту протокола ARP.

В докладе рассматриваются основные недостатки протокола ARP, которые создают достаточно серьезные проблемы в сфере информационной безопасности: возможность перенаправления, прослушивания и модификации сетевого трафика, и возможные пути защиты от этого вида MitM-атак.

### **Алгоритм внедрения неисправностей для анализа функционирования вычислительной сети**

Балян А.В.

Научный руководитель – Брехов О.М.

Научный руководитель – Полицына Е.В.

МАИ, г. Москва

С ростом требований к надежности и отказоустойчивости вычислительных сетей(ВС) растет актуальность задачи анализа функционирования ВС в присутствии сбоев и отказов. Для решения данной задачи удобным методом является внедрение неисправностей (ВН).

Данный метод можно применять на разных стадиях разработки, как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации ВС. Существующие аппаратные и программные инструменты по ВН в вычислительных сетях дают возможность внедрять сбои и отказы на разных этапах разработки, уровнях стека протоколов, в разных топологиях. Однако методики для автоматического выполнения ВН с выявлением мест для внедрения (в том числе многократных сбоев и отказов) с высокой степенью контролируемости и независимости от операционной системы и производителя устройств- нет.

В связи с этим в данной работе предлагается алгоритм для автоматизации процесса ВН в вычислительных сетях. Основные этапы предложенного алгоритма включают: распознавание топологии сети (физической и логической) и представление в виде графа, вычисление минимального разреза на базе алгоритма Штор-Вагнера, внедрение неисправностей, анализ реакции системы. Минимальный разрез графа, это множество ребер минимальной суммарной мощности, удаление которых делит связный граф на два несвязных между собой подграфа. Вычисление в физической топологии минимального разреза дает возможность нахождения минимального множество каналов, отказ которых приведет к разделению сети на два несвязных сегмента и к нарушению передачи данных. Так как в физической топологии сети есть петли по сравнению с логической топологией, после вычисления минимального разреза вводятся сбои или отказы в каналы логической топологии. Далее анализируется работа средств отказоустойчивости при переключении на резервные линии и функционирование сети по новой топологии. Приведенная процедура продолжается для применения многократных сбоев и отказов. Выбор алгоритма Штор-Вагнера обусловлен хорошими показателями быстродействия, по сравнению с другими алгоритмами нахождения минимального разреза (или двойственной задачи поиска максимального потока).

На базе приведенного алгоритма разработана программа на объектно-ориентированном языке программирования C#. Программа запускается на одном из компьютеров в сети, определяется топология сети, которая затем представляется в виде неориентированного графа (вершинами представляются узлы, дугами линии связи). На основании матрицы смежности и значений пропускной способности линий связи вычисляется минимальный разрез сети, на основании этого определяется место для внедрения сбоя или отказа. Внедрение сбоя или отказа линии связи или устройства передачи данных выполняется средствами протокола SNMP (англ. Simple Network Management Protocol — простой протокол сетевого управления). В процессе работы анализируются показатели функционирования до и после ВН. На основе полученных данных анализируется уровень воздействия сбоя или отказа на функционирование ВС, также уровень парирования средствами отказоустойчивости.

### **Программная платформа для организации и функционирования беспроводной сенсорной сети различной топологий**

Белкин В.Д.

Научный руководитель – Терентьев М.Н.

МАИ, г. Москва

В настоящее время существует целый ряд классов беспроводных сетей, находящих свое применение в различных областях. Один из этих классов, беспроводные сенсорные сети (БСС), используется для решения задач мониторинга измеряемых параметров физической среды и объектов.

Исследовательская работа посвящена изучению принципов организации и функционирования БСС и созданию инструментария для её реализации. Основная цель работы заключается в создании программной платформы, включающей в себя 3 модуля, которые будут созданы в результате решения трех представленных далее задач.

Первая задача исследований заключалась в разработке инструмента для конфигурирования рабочего места программиста с использованием UNIX-подобных ОС. При проведении исследований используются узлы, оснащенные микропроцессорами семейства MSP430, для работы с которыми необходимо иметь инструмент, включающий в себя набор необходимых программных и аппаратных компонентов, позволяющих прошивать центральный микропроцессор и производить отладку приложений. В качестве результатов выполнения первой задачи создан первый модуль платформы, отвечающий за технологию работы с MSP430.

Вторая задача исследований заключается в формировании модуля платформы, элементы которого отвечают за функционирование аппаратных компонентов узлов сети. В совокупности данный модуль позволяет управлять узлами БСС: осуществлять работу с центральным микропроцессором узла, управлять режимами энергопотребления, конфигурировать таймеры, тактовые переключатели, светодиоды, датчики. Отдельное внимание уделяется элементу модуля, отвечающего за контроллер OLED-дисплея.

Третья задача исследований полностью посвящена приемопередатчику. В процессе решения данной задачи формируется третий модуль платформы,

состоящий из интерфейсов, отвечающих за настройку приемопередатчика, и стека протоколов, являющихся базой для организации и функционирования БСС. Стек протоколов структурирован по эталонной модели OSI, где для БСС используются 4 уровня: физический, канальный, сетевой и прикладной. Из всех уровней особый интерес представляет сетевой, т.к. именно он отвечает за инициализацию сети, организацию взаимодействия между узлами и дальнейшее функционирование сети. На текущий момент реализованы топологии сети типов "линия", "звезда" и "дерево".

Области применения результатов весьма обширны: оборона, промышленность, медицина, аэрокосмическая отрасль. Независимо от области применения выделяются базовые аппаратные компоненты узлов любой БСС: приемопередатчик, сенсоры, центральный микропроцессор и элементы питания. Для управления этими базовыми компонентами, а также для организации и последующей должной работы самой БСС, и предназначена программная платформа. Решение всех трех задач в полной мере подведет к достижению основной цели исследовательской работы, которая продолжается в настоящее время.

## **Тестирование и применение эмуляторов Cisco для моделирования гетерогенной IP сети**

Горячев А.М.

Научный руководитель – Браун С.А.

МАИ, г. Москва

В современных компьютерных сетях возникает необходимость тестирования настроек оборудования, например, построение маршрутов различными протоколами или же обработку некоторых пакетов маршрутизатором. Однако, в большинстве случаев сеть уже используется, и нет возможности проводить эксперименты на работающем оборудовании

Для решения этой задачи существуют эмуляторы сетей, которые позволяют вручную построить сеть с использованием образов устройств которые необходимо загружать. При этом возникает проблема со временем: если эмулируемая сеть содержит не один, а несколько десятков устройств, загрузка каждого из них вручную не представляется оптимальным вариантом.

Далее решается проблема динамического составления структуры сети. Система имеет доступ к оборудованию и стартовые конфигурации нужных нам устройств. Используя предустановленный протокол Cisco Discovery, выводящий список соседних устройств, а также интерфейсы, которыми они связаны. Система может перенести структуру реальной сети в программу эмулятора, используя exрест скрипт. С его помощью реализуется подключение к нужному оборудованию, IP адрес которого получен из стартовой конфигурации.

Система эмулятора представляет виртуальную сеть как файл xml формата, в котором записаны названия образов устройств, их связи и стартовые конфигурации, поэтому для генерации сети достаточно разобрать собранные связи и записать их в нужные места.

Для анализа трафика используется NetFlow, по его принципу работы необходим коллектор информации, коим будет являться Linux сервер. На него

же устанавливается приложение генерирующие пакеты, например, Ostinato или Scapy.

Файл с трафиком, необходимый для генерации, выдается извне. Необходимо считать нужные данные и подать на вход к генератору.

Итоговая программа состоит из следующих блоков выполнения:

- Сбор информации по расположению устройств в сети
- Составления связей и их запись в проект эмулятора
- Подключение образов устройств и Linux сервера в проект
- Разбор входного файла и генерация необходимого трафика
- Считывание собранной информации с коллектора

Программа позволяет моделировать работу сети и тестировать различные настройки оборудования и прохождения трафика в различных условиях. Она является частью системы управления гетерогенными IP сетями, проходящей тестирование на кафедре ПМИТЭТ.

### **Проектирование локальной вычислительной сети издательского центра с использованием технологии VLAN**

Громова М.Д.

Научные руководители – Челпанов А.В.

МАИ, г. Москва

Современные информационные технологии неразрывно связаны с применением и проектированием вычислительных сетей различного назначения и масштаба. В работе ставится цель выполнить проект ЛВС издательского центра, разделив информационные потоки разных отделов с помощью технологии виртуальных частных сетей. Технология Virtual LAN базируется на стандарте IEEE 802.1Q. Основная идея введения виртуальных сетей в коммутируемую среду — повышение полезной пропускной способности за счет локализации ширококвещательного трафика, формирование виртуальных рабочих групп из некомпактно (в плане подключения) расположенных узлов, обеспечение безопасности, улучшение соотношения цены/производительности по сравнению с применением маршрутизаторов.

В работе выполнен расчет информационных потоков каждого сегмента ЛВС, средняя скорость между оконечным оборудованием и коммутаторами составляет 7,8 Мбит/с, между коммутаторами и центральным маршрутизатором – 83 Мбит/с, поэтому решено построить ЛВС на базе технологий Fast Ethernet, Gigabit Ethernet. Информационными потоками управляет маршрутизатор с поддержкой VLAN. Расчет информационных потоков для беспроводного доступа к сети (6,8 Мбит/с), а также площадь помещений издательского центра показали, что необходимо минимум две точки доступа D-Link DWL-6700AP стандарта WiFi IEEE 802.11g/n. Разработанная ЛВС объединяет 18 рабочих станций сотрудников и администрации, 3 сервера, 5 многофункциональных устройств, шлюз Интернет. Четыре сегмента сети построены на коммутаторах DGS-1100-10/ME, DGS-1100-16/ME, DGS-1100-06/ME компании D-Link. Сегмент, объединяющий контроллер домена MS Windows Server, MS Exchange Server и сервер «1С: Предприятие», реализован на скорости 1000 Мбит/с. В остальных 3-х сегментах клиентские ПК в зависимости от сетевых адаптеров

работают на скоростях 100/1000 Мбит/с. При замене ПК замена коммутаторов и кабельной инфраструктуры не нужна, т. к. проект реализован с «запасом», кабели и коммутаторы поддерживают скорость 1000 Мбит/с. Ключевым звеном ЛВС издательского центра является маршрутизатор Mikrotik RB951G-2HnD.

Данное программно-аппаратное решение относится к классу SOHO, поддерживает технологию VLAN и хорошо зарекомендовало себя для реализации подобных проектов. Всего в проекте на коммутаторах и маршрутизаторе компании Mikrotik настроено шесть VLAN: первая объединяет рабочие станции дизайнерского отдела и отдела продаж, вторая — ПК бухгалтерии, третья — ПК администрации, четвертая — ПК производственного отдела, пятая — серверы, шестая предназначена для управления, она объединяет активное сетевое оборудование ЛВС, доступ к ней имеет только сетевой администратор. Доступ в Интернет для сотрудников центра реализован через шлюз Traffic Inspector отечественной компании Smart-Soft, в ПО шлюза выполнены настройки для пользователей, включены фильтры на доступ к нежелательному контенту, для экономии трафика и снижении затрат на доступ в Интернет включен и настроен прокси-сервер. Антивирусная защита ЛВС базируется на ESET NOD32 Antivirus Smart Security Business Edition.

В ходе проектирования разработана схема ЛВС издательского центра в MS Visio, выполнен расчет информационных потоков для каждого абонента ЛВС, выбрано активное и пассивное сетевое оборудование, изучена технология IEEE 802.1Q и настроены VLAN на коммутаторах D-Link и маршрутизаторе Mikrotik, установлено и настроено ПО на шлюзе Интернет, выбрано решение для антивирусной защиты ЛВС.

### **Об автоматическом устранении некоторых проблем в сети**

Даниелян М.М., Кохановский А.А.

Научные руководители – Браун С.А., Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

В связи с развитием информационных технологий, стало популярно использование автоматизированных средств, позволяющих облегчить работу сотрудников в различных сферах деятельности. Рассмотрим следующий пример автоматизации: выявление и исправление проблем в работе компьютерной сети.

Сетевые ошибки и проблемы можно разделить на несколько категорий и для каждой из них сделать вывод о возможности автоматического исправления.

- Физическая неисправность
- Выход из строя оборудования
- Неверная конфигурация
- Зависание оборудования
- Неверные настройки на клиентских устройствах.

Решение проблемы под пунктами три, четыре и пять можно решить автоматизированным путем, а проблемы под номерами один и два можно детектировать.

Автоматизация поиска и исправления ошибок освободит от части работы системных администраторов и значительно увеличит скорость восстановления работоспособности сети.



Предлагаемая модель делит все программное обеспечение для мониторинга и исправления проблем на две части, на серверную и клиентскую. Серверная часть осуществляет мониторинг сети, диагностику сетевого оборудования и оповещает администратора о проблемах в сети. Клиентская часть осуществляет контроль за работой сети на клиентских машинах: при появлении проблем из пунктов один и пять пытается решить их самостоятельно. Например, путем перезагрузки устройств или изменения настроек сети. В случае если ошибка не связана с клиентской машиной или сеть отсутствует по физическим проблемам, то клиентская часть оповещает пользователя об ошибке и просит уведомить системного администратора о проблеме. При этом серверная часть постоянно получает информацию от клиентов о том, что они доступны. В случае правильного завершения работы, клиент оповещает сервер о своем выключении. В случае если клиент пропадает из сети без предварительного оповещения, сервер начинает попытки восстановить с ним соединение путем проверки промежуточных узлов сети.

### **Разработка метода автоматизации сравнения характеристик товаров интернет магазина электроники**

Добронравов О.А.

Научный руководитель – Сдобнов А.Г.

МАИ, г. Москва

В современном мире почти каждый человек посещает магазины электроники. И большинство людей посещают интернет-магазины электроники для покупки товаров. Существующие web-ресурсы интернет-магазинов электроники, как правило, представляют собой обычный каталог товаров, который чаще всего либо не предоставляет пользователю-покупателю возможность удобного сравнения характеристик товаров, либо такие возможности крайне ограничены. Даже при наличии ограниченных средств сравнения характеристик товаров покупателю приходится создавать отдельные вкладки в браузере с информацией о характеристиках конкретного товара. Затем покупатель вынужден запоминать или записывать где-то все характеристики товаров и вручную сравнивать их. Даже в том случае, когда отдельные web-ресурсы позволяют сравнивать характеристики товаров на одной вкладке в браузере, то пользователю все равно приходится вручную сравнивать характеристики. И только затем потенциальный покупатель начинает думать и принимать решение о покупке одного из товаров. Этот процесс сложен и не очень удобен.

Разработанный мною метод автоматизации процесса сравнения характеристик товаров интернет магазина, позволит существенно облегчить и ускорить процесс сравнения товаров (и принятия решения о его покупке, соответственно) следующим образом:

- Сравнение товаров по характеристикам будет реализовано автоматически
- Сравнение будет производиться в одной вкладке браузера
- Результат сравнения будет отображаться в удобном для человека виде
- Будет выдаваться ранжированный список из товаров сравнения от лучшего варианта к худшему.

## Разработка CMS информационного портала-форума для родителей студентов

Кириллов П.А.

Научный руководитель – Молчанова С.И.

МАИ, г. Москва

В настоящее время тема обеспечения на должном уровне качества образования и его повышения для ВУЗов весьма актуальна. Наряду с личными качествами студента, его мотивации, способности к учебе не последнюю роль в учебном процессе играют родные и близкие студента, заинтересованные в его успешном обучении и всестороннем развитии. Ведь довольно часто они могут оказать существенное влияние на успешность обучения студента, особенно на младших курсах. Но, теперь взглянем на это со стороны родных и близких студента. Какие у них есть способы для получения информации касательно его обучения?

- Ссылаться на слова самого студента. Что иногда не отражает действительности и узнать точной картины об обучении родные не в состоянии.
- Оценки в зачетке. По ним можно судить, насколько успешен студент, но уже во время сессии, соответственно до нее родные плохо представляют ситуацию обучения и мало повлияют на оценки сессии.
- Звонки в ВУЗ с целью получения информации о текущей ситуации обучения студента. Трудоемкий процесс, предполагающий планирование времени, звонки в ВУЗ, ожидание сбора информации по конкретному студенту. И после всего, наверняка будет получена лишь поверхностная картина.

На данный момент интернет разработки по оповещению и связи с родными студентов практически отсутствуют. Если рассматривать небезызвестную систему управления обучением Moodle, которую используют многие ВУЗы. У нее вообще нет конкретного понятия «родитель» и обратную связь с оными она не предоставляет. Это объясняется тем, что она в принципе заточена под студентов и преподавателей, и функционал для родителей отсутствует. Некоторые ВУЗы предоставляют такие элементарные возможности как скачивание файла журнала посещаемости или промежуточной аттестации. Но помимо проблемы поиска нужного среди всего потока информации у родных просто нет возможности или элементарно знаний для работы с данными файлами.

В качестве моей дипломной работы предполагается создать интернет портал-форум для родителей студентов, на базе, разработанной с нуля, CMS. Где помимо функционала форума, предполагающего свободное общение между родителями и преподавателями/руководством кафедры с помощью тем, личных сообщений или e-mail, будут присутствовать такие ключевые особенности как: привязка родителя к определенному студенту, для получения информации онлайн о его учебной деятельности в удобной форме, в удобное для них время, не покидая форума. Связь с lms.mai.ru (бывший umr.mati.ru) для получения информации учебного плана и электронной зачетки конкретного студента. Функционал старосты для загрузки файлов с успеваемостью, журналами т.д., с

последующим их корректным считыванием и сохранением в базе данных. Отображение актуальных новостей кафедры и ВУЗа, путем парсинга соответствующей информации с главных сайтов, а также возможность написания новых новостей.

Литература.

Мясникова Т.С., Мясников С.А. Система дистанционного обучения MOODLE.-

Харьков, 2008.-232 с.

<https://ru.wikipedia.org/wiki/Moodle>

Создаем динамические веб-сайты с помощью PHP, MySQL, JavaScript и CSS. 2-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 560 с.

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Синтаксический\\_анализ](https://ru.wikipedia.org/wiki/Синтаксический_анализ)

<https://ru.wikipedia.org/wiki/Веб-портал>

### **Разработка системы «умный дом»**

Марков Ю.Е.

Научный руководитель – Молчанова С.И.

МАИ, г. Москва

Современный этап развития общества характеризуется широким распространением информационных технологий, которые охватывают практически все сферы человеческой деятельности, помогая автоматизировать процессы, производить более точные расчеты, анализировать события, совершать безопасные и быстрые операции с информацией. На сегодняшний день одной из наиболее распространенных информационных технологий являются автоматизированные системы управления, которые представляют собой комплекс программных и аппаратных средств, предназначенных для контроля над различными процессами на предприятии или производстве. Основным преимуществом использования автоматизированных систем управления является обеспечение безопасности и автономности работы, что позволяет исключить человеческий фактор из причин возникновения опасных ситуаций.

Проникновение информационных технологий в повседневность человека привело к тому, что автоматизированные системы управления стали использоваться не только на производстве, но и в домашних условиях. Все существующие автоматизированные системы управления, использующиеся в быту (система связи, освещения, отопления) можно объединить в систему «Умный дом», которая максимально обеспечивает безопасность, комфорт и ресурсосбережение пользователя.

Существует множество различных модификаций системы «Умный дом» и каждая из её реализаций создается для решения конкретных задач. В данной работе целью создания системы «Умный дом» являлось обеспечение управления отоплением в помещении. Для решения поставленной задачи в программе системы была реализована функция поддержания установленной температуры в двухконтурном бойлере посредством изменения положения поворотного клапана. Функция последнего заключается в регулировании поступления горячей воды в контур отопления по заданной программе, основанной на

принципе пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора, управляющего поворотным клапаном в зависимости от температуры обратного контура отопления и температуры в помещении. В дополнение к функциям основной программы были написаны модули, обеспечивающие дистанционное управление и контроль за работой системы:

- управление всей системой по интегрированному GSM модулю с помощью СМС сообщений;
- контроль температур по СМС – задание порогового значения температуры в бойлере и в помещении;
- охрана периметра;
- ежедневный отчет.

В сравнении с существующими модификациями системы «Умный дом», система данной работы имеет следующее преимущество: управление температурой в помещении осуществляется не только её регулированием в бойлере, но и управлением положения поворотного клапана, что позволяет сократить время и увеличить точность достижения заданной температуры.

Литература.

Michael McRoberts. Beginning Arduino. New York, Apress, 2010.

Simon Monk. 30 Arduino Projects for the Evil Genius. The McGraw-Hill Companies, 2010.

GSM Module <https://www.arduino.cc/en/Reference/GSM>

## **Создание модуля регистрации действий для системы управления гетерогенными сетями**

Машняга Н.А.

Научный руководитель – Браун С.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время существует множество систем регистрации и обработки действий, таких как syslog, logstash, собственные "лог"-файлы многих систем. Обычно это текстовые файлы большого размера, в которых действия регистрируются по одному построчно. В таких системах просто сделать регистрацию действий, но при этом сложен поиск фактов по самому действию. Ещё сложнее или невозможно получить текущее состояние или получить историю действий по событию и связанным с ним действиям.

Для решения этих задач разработан модуль регистрации действий для системы управления гетерогенными IP-сетями.

Основные функции:

- регистрация действий
- получение текущего статуса выполнения команды/действия
- возможность указания связанных действий (одно породило другое)
- возможность просмотра истории по команде/действию
- возможность получения истории по всем связанным действиям/командам

Все действия регистрируются с использованием СУБД PostgreSQL и дублируются в текстовые файлы для обеспечения совместимости и ведения архива. Предусмотрен механизм очистки базы данных при необходимости:

очищаются записи о завершённых действиях, которые старше заданного значения.

Модуль работает в составе системы управления гетерогенными IP-сетями, принимает сообщения от всех модулей системы и позволяет фиксировать факт завершения исполнения всех связанных команд, что полезно при исполнении сложных составных команд. Используется удобный формат команд.

Формат команды в общем виде выглядит следующим образом:

```
<тип команды>://<команда>/<параметр 1>/<параметр 2>/...
```

Параметры команды отделяются друг от друга символом “/”. Текстовая часть команды регистронезависима за исключением идентификаторов сетевых интерфейсов и VLAN. Формат передачи IP-адресов и идентификаторов VLAN может отличаться в зависимости от вида конкретной команды. В настоящий момент в системе управления IP-сетями используются только IPv4 адреса.

Система регистрации действий в составе программного комплекса проходит тестирование на кафедре «Прикладной математики, информационных технологий и электротехники».

## **Разработка интерфейса для системы управления гетерогенными сетями**

Нарсудинов А.С.

Научный руководитель – Браун С.А.

МАИ, г. Москва

На нашей кафедре прикладной математики, информационных технологий и электротехники разрабатывается система управления гетерогенными IP-сетями. На данный момент, она представляет уже довольно обширный комплекс различных сервисов для работы с сетью, поэтому возникает потребность в разработке интерфейса для упрощения работы пользователя с данной системой. Ниже представлен перечень компонентов данного программного комплекса: пользовательское приложение, central manager, system manager, модуль управления оборудованием, модули сбора статистических данных, модули анализа и преобразования, база данных.

На данный момент, разработан интерфейс для самых базовых функций системы. Среди них, для наглядности, можно назвать:

- Управление адресами и интерфейсами
- Управление маршрутизацией
- Управление поиском и регистрацией устройств
- Просмотр лог-файлов
- Добавление некоторых вспомогательных функций (Просмотр БД и т.д.)

В настоящее время всё популярней становятся веб технологии, поэтому принято решение разработать кроссплатформенный веб интерфейс с использованием языка программирования Python и программной платформы Django. Данный подход выбран поскольку данная связка позволит довольно быстро разработать кроссплатформенный интерфейс, при этом не потеряв в производительности и безопасности. Сайт на Django строится из одного из нескольких приложений, которые рекомендуется делать отчуждаемыми и подключаемыми. Это одно из существенных архитектурных отличий этого

каркаса от некоторых других (например, Ruby on Rails). Данная особенность может нам сильно помочь при дополнении функционала нашего интерфейса в дальнейшем.

Программный комплекс проходит тестирование на кафедре «Прикладной математики, информационных технологий и электротехники».

### **Создание распределённой вычислительной среды на базе мобильных устройств**

Бычков Р.О., Полянин А.И., Пронин О.Б.

Научный руководитель – Молчанова С.И.

МАИ, г. Москва

Идея распределенных вычислений зародилась еще во второй половине прошлого века, но бурно развиваться эта область стала в конце 90-х годов. Наиболее точное определение распределённых вычислительных систем дал Э. Таненбаум: «Распределённая система — это набор независимых компьютеров, представляющийся их пользователям единой объединенной системой». То есть главная суть заключается в том, что группа вычислительных узлов работают совместно, как единая вычислительная машина. [1]

Перспективным направлением в этой области считается использование мобильных устройств в подобных системах, так как их производительность гораздо выше, чем у компьютеров 5-7 летней давности. Популярная программная платформа BOINC [2] для организации распределенных вычислений, позволяет использовать незадействованные вычислительные ресурсы устройств, работающих под управлением ОС Android. Также в диссертационной работе СПбГУ на тему «Создание распределенной вычислительной среды на базе мобильных устройств для решения задачи распознавания речи и голоса» [3] предлагается использовать платформу Apache Hadoop. Данная платформа реализует модель MapReduce от компании Google, используемую для параллельных вычислений над очень большими наборами данных в компьютерных кластерах. [4][5]. Так как Hadoop написана на языке программирования Java, это позволило применить её на устройствах под управлением ОС Android, с минимальными изменениями в коде.

В данных проектах клиентские приложения содержат в себе функции или реализации программ, вызываемые по необходимости. Существенным минусом данного подхода является то, что для каждой задачи необходимо разрабатывать своё ПО. Целью данной работы является разработка программных средств для создания многопоточных приложений, которые смогут использовать вычислительные ресурсы мобильных устройств. Так как более 80% мобильных устройств работают под управлением ОС Android, именно эта платформа была выбрана для использования. Основная идея состоит в том, что основная программа, работающая на ПК, посылает на вычислительный узел часть кода (функцию), где она выполняется, после чего результат отправляется обратно основной программе. Предлагаем два варианта возможного решения данной задачи.

Первый вариант предполагает, что созданное основное приложение на ПК с помощью разработанной библиотеки будет посылать указанные в коде функции

мобильным устройствам, на используемом языке программирования. Клиентское приложение на мобильном устройстве будет интерпретировать полученную функцию и возвращать результат обратно основной программе. Главной задачей при данной реализации является написание клиентского приложения, содержащего интерпретаторы для поддерживаемых языков программирования. Вторым же вариантом отличается от первого тем, что клиентскому приложению будет передаваться функция не на языке программирования, а в виде заранее скомпилированного байт-кода. Перевод функции в байт-код позволит использовать несколько языков программирования и увеличить скорость работы. Сложность реализации заключается в написании компиляторов, которые будут переводить функции в байт-код, и интерпретатора байт-кода (виртуальной машины) для клиентской стороны (мобильных устройств).

Литература.

Э. Таненбаум, М. ван Стеен Распределенные системы. Принципы и парадигмы — Санкт-Петербург: Питер, 2003. — 877 с.

Статья о Voicn. <http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/l-grid/index.html>

Фирун К.Б. Создание распределённой вычислительной среды на базе мобильных устройств для решения задачи распознавания речи и голоса: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук - Санкт-Петербург, Радио и связь, 2015. – 117 с.

<https://ru.wikipedia.org/wiki/MapReduce>

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Кластер\\_\(группа\\_компьютеров\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Кластер_(группа_компьютеров))

## **Программный комплекс для автоматизации контент-анализа в сети Интернет**

Серёгин С.В.

Научный руководитель – Фомичев В.А.

МАИ, г. Москва

Контент-анализ – метод качественно-количественного анализа содержания документов с целью выявления или измерения различных фактов и тенденций, отраженных в этих документах. Для проведения контент-анализа необходимо иметь заранее подготовленный набор документов, статей, которые должны быть собраны из одного или нескольких источников. Если в качестве источника выбран Веб-ресурс, то сбор информации с него вручную займет много времени. Доклад посвящен разработке программного комплекса, который упрощает процесс подготовки материала для последующего анализа, автоматизируя сбор документов в сети Интернет, выполняя их поиск на Веб-ресурсах.

Цель разработки программного комплекса заключается в следующем:

- Создание модуля поиска вхождений текстовых ключей в документы интернет-источников;
- Создание базы данных, содержащей фрагменты текстов (контексты), в которых обнаружены заданные ключи и ссылки на источники в сети Интернет;
- Средство экспорта и импорта информации из базы данных для последующего анализа (статистического и т. п.).

Для поиска по сайту системе необходимо сделать его «слепок», сохранив контент сайта в своей базе, и проиндексировать его содержимое. После этого будет возможен быстрый поиск вхождений текстовых ключей.

Разрабатываемый программный комплекс будет применяться для сбора документов, необходимых для решения разного рода задач, связанных с контент-анализом. Такой задачей может быть поиск статей по заданному ключевому слову на новостных сайтах, блогах для дальнейшего анализа этого слова, встречающегося в найденных документах, для составления тезауруса.

В отличие от существующих решений, например, поисковых систем, расположенных на интернет-порталах, разрабатываемая система позволит экспортировать найденные документы, что позволит набрать материал для последующего контент-анализа. Также необходимо отметить, что в существующих решениях сохраненные документы, страницы с сайтов в поисковых системах, могут представлять старые копии от одной и более недель. Разрабатываемый программный комплекс позволит по требованию оператора системы просканировать Веб-ресурс на наличие новых страниц и сразу же приступить к работе с ними. Поскольку система забирает содержимое к себе в базу и дальше выполняет локальный поиск, то наличие доступа в интернет необходимо только во время сканирования нового сайта или обновления данных уже просканированного. По такому принципу работают некоторые программы для сохранения содержимого сайта (web-страниц) к себе на компьютер, что впоследствии представляет собой клон выбранного ресурса у себя на компьютере. Как писалось ранее для контент-анализа нужна структурированная информация, что отсутствует в этих системах. Отсутствие исходных кодов существующих систем делают необходимым разработку собственного решения для выполнения поставленной задачи.

## **Разработка приложения навигации по интересным событиям Москвы**

Соболев И.Г.

Научный руководитель – Гуснин С.Ю.

МАИ, г. Москва

Москва является одним из самых крупных мегаполисов Европы, здесь постоянно бурлит жизнь. И с каждым годом в нашем городе происходит все больше и больше интересных событий, таких как: общественные праздники, акции, флэшмобы, мастер-классы, вечеринки и т.д. Множество людей предпочитают проводить свое свободное время именно на таких мероприятиях (особенно в теплое время года) со своими друзьями, коллегами и знакомыми, в основном для того, чтобы повеселиться и отдохнуть.

Но чаще всего бывает проблематично узнавать о таких мероприятиях или иметь возможность сразу оценить куда стоит пойти. А еще сложнее узнавать о небольших событиях, например, связанных с деятельностью вашего района. Для того, чтобы ознакомиться с возможными вариантами проведения вашего досуга, придется воспользоваться информационной сводкой нескольких сетевых ресурсов, что само по себе отнимет лишнее время, а также, то на сколько там интересно, вам останется только предполагать.



Существуют интернет ресурсы и различные приложения которые позволяют ознакомиться с разными видами досуга. В основном они предоставляют информацию только о предстоящих событиях и не дают возможности оценить его на момент проведения, а процесс регистрации мероприятия может отнять много времени.

Данное приложение будет создаваться как раз для того, чтобы решить эти проблемы. Пользователю будет предоставлена интерактивная карта Москвы, которая будет содержать метки событий, происходящих в реальном времени, и их описание. Также будет доступна информация о том, сколько пользователей данного приложения присутствуют на том или ином мероприятии, а также их оценка всего происходящего. Помимо простого ознакомления, пользователи смогут сами создавать события в масштабах района или всего города, приглашая на них друзей или всех тех, кто ответит.

Что получает пользователь данного приложения:

- Возможность ознакомления с событиями, происходящими в Москве (местоположение события, его описание, количество пользователей принявшее участие в этом мероприятии, их оценка).
- Возможность подбора интересующих вас событий с помощью системы фильтрации.
- Возможность добавлять других пользователей в друзья.
- Возможность создавать событие самому, приглашая на него друзей или всех тех, кто захочет присоединиться.
- Возможность добавлять организаторов мероприятий в список избранного и всегда быть в курсе планируемых ими событий.
- Если ваши друзья тоже будут пользователями приложения, то вы всегда сможете увидеть, к кому событию они присоединились.

## **Создание развлекательного Интернет-ресурса с развитой системой взаимодействия пользователей**

Утяшев Э.Э.

Научный руководитель – Гуснин С.Ю.

МАИ, г. Москва

Интернет-ресурс – это, как известно рядовому пользователю сети Интернет, набор систематизировано связанных между собой web-страниц.

Развлекательная область специализируется на предоставлении контента, который легко употребим пользователем и предоставляет ему некое эмоциональное/моральное/эстетическое насыщение.

Сегодня, в среде информационной напряжённости из-за политической ситуации в мире и негативных новостей внутри страны, человек накапливает стресс и становится эмоционально подавленным/раздражительным, из-за чего снижается его эффективность как работоспособной ячейки общества, а если ситуацию запустить, то под угрозу попадает вся ныне действующая система государства, делая страну уязвимой для внешних врагов.

По этой причине, в информационном пространстве необходимы источники информации, способные предоставить достаточное количество положительной

информации, которая компенсирует окружающий негатив и позволит человеку оставаться эмоционально стабильным.

В наше время существует множество разных развлекательных ресурсов. Большинство из них специализируется на интересных и смешных историях с картинками, а также на перепостинге (ретранслировании) контента с других ресурсов. Оригинальный контент создаётся очень редко и именно поэтому я решил создать ресурс, популяризирующий обыденные и выдающиеся человеческие занятия.

Такой ресурс позволит людям показывать себя в абсолютно любом роде деятельности через видео (или другую форму подачи информации) с подтверждением подлинности, и получать признание окружающих людей, которые так же интересуются этой деятельностью в виде поощрений, предоставляемых средствами используемого ресурса. Существующие аналоги предоставляют достаточно примитивную систему «Лайков и дизлайков» («Мне нравится» и «Не нравится»), которая очень ограничена с точки зрения взаимодействия пользователей. Для расширения этих возможностей необходимо привнести в деятельность рядового потребителя контента возможность творческой оценки – способность создавать награды за достижения людей и выставлять их на голосование другим зрителям выбранного поступка.

Таким образом создаётся информационная среда, поощряющая социальную активность и общение. Люди смогут проще находить круги общения, соответствующие их вкусам, и, возможно, компанию в их любимой деятельности.

Ключевые особенности разрабатываемого ресурса:

- Уникальное направление деятельности пользователей
- Расширенные возможности взаимодействия пользователей
- Уникальная информационно-социальная среда

## **СЕКЦИЯ № 9. Проблемы прочности, долговечности и надёжности элементов аэрокосмических конструкций**

Руководитель секции: к.т.н., доцент Зинин А.В.

---

### **Термоциклическая прочность жаропрочных сплавов и кинетика накопления повреждений при наложении вибрационных нагрузок**

Авруцкий В.В., Першин А.В., Хамидуллин А.Ш.

Научный руководитель – Бычков Н.Г.

ЦИАМ им. П.И. Баранова, г. Москва

Для многих современных силовых установок характерны тепловые потоки большой мощности, высокие уровни механических нагрузок, циклический характер режимов эксплуатации. Особенностью работы конструктивных элементов газотурбинных двигателей (ГТД) является нестационарность теплового и силового нагружения, определяющая циклический характер процесса упругопластического деформирования материала, протекающего, как правило, в неизотермических условиях[1]. Кроме того, все детали ГТД подвержены воздействию вибрационных нагрузок. Обычно на доведенном двигателе уровень вибрационных нагрузок невелик, однако при взаимодействии с малоцикловыми и статическими нагрузками возможны катастрофические последствия такого наложения[2].

Одним из основных методов экспериментального определения характеристик термической усталости является "коффиновский" метод, который хорошо имитирует процесс образования термоциклических напряжений в деталях при эксплуатации двигателей[3]. Многолетняя практика получения характеристик термической усталости материалов модернизированным методом Коффина является приоритетной при исследованиях малоциклового нагружения элементов ГТД в неизотермических условиях.

Переход на эксплуатацию двигателей по "состоянию" предполагает более точную оценку накопленного в материале повреждения и остаточной работоспособности детали и узла в целом. Известные в настоящее время методы контроля выработки ресурса базируются, как правило, на косвенной оценке накопленного в материале повреждения. Вместе с тем большой практический интерес представляет использование методов неразрушающего контроля для непосредственной оценки остаточной работоспособности материала деталей.

В ЦИАМ проводятся работы по исследованию возможности применения ультразвукового метода неразрушающего контроля для оценки накопленного в материале повреждения при действии статических и малоцикловых нагрузок. В работе проведён анализ существующих методов ультразвукового контроля состояния материала при прочностных испытаниях. Исследован процесс накопления повреждений в материалах при испытаниях на термоусталость в условиях одноосного напряженного состояния и характер изменения затухания ультразвукового сигнала с наработкой в условиях термоциклического нагружения и проводится анализ различных моделей оценки долговечности материалов при одновременном действии термоциклических, вибрационных и

длительных статических нагрузок. Анализируется соответствие расчетных значений долговечности полученным экспериментальным данным.

Литература.

1. Дульнев Р.А., Котов П.И. Термическая усталость металлов. М.: Машиностроение, 1980. — 200 с.

2. Кузнецов Н.Д. Проблемы термоциклической прочности деталей ГТД. // Проблемы прочности – 1978, №6. – С.3-7.

3. Авруцкий В.В., Першин А.В., Хамидуллин А.Ш. Совершенствование установки П926 для испытаний материалов на термоусталость при наложении дополнительных вибрационных нагрузок. – Тезисы доклада на Всероссийской научно-технической конференции «Авиадвигатели XXI века», ЦИАМ, 2015, с.5.

### **Динамика и техническая диагностика роторной системы узкополосных сигналов**

Афанасьев А.Д.

Научный руководитель – Герасимов А.И.  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В современной эпоху коммуникабельности всё большую популярность и влияние набирают воздушные средства передвижения. Сейчас уже сложно представить, как бы человек смог быстро передвигаться между материками без самолётов, перемещаться сквозь стоящие в пробках мегаполисы и бороздить космос без ракет и шаттлов. Однако никакая машина не может быть безупречной, поэтому объектом данного исследования стала одна из возможных проблемных деталей в конструкции вертолёт. Роторный вал, установленный в хвостовой его части, часто может быть причиной сбоя всей конструкции.

Для рассмотрения всей роторной системы, была спроектирована и построена уменьшенная копия вала рулевого винта вертолёт. В процессе выполнения лабораторной работы было тщательно изучено взаимное влияние кинематических параметров вращательного движения друг на друга. Далее вся установка была спроектирована в программе SiemensNX 9.0и рассчитана на предельные значения частоты оборотов в минуту, при которой установка начнет разрушаться, и амплитудные характеристики установки в этот момент.

В результате проведения эксперимента было получено 10 числовых решений, каждое из которых показывает величину частоты, при которой частота собственных колебаний установки совпадёт с частотой вращения ротора и образуется эффект резонанса. Стоит отметить, что эти результаты были получены в идеализированном аналитическом решении. В действительности же из-за погрешности на сопротивление воздуха и внутреннего трения между деталями роторной установки данные значения частот могут несколько отличаться от аналитического расчета.

В реальной рабочей установке помимо внутреннего трения между элементами возможны также дефекты самих элементов, как и заводских, так и возникающих с течением времени. Искусственно задавая влияние этих элементов на общую прочность конструкции, можно узнать, где и при каких условиях в установке произойдёт эффект резонанса или поломки роторной системы. В процессе ознакомления с данной лабораторной работой были изучены графики,

получаемые при визуализации параметров вращения ротора. Например, при частоте оборотов вала в  $n=1200$  об/м вращающийся вал и ротор имеет свою определённую амплитуду колебаний вокруг оси вращения. Увеличивая частоту оборотов до  $n=2000$  об/м, можно было наблюдать существенное изменение амплитуды вращения, также при этом создается ощутимая вибрация и тряска платформы, на которой находится сама роторная установка. Данные цифры были получены без учёта возможных дефектов конструкции.

В перспективе же, можно умышленно задавать дефекты конструкции при расчете системы на прочность и получать реальные кинематические и прочностные параметры. Т.е. с помощью замеров, взятых с реальной модели, и 3D редактора можно узнавать, например, при каких условиях вал может разрушиться, при этом не создавая все эти условия в лабораториях, экономя на этом реальные деньги. Разумеется, мы не можем полностью довериться аналитическому расчету и исключить практический опыт, т.к. любой аналитический метод подразумевает собой идеализированную модель, а в действительности весь эксперимент подчиняется исключительно законам физики. Однако именно при совмещении аналитического и практического метода расчета мы можем получить максимально точный и достоверный результат.

### **Изучение эволюции зон локализации пластической деформации в биметалле**

Бочкарева А.В., Зуев Л.Б., Ли Ю.В.

Научный руководитель – Баранникова С.А.

ИФПМ СО РАН, ЛФП, г. Томск

В настоящее время условия работы современных изделий авиа- и машиностроения требуют достаточно высоких эксплуатационных характеристик, что во многом определяется свойствами используемых материалов конструкций. В результате этого широкое применение находят новые высокопрочные металлические материалы со специальными свойствами. К числу таких материалов относят биметаллы – слоистые материалы, состоящие из двух или более металлов и сплавов, обладающих комплексом свойств, обеспечивающих высокую прочность, теплопроводность и коррозионную стойкость [1].

Изучение поведения композиции биметалла «плакирующий слой-основа» при внешних воздействиях является принципиально важным для прогнозирования их работоспособности и надёжности, а также установления взаимного влияния свойств покрытия и основы на интеграционные характеристики всей композиции.

Исследование процесса деформирования биметаллического материала позволило выявить ряд характерных особенностей локализации пластической деформации для различных стадий кривой пластического течения.

В качестве материала для исследования был выбран коррозионностойкий биметалл Х18Н9+Ст.3. Образцы в форме двойной лопатки с размерами рабочей части  $50 \times 8 \times 2$  мм подвергались одноосному растяжению на испытательной машине «Walter+Bai» при  $T=300\text{K}$  со скоростью  $6,67 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ .

Анализ стадийности кривых нагружения образцов биметалла по характеру изменения коэффициента деформационного упрочнения и показателя деформационного упрочнения показал, что особенностью деформационных кривых рассматриваемого материала является наличие следующих стадий пластического течения: стадии линейного деформационного упрочнения, стадии параболического (Тейлоровского) упрочнения и стадии предразрушения [2].

В результате использования универсального измерительного комплекса ALMEC-tv были определены основные пространственно-временные характеристики распространения очагов локализации пластической деформации: скорость распространения фронтов локализации пространственный период. Рассмотрены особенности разрушения материала, связанные с неоднородностью развития пластической деформации в переходной зоне биметалла, где происходит формирование концентраторов напряжений в виде трехгранных призм на микро- и макрокопическом уровнях.

В целом картина распространения зон локализации соответствует стадиям деформационного упрочнения при растяжении ГЦК, ОЦК и ГПУ чистых металлов и сплавов [2]. Вопрос о распространении очагов локализации пластической деформации в промежуточном слое «плакирующий металл – основной металл» требует дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Государственной академии наук в 2015-2020 гг. и гранта РФФИ №16-08-00385-а. Литература.

1. Голованенко С.А., Меандров Л.В. Производство биметаллов // М.: Металлургия, 1966. – С. 297.
2. Зуев Л.Б., Данилов В.И., Баранникова С.А. Физика макролокализации пластического течения // Новосибирск: Наука, 2008. – С.327.

## **Численный расчёт устойчивости элементов подкреплённых отсеков летательных аппаратов**

Борисова О.В.

Научный руководитель – Савельев Л.М.

СГАУ им. С.П. Королёва, г. Самара

Исследование устойчивости подкреплённых оболочек сопряжено с большими математическими трудностями, поскольку описывающие их уравнения имеют достаточно высокий порядок. С усложнением схемы нагружения оболочек, связанным с усилением ребрами жесткости, трудности расчета резко возрастают. Все отмеченные и другие сложности в большинстве случаев исключают возможность аналитического расчета тонких оболочек. В этом случае на первый план выходят численные методы.

Среди широкого класса тонкостенных оболочечных конструкций ребристые цилиндрические оболочки занимают особое место. В качестве подкрепляющих ребер обычно применяются тонкостенные профили. Рационально спроектированные ребристые оболочки позволяют в полной мере выполнить требование о снижении материалоемкости производства. Во многих случаях действующие на ребристую оболочку внешние нагрузки вызывают появление сжимающих осевых напряжений. Поэтому задача определения критических

напряжений продольно сжатых ребристых цилиндрических оболочек представляет большой практический интерес.

В данной работе рассматривается подкрепленная пластина, как предельный случай криволинейной панели.

Научная новизна работы определяется разработкой нового прикладного метода расчета устойчивости подкрепленных пластин при осевом сжатии с учетом дискретного и эксцентричного расположения продольных упругих ребер, обеспечивающего высокую точность определения критических нагрузок.

Предполагается, что прямоугольная пластина равномерно сжата в одном направлении, продольные края подкреплены тонкостенными рёбрами, а поперечные свободно опёрты. Исследование устойчивости такой системы может быть сведено к отысканию стационарного значения функционала устойчивости, который представляет собой сумму функционала устойчивости равновесия для пластины и функционала устойчивости равновесия стержня. При записи функционала для пластины учитывается потенциальная энергия деформации изгиба пластины при потере устойчивости, работа сил начального состояния и потенциальная энергия, связанная с деформированием срединной поверхности пластины, возникающем при совместной работе пластины с ребром.

В подавляющем числе публикаций стержень рассматривается как балка Бернулли и не учитывается эффект деформации поперечного сечения. В данной работе в выражении для функционала стержня учитывается слагаемое, содержащее секториальный момент инерции и учитывающее деформацию поперечного сечения стержня.

Для исследования влияния деформации рёбер на величину критического напряжения пластины в качестве подкрепления рассматривались стержни  $Z$ -образного и швеллерного сечения. С учетом деформации критическое напряжение оказывается несколько выше, чем без учета.

Достоверность результатов основывается на использовании хорошо апробированных теорий и методов расчета стержневых элементов металлических конструкций, а также на удовлетворительном согласовании теоретических и экспериментальных результатов.

## **Использование полунатурного моделирования при испытаниях динамического моделирующего стенда**

Бредихин И.О.

Научный руководитель – Постнов А.Н.

МАИ, г. Москва

Полунатурное моделирование – экспериментальный метод исследования возможностей реального бортового оборудования и его программного обеспечения, при котором в контур математического моделирования боевой задачи истребителя включены реальные бортовые системы, авиационные средства поражения, физические имитаторы бортового радиоэлектронного оборудования, экипаж, находящийся в кабине и взаимодействующий с информационно-управляющим полем, а так же специализированные средства моделирования, основной задачей которых является имитация внешних

физических воздействий на системы бортового радиоэлектронного оборудования и вооружения.

Основное назначение стендов полунатурного моделирования- автономная отработка каждой из бортовых систем или отсека управления ракеты в статических и динамических режимах.

На стендах полунатурного моделирования апробируются выбранные научно-технические решения, проводятся испытания отдельных подсистем и узлов, а затем проводятся испытания на соответствие техническим условиям. Связь испытываемой системы с другими системами относительно простая и функции других систем можно заменить их физическими имитаторами.

Инструментом полунатурного моделирования являются сложные аппаратно-программные средства, которые в зависимости от характера решаемых задач получили названия: стенд полунатурного моделирования, комплекс полунатурного моделирования.

Наибольшее применение в комплексах полунатурного моделирования нашли динамические моделирующие стенды- имитаторы угловых движений летательного аппарата относительно центра масс.

Полунатурное моделирование проводится во всем диапазоне условий применения объекта испытаний и позволяет, учитывая реальные характеристики изделий, системы наведения, навигационные системы, приводов рулей ракет, провести их отработку в наземных условиях в десятки раз сократив сроки испытаний и расходы на них. Особое внимание уделено испытаниям в тех условиях, которые невозможно воссоздать из-за технических ограничений.

### **Плоская нестационарная контактная задача для абсолютного твердого прямоугольного в плане штампа тела и моментно упругого полупространства**

Вахтерова Я.А., Федотенков Г.В.

Научный руководитель – Федотенков Г.В.

МАИ, г. Москва

В данной работе рассматривается модель континуума Коссера [1-6], в которой необходимо наряду с обычными напряжениями вводить в рассмотрение моментные напряжения, при этом соответствующие тензоры не являются симметричными.

В нестационарной постановке рассматривается плоская контактная задача для абсолютного твердого прямоугольного в плане штампа и моментно упругого полупространства (континуум Коссера). В начальный момент времени полупространство находится в покое, а штамп движется поступательно с некоторой начальной скоростью  $v_0$ . Решение ищем в неподвижной декартовой системе координат  $Oxz$ , в которой ось  $x$  направлена вдоль поверхности полупространства, а  $z$  – вглубь полупространства.

Предполагаем, что штамп имеет прямоугольную форму в плане и неограниченную длину по оси  $Oy$ , вследствие чего компоненты напряженно – деформированного состояния и вектор перемещения не изменяется в данном направлении, что приводит к плоской постановке задачи.



Движение полупространства описывается уравнениями моментной теории упругости [1], а движение штампа определяется задачей Коши для абсолютно твердого тела. Ненулевые компоненты несимметричных тензоров напряжений, моментных напряжений, деформаций и тензора изгиба – кручения связаны между собой и с компонентами вектора перемещений известными соотношениями [1].

Предполагаем, что контакт происходит в условиях свободного проскальзывания, поэтому в зоне контакта перемещения штампа равны нормальным перемещениям границы  $z=0$  полупространства. Вне области контакта, напряжения и моментные напряжения отсутствуют при  $z=0$ . Полагаем также, что на бесконечности все возмущения ограничены.

Постановка задачи замыкается начальными условиями: в полупространстве в начальный момент времени перемещения и скорости равны нулю. Начальными условиями для штампа является равенство нулю перемещения, а его скорость равняется  $v_0$ .

Для получения системы разрешающих уравнений использован принцип суперпозиции, согласно которому нормальные перемещения являются сверткой поверхностной функции влияния для моментно упругого полупространства с контактным давлением. Функция влияния найдена в [7]. Условия равенства нормальных перемещений в зоне контакта и принцип суперпозиции приводит к разрешающему интегральному уравнению относительно неизвестного контактного давления. До замкнутой системы оно дополняется уравнением движения штампа, записанным в интегральной форме. Предложен алгоритм решения полученной системы, основанный на методе механических квадратур.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-38-50036).  
Литература.

1. Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир, 1975. – 872 с.
2. Аэро Э.Л., Кувшинский Е.В. Континуальная теория асимметричной упругости. Учет внутреннего вращения // ФТТ. – 1964. – Т. 6. – Вып. 9. – С. 2689-2699.
3. Аэро Э.Л., Кувшинский Е.В. Основные уравнения теории упругости сред с вращательным взаимодействием частиц // ФТТ. – 1960. – Т. 2. – Вып. 7. – С. 1399-1409.
4. Миндлин Р.Д. Влияние моментных напряжений на концентрацию напряжений // Механика: Сборник переводов. – 1964. – Т. 85. – № 4. – С. 115-128.
5. Миндлин Р.Д., Тирстен Г.Ф. Эффекты моментных напряжений в линейной теории упругости // Механика: Сборник переводов. – 1964. – Т.86. – № 4. – С. 80-114.
6. Ерофеев В.И. Волновые процессы в твердых телах с микроструктурой. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 328с.
7. Ye.M. Suvorov, D.V. Tarlakovskii, G.V. Fedotenkov The plane problem of the impact of a rigid body on a half-space modelled by a Cosserat medium // Journal of Applied Mathematics and Mechanics, Volume 76, Issue 5, 2012, Pages 511–518.

## **Преимущества применения принципов унификации на примере хвостовых отсеков семейства ракет-носителей «Ангара»**

Волкова А.С.

Научный руководитель – Абрамова Е.А.

МАИ, г. Москва

Рассмотренные принципиально новые унифицированные подходы к проектированию и изготовлению космических аппаратов основываются на разработке универсальных ракетных модулей, которые представляют основу для построения ускорителя ракеты-носителя. Использование УРМ позволяет в сжатые сроки и при значительной экономии труда и материальных средств производить широкий спектр ракет-носителей семейства «Ангара».

Принципы унификации позволяют оперативно компоновать конструктивно-технологический комплекс ракеты-носителя в зависимости от стоящих задач, транспортировать ее без использования дорогостоящих энергоемких систем и монтировать на стартовом комплексе в краткие сроки. При этом используется единственный стартовый комплекс, обслуживающий все категории ракет семейства. Благодаря такой унификации достигается экономия около 30% общего бюджета на разработку и производство и около 24% – по эксплуатационным издержкам.

Достиженные преимущества применения принципов унификации:

- оптимизация характеристик базового элемента семейства, а именно универсального ракетного модуля, по критерию «эффективность-стоимость-реализуемость»;
- модульность позволяет упростить доставку готового изделия по железной дороге к месту старта;
- увеличение серийности изготовления универсальных ракетных модулей;
- модульная концепция построения позволяет создать целое семейство ракет-носителей от лёгкого класса (с массой полезной нагрузки на низкой околоземной орбите 3,8 т), до тяжёлого (до 35 т).
- В состав модуля УРМ-1 ракет-носителей семейства «Ангара» входят баки горючего

и окислителя для компонентов топлива и сжатых газов, межбаковый отсек, хвостовой отсек с однокамерным реактивным двигателем, а также элементы бортовой кабельной сети и пневмогидравлической системы. В зависимости от необходимой грузоподъемности ракет-носителей, ступени формируются из одного, трех или пяти таких ускорителей.

Хвостовые отсеки УРМ-1 предназначены для защиты двигателей от внешних воздействий (газодинамические воздействия струи продуктов сгорания двигателей), для крепления приборов, исполнительных органов систем управления, стабилизаторов, силовых элементов для наземной эксплуатации ракет-носителей (такелажные работы, транспортировка блока бокового с завода изготовителя на полигон, транспортировка ракет-носителей по полигону до стартовой площадки, установка и стоянка на стартовой площадке, а также для связи блоков I и II ступеней ракет-носителей «Ангара А3» и «Ангара А5»).

Основным преимуществом перехода к модульной конструкции хвостовых отсеков является возможность минимизации объемов наземной отработки за счет сведения ее в основном к отработке одного универсального ракетного модуля, имеющего размерность ракет-носителей легкого класса и уменьшению трудоемкости изготовления. Реализация принципов унификации дала существенный экономический эффект, связанный со значительным уменьшением объемов наземных стендовых изделий и снижением затрат на материально-техническое обеспечение стендовой базы испытаний.

## **Влияние соляного тумана на бортовое радиоэлектронное оборудование**

Вологжанина А.А.

Научный руководитель – Постнов А.Н.

МАИ, г. Москва

Основными требованиями, предъявляемыми при проектировании бортовых радиоэлектронных систем, являются требования по обеспечению работоспособности в сложных условиях эксплуатации, что, в конечном итоге, определяет повышенные требования по надёжности. Анализ причин отказов показывает, что значительное влияние на её эксплуатационную надёжность оказывают внешние воздействующие факторы. Так, например, при увеличении температуры окружающей среды с  $60^0$  до  $80^0\text{C}$  средняя наработка может снизиться более чем в 2 раза [1]. Однако кроме температуры на авионику действуют и другие факторы, в перечень которых согласно ГОСТ РВ 20.39.304 входит, в частности, соляной туман.

Вода в атмосфере всегда загрязнена активными веществами – углекислыми и сернистыми солями кальция, магния, железа, хлористым кальцием, газами – что способствует проявлению коррозии. Естественный соляной туман представляет собой аэродисперсную систему, дисперсная фаза которой состоит из совокупности капель водного раствора хлоридов ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}$ ,  $\text{K}_2\text{Cl}$  и др.).

Соляной туман является одним из климатических факторов, способных оказывать вредное воздействие на бортовое радиоэлектронное оборудование в процессе эксплуатации, транспортировки и хранения. В ходе лабораторных испытаний изделий на воздействие соляного тумана моделируют насыщенную хлоридами аэродисперсную среду над поверхностью океана или морского побережья. Испытание проводят с целью определения коррозионной стойкости изделий и их пригодности к эксплуатации во влажной атмосфере в присутствии солей.

Результатами воздействия тумана на изделия могут быть значительные изменения электрических свойств элементов изделий в результате осаждения на их поверхности капель тумана и конденсации пара, а также ухудшение их механических свойств из-за возникновения коррозии.

Испытания на туман проводят в специальных камерах, где путем диспергирования (распыления) водного раствора  $\text{NaCl}$  создают искусственный туман, в котором выдерживают испытываемое изделие, после чего оценивают изменения внешнего вида изделия и проверяют его работоспособность.

Продолжительность испытаний и значения параметров (концентрация соли в растворе, значения характеристик дисперсной фазы и дисперсионной среды тумана), характеризующих состояние тумана в испытательной камере, устанавливаются государственными стандартами на методы климатических испытаний и нормативно-технической документацией на испытываемые изделия.

В работе рассмотрены методы и средства контроля параметров и характеристик камер соляного тумана на этапах их аттестации и эксплуатации (водность, дисперсность, рН, температура, влажность).

Литература.

1. Жаднов В. В., Гаршин А. А. Исследование влияния ВВФ на надёжность вертолётной системы связи //Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество», 2010. Том 1. С.5-10.

### **Методика метрологической аттестации датчиков температуры и давления для повышения надёжности эксплуатации стартовых комплексов**

Дейнега Р.А.

Научный руководитель – Лапир М.А.

МАИ, г. Москва

По данным организации Центра Эксплуатации Наземной Космической Инфраструктуры, большинство аварий на объектах космической инфраструктуры происходит из-за сбоя, поломки или неправильной работы одной из систем. Например, без измерения температуры и давления компонентов ракетного топлива космический аппарат может просто не взлететь со стартовой площадки. Поэтому для предотвращения подобных аварий и в целях повышения надёжности, важно обеспечить высокую точность и достоверность измерений характеристик температурного поля[1]. Важным инструментом для решения метрологического обеспечения контролирующей аппаратуры являются методы аттестации датчиков температуры и давления, позволяющих обеспечить поддержание их в работоспособном состоянии и правильность показаний.

При эксплуатации стартовых комплексов возникают проблемы подтверждения метрологических характеристик средств измерений. Подтверждение метрологических характеристик средств измерений требуется в случаях, когда невозможно применить стандартные методики проведения поверки средств измерения [2].

Методика предусматривает два основных случая эксплуатации измерительных каналов:

- Случай невозможности или нежелательности демонтажа составных частей каналов по причине большой трудоёмкости.
- Случай возможности частичного демонтирования первичного преобразователя из посадочного места, и затруднительности демонтажа остальных частей канала измерений.

Система измерения обеспечивает контроль основных параметров технологических процессов и даёт информацию о техническом состоянии

агрегатов, систем стартовых комплексов на всех этапах подготовки и пуска ракеты-носителя.

Необходимым условием создания оптимальных средств измерения, в целях повышения надежности оборудования стартового комплекса, является системный подход к выбору структуры их построения, заключающийся в совокупном анализе состава измеряемых параметров, диапазонов измерения, требований к метрологическим характеристикам, условий эксплуатации, в которых они должны работать. Поэтому первым этапом создания средств измерения оборудования стартового комплекса является указанный анализ.

Система измерения разрабатывалась на основе стандартных функциональных узлов от первичных преобразователей до средств отображения и регистрации информации. Система измерения обеспечивает контроль основных параметров технологических процессов и дает информацию о техническом состоянии агрегатов, систем стартовых комплексов на всех этапах подготовки и пуска ракеты-носителя.

Литература.

1. Харлан А.А. Метрологическое обеспечение создания датчиков давлений для ракетно- космической техники. // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2011. Том 1.- С. 47-54.

2. МИ 2000-89 Рекомендации. ГСИ. Трубы аэродинамические малых дозвуковых скоростей. Методика метрологической аттестации. М.: – 2013.

## **Влияние характера и однородности армирования на износостойкость фрикционных углерод–углеродных материалов**

Голубков А.К., Панков М.И.

Научный руководитель – Зинин А.В.

МАИ, г. Москва

Композиционные углерод-углеродные материалы, обладающие высокой и стабильной в широком диапазоне температур удельной прочностью, находят применение в различных узлах и деталях, работающих при высоких температурах, в частности, в многодисковых авиационных тормозах, где они используются для изготовления тормозных дисков. К числу их преимуществ по отношению к другим фрикционным материалам относятся высокие и стабильные значения коэффициента трения и высокая износостойкость [1].

Целью настоящей работы являлось исследование взаимосвязи особенностей структуры ряда фрикционных углерод-углеродных материалов с их износостойкостью. Исследовали образцы материалов, содержащих углеродные волокна на основе ПАН, предварительно обработанные при температурах от 1400 до 2800 оС, и матрицы на основе пекового кокса и пироуглерода.

Исследования структуры образцов проводили с помощью количественного металлографического анализа поверхности микрошлифов, ориентированных параллельно и перпендикулярно плоскости армирования. В микроструктуре различных образцов условно выделяли три типа зон: 1) зоны жгутового (однонаправленного) армирования, 2) неармированные, слабо и хаотически армированные зоны и 3) поры. Для количественной оценки производился подсчет относительных площадей зон в процентном отношении от общей

площади фотографии путем их выделения с помощью программы металлографического анализа JMicroVision, путем выбора фиксированного значения границ гистограмм в IHS и RGB режимах.

Исследованию подвергали образцы с различными значениями линейного износа, полученными при испытаниях на машине трения ИМ-58 при режимах, моделирующих условия эксплуатации тормозных дисков в авиационных тормозах.

В результате сопоставления параметров структуры с величинами износа выявлена хорошо выраженная зависимость износа от соотношения площадей пор и неармированных (или слабо армированных) зон с площадью, занятой областями жгутового армирования. В вариантах образцов с процентом жгутового армирования – 32,5% величина износа составляла от 8 до 15 мкм за торможение, в то время как для образцов со жгутовым армированием – 63,1% величина износа составила от 2 до 3 мкм за торможение. Установлена зависимость прочностных и фрикционных характеристик материала от количества моноволокна в зонах хаотичного армирования. Показано, что для достижения оптимальной износостойкости необходимы не только высокая степень армирования, но и максимально равномерное распределение армирующего наполнителя в объеме материалов. Результаты проведенной работы позволяют спрогнозировать фрикционные свойства материалов на основе данных, полученных при исследовании их микроструктуры.

Литература.

1. Голубков А.К. Влияние длины и температуры обработки волокна на коэффициент термического расширения фрикционного композиционного материала типа углерод-углерод при термоциклировании. В сборнике: XLI Гагаринские чтения Научные труды Международной молодежной научной конференции: в 4-х томах. Москва, 2015. С. 5-6.

## **Создание испытательного стенда с целью оценки метрологической надёжности бортовых средств измерения уровня заправки**

Громько А.А.

Научный руководитель – Лапир М.А.

МАИ, г. Москва

Одной из составных частей комплекса заправки РН «Союз-2» являются бортовые средства измерений уровня заправки (БСИУЗ), которые предназначены для измерения уровня заправки. БСИУЗ состоят из бортовых измерителей уровня и датчиков измерения уровня.

Конструкция баков окислителя и горючего ракеты-носителя не позволяет проводить оценку метрологических характеристик БСИУЗ после установки датчиков измерения уровня в бак. Интервал времени между установкой датчиков измерения уровня и заправкой баков непосредственно перед пуском ракеты может составлять от одного месяца до года. Метрологические характеристики БСИУЗ за данный период могут выйти за требуемые границы. Это может привести к завышению или занижению уровня топлива в баках и, как следствие, не выходу полезной нагрузки в заданную точку.

Для оценки метрологической надежности БСИУЗ, т.е. способности сохранять во времени метрологические характеристики в пределах установленных норм при эксплуатации в заданных режимах и условиях использования, техническом обслуживании, хранении и транспортировании, необходимы средства и методы испытаний, которые позволят определить действительные метрологические характеристики БСИУЗ с требуемой точностью.

Таким образом, в целях оценки метрологической надежности БСИУЗ были проведены следующие работы:

- ЗАО «ПКБ «СЭП» в 2015 году был создан стенд проверки БСИУЗ СЮКР1.200.009;
- разработана ЗАО «ПКБ «СЭП» и аттестована ФГУП «ВНИИФТРИ» в соответствии с ГОСТ Р 8.563 методика измерений, воспроизводимых стендом дискретных уровней жидкого азота с показателями точности – доверительные границы абсолютной погрешности измерений при вероятности  $P=0,95$  составляют  $\pm 1$  мм;
- проведена первичная аттестация стенда в соответствии с ГОСТ РВ 0008-002-2013 с использованием аттестованной методики измерений (по результатам первичной аттестации стенд проверки БСИУЗ был признан пригодным для воспроизведения дискретных уровней жидкого азота в диапазоне от 10 до 650 мм с допустимым отклонением  $\pm 1$  мм);
- разработана методика проверки метрологических характеристик БСИУЗ при помощи стенда;
- проведены испытания БСИУЗ в соответствии с разработанной методикой проверки метрологических характеристик.

Для оценки метрологической надежности БСИУЗ через определенный период необходимо повторное проведение испытаний, по результатам которых можно судить о стабильности метрологических характеристик во времени. Условия испытаний должны соответствовать условиям эксплуатации, возможно применение плана ускоренных испытаний.

## **Жаростойкое термобарьерное покрытие на основе диоксида циркония для обеспечения испытаний гиперзвукового ЛА**

Дюг А.Ю., Кажичкин С.В.

ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского, г. Москва

В настоящее время, в авиастроении, перспективным направлением развития является создание гиперзвуковых летательных аппаратов (ЛА).

Для повышения эксплуатационных характеристик ЛА, имеющих крейсерскую скорость свыше 6М, необходимо применение специальных мер по защите конструкции от воздействия высоких температур. Одно из таких мероприятий – нанесение термобарьерных покрытий на внешнюю поверхность ЛА.

Одной из жизненно важных проблем реализации проекта, является вопрос оптимального выбора материала конструкции летательного аппарата. Критериями выбора материала являются вес конструкции, доступность материала, необходимая прочность и способность сопротивляться высоким температурам заданное время. Основываясь на этих критериях, в качестве материалов конструкции, были выбраны титановый и медный сплав.

Наиболее эффективным и доступным покрытием на данный момент является покрытие на основе диоксида циркония, наносимое на материал газоплазменным напылением. Для исследования характеристик покрытия, достаточной толщины и возможности его применения для гиперзвукового летательного аппарата, проведена разработка состава и технологии нанесения термобарьерного покрытия.

С целью разработки технологии нанесения и исследования эксплуатационных характеристик покрытия на основе диоксида циркония, изготовлен ряд образцов из титановых и медных сплавах. В процессе отработки технологии, получено качественное термобарьерное покрытие, с необходимыми характеристиками, толщиной около 2,5 мм. Такая толщина выбрана в соответствии с расчетной моделью распределения поля температур.

На данный момент в ЦАГИ исследуется возможность механической обработки пакета металла с нанесенным покрытием, выполнения отверстий, уточняются данные по шероховатости внешней поверхности.

Для подтверждения эксплуатационных характеристик покрытия, в ЦАГИ был спроектирован отсек для температурных испытаний в установке Т-131. Отсек представляет собой камеру прямоугольного сечения 100х30 мм, на которую устанавливается исследуемый образец. Образец в камере будет испытываться при следующих рабочих параметрах: числе Маха потока = 3, общем давлении = 11 МПа и температуре от 1000-2000 К.

В ближайшее время запланировано проведение экспериментальных исследований образцов, с нанесенным термобарьерным покрытием.

Термобарьерное покрытие позволит защитить летательный аппарат от его разрушения, вследствие воздействия высоких температур.

### **Косвенная оценка характеристик сопротивления усталости на основе непараметрического рангового критерия**

Зинин Ф.А.

Научный руководитель – Степнов М.Н.

МАИ, г. Москва

Определение характеристики сопротивления усталостному разрушению материала и изделий по результатам испытаний на усталость образцов, деталей и конструкций в целом требует больших материальных затрат и весьма длительного времени, которого, как правило, не хватает конструктору на стадии проектирования и доводки конструкции. В связи с этим актуальным становится использование расчётных (косвенных) методов оценки характеристик сопротивления усталостному разрушению по известным характеристикам механических свойств.

Для обоснования возможности прогнозирования характеристик сопротивления усталости различных сортов материалов, относящихся к одному типу (например, стали углеродистые и легированные, стеклопластики однонаправленные и слоистые и т.п.) необходимо обоснование принадлежности нескольких исследуемых или сравниваемых выборок генеральным совокупностям, описываемых нормальным законом распределения.



Для решения таких задач весьма эффективным являются непараметрический статистические ранговые критерии [1], в частности критерий Краскела и Уоллиса.

Для подтверждения или отклонения гипотезы о тождественности генеральных совокупностей, из которых взяты выборки, вычисляют статистику  $H$ -критерия Краскела и Уоллиса[2], величина которой зависит от объемов  $n_i$  исследуемых выборок и рангов членов объединенного вариационного ряда. Для этого все значения случайной величины (результатов испытаний), принадлежащих  $m$  независимым выборкам располагают в единый вариационный ряд и каждому значению члена ряда присваивают соответствующий ранг от 1 до  $m$  с отметкой номера выборки. Для равных значений членов вариационного ряда, принадлежащим разным выборкам, присваивают одинаковый (средний) ранг. Статистика  $H$  при  $n_i > 5$  и  $m \geq 4$  распределена по закону «хи-квадрат» с  $m-1$  степенями свободы. Если статистика  $H$  не превышает критического значения функции «хи-квадрат» при заданном уровне доверительной вероятности, то гипотезу о тождественности генеральных совокупностей, из которых взяты выборки, не отвергают. В противном случае принимают альтернативную гипотезу о неоднородности совокупностей.

Статистическая проверка принадлежности данных о пределах выносливости трех видов композитов с различными армирующими материалами одной генеральной совокупности, выполненная по критерию Краскела-Уоллиса, показала невозможность объединения выборок результатов усталостных испытаний стекло-, угле- и органопластиков в единую совокупность с общими параметрами функции распределения.

Литература.

1. Степнов М.Н., Чернышев С.Л., Ковалев И.Е., Зинин А.В. Характеристики сопротивления усталости. Расчетные методы оценки, [текст], М.: «Технология машиностроения», 2010, 256 с.

2. Степнов М.Н., Агамиров Л.В., Зинин А.В., Котов П.И., Васильев Д.В., Кузьмин А.Е. Научные школы. Прочность машин и конструкций при переменных нагрузках. Москва, 2001.

## **Экспериментальное исследование прочности болтовых соединений композитных конструкций**

Зубова Д.Д., Феоктистова Е.С.

Научный руководитель – Зинин А.В.

МАИ, г. Москва

Для механических соединений композитных элементов характерно разнообразие форм разрушения – срез соединяемых элементов в направлении действующей нагрузки; скол композитных панелей в продольном и/или поперечном направлениях; разрыв панелей по сечениям, ослабленным отверстиями и др. Наиболее распространенным видом разрушения является смятие пластины в зоне контакта с крепежным элементом с последующим прорывом композита в продольном направлении[1,2]. Поэтому определение характеристик прочности проводили при испытаниях на смятие.

Целью данной работы является исследование несущей способности болтовых соединений композитных конструкций при кратковременном нагружении при испытаниях на смятие. Экспериментальным путем проведена оценка влияния таких конструктивных параметров соединений как соотношение диаметра отверстия под болт и ширины пластины, величины предварительной затяжки соединения.

Испытания проводили на плоских образцах из эпоксидного стеклопластика с различной ориентацией слоев с помощью приспособления с захватом в виде «уха». Пластины из стеклопластика имели ширину  $W = 40, 60, 80$  и  $120$  мм и толщину  $t = 7$  мм. Во всех опытах использовали стандартные стальные болты M20. Величина момента затяжки болтового соединения контролировалась и составляла  $0, 40$  и  $80$  Нм.

Результаты статических испытаний показали, что предельные напряжения смятия, рассчитанные по формулам сопротивления материалов по сечению-нетто, в значительной степени определяется соотношением ширины пластины и диаметра болта, т.е. долей поперечного сечения, приходящегося на отверстие. Наименьшая прочность болтовых соединений в опытах соответствовала отношению  $W/d = 2$ , что вполне объяснимо концентрацией напряжений в ослабленном сечении, которая охватывает практически все сечение нетто и не снижается даже у края пластины[3]. С увеличением ширины пластины влияние отверстия уменьшается, и прочность при смятии возрастает.

Определяющую роль неоднородности напряженного состояния для прочности болтовых соединений узких пластин из композиционных материалов подтверждает также снижение степени влияния предварительной затяжки с увеличением отношения ширины пластины к диаметру болта. Так, затяжка болта моментом  $M=80$  Нм в пластине шириной  $W = 40$ мм приводит к увеличению прочности соединения на 20%, тогда как в пластине шириной 120 мм – только на 11%. Можно сделать вывод, что сжатие в трансверсальном направлении изменяет не только концентрацию напряжений в зоне отверстия, но и величину градиента напряжения в поперечном направлении.

Литература.

1. Зинин А.В., Дедова М.Н., Абрамова Е.А. Усталость и разрушение болтовых соединений композитных конструкций при малоцикловом нагружении. В сб.: Решетневские чтения. Материалы IX Международной научной конференции, 2005. с. 150-152.

2. Степнов М.Н., Агамиров Л.В., Зинин А.В., Котов П.И., Васильев Д.В., Кузьмин А.Е. Научные школы. Прочность машин и конструкций при переменных нагрузках. Москва, 2001.

3. Зайцев Г.П., Зинин А.В., Болотников Б.И., Ганюшкин Ю.П. Влияние концентрации напряжений на несущую способность болтового соединения элементов конструкций из композиционных материалов. Деп. рукопись № Д 053399, 24.09.1983.

## **Обеспечение виброустойчивости летного образца космического аппарата по условиям прочности при выведении на орбиту**

Комарова И.Ю.

Научный руководитель – Зинин А.В.

МАИ, г. Москва

Устойчивость конструкции космического аппарата (КА) к разрушению и деформациям при его запуске и выведении на орбиту определяется требуемым уровнем запаса прочности и надежности всех элементов конструкции, что должно быть подтверждено на этапе сертификация летного образца КА[1].

Порядок проведения испытаний и проверок при сертификации по условиям прочности включает:

- входной контроль агрегатов и узлов КА;
- испытания КА на воздействие динамических нагрузок по осям X, Y, Z, соответствующих участку выведения:
- частотные испытания;
- вибропрочностные испытания с уровнем 50%;
- вибропрочностные испытания с уровнем 80%;
- зачетные вибропрочностные испытания (100%);
- повторные частотные испытания.

Важным этапом наземной отработки при сертификации летного образца КА по условиям прочности является проведение вибропрочностных испытаний с различными уровнями контролируемых параметров. Такие испытания предназначены для сбора, обработки и анализа данных, необходимых для подтверждения соответствия конструкции основным требованиям к вибропрочностным характеристикам элементов КА.

Для разработки программы виброиспытаний в рамках сертификационных процедур на летном объекте был выполнен расчетный анализ вибрационного нагружения, а также статической и вибрационной прочности узлов крепления оборудования и других критических по вибропрочности элементов. Для анализа действующих на КА нагрузок была разработана конечно-элементная модель в системе MSC.NASTRAN, согласно которой были получены расчетные значения уровней вибронагружения КА. Они представляются в виде графика изменений динамических нагрузок по каждой из осей X, Y, Z с уровнем 50%, 80% и 100% от нормированных значений.

Вибропрочностные испытания КА по осям X, Y, Z с 50%, 80% и 100% уровнями нагружения, проводились воздействием синусоидальной вибрации с непрерывным изменением частоты в диапазоне 5 ...150 Гц. Параметры нагружения задавались в точке установки управляющего вибродатчика.

Была проведена апробация предлагаемой методики сертификационных испытаний на виброустойчивость, в соответствии с которой были проведены испытания модели и анализ АЧХ до и после виброиспытаний. Результаты испытаний подтвердили устойчивость конструкции КА к разрушению и деформации при вибрационных нагрузках, соответствующих этапу выведения на орбиту КА.

Предлагаемая методика вибропрочностных испытаний элементов конструкции КА может быть использована при проведении приемочных динамических испытаний летного образца КА на и его сертификации.

Литература.

1. Степнов М.Н., Агамиров Л.В., Зинин А.В., Котов П.И., Васильев Д.В., Кузьмин А.Е. Научные школы. Прочность машин и конструкций при переменных нагрузках[текст] - М.: - 2001. 164с.

## **Применение методики прогнозирования долговечности интегральных микросхем иностранного производства авиационного оборудования**

Королев П.С., Полесский С.Н.

Научный руководитель – Иванов И.А.

НИУ ВШЭ, ДЭИ, г. Москва

В настоящее время авиационное оборудование оснащено современной электронной компонентной базой (ЭКБ). Практически каждая электронная система управления, встроенная в это оборудование не может обойтись без интегральных микросхем (ИМС). В большинстве случаев, российские компании для проектирования таких систем прибегают к ИМС иностранного производства (Китай, США, Япония и др.).

Каждая фирма-производитель выпускает каждый год (производственный квартал и полугодие) результаты по надежности (Reliability Report) электронных компонентов по итогам проведенных испытаний. Надежность включает в себя следующие параметры: безотказность, сохраняемость, ремонтпригодность и долговечность. Дело в том, что за рубежом показатели долговечности не рассматривают, т.е. он не приведен ни на сайтах производителей [2], ни в официальных справочниках [1]. Но использование приведенных данных и отечественных стандартов [3] позволяет оценить показатели долговечности электрорадиоизделий (ЭРИ), в частности интегральных микросхем без проведения сертификационных испытаний.

Количественная оценка показателей долговечности ЭРИ таких, как гамма-процентный ресурс, средний ресурс, срок хранения или минимальная наработка, сводится к формированию исходных данных и проведению математических расчетов. Для этой процедуры разработана специальная методика, позволяющая расчетным путем оценить количественные значения показателей долговечности ИМС и предусмотрена возможность адаптации ее под другие классы ЭРИ. На основе предложенной методики разработан прототип программного комплекса в среде Microsoft Visual Studio (Windowsforms), где пользователь может ввести необходимые данные для расчета гамма-процентного ресурса, среднего ресурса, минимальной наработки, срока хранения для разной вероятности, условий эксплуатации, приемки, коэффициентов нагрузки и других параметров.

В качестве примера рассчитаны показатели долговечности ИМС типа «XC95144XL» компании «Xilinx» [2]. Сравнение результатов прогнозной оценки и квалификационных испытаний позволило сделать вывод о том, что методика обеспечивает достаточную для инженерных расчетов точность.

Полученные результаты будут внедрены в справочную часть базы данных программного комплекса по характеристикам надежности ИМС иностранного производства.

Литература.

Reliability prediction of electronic equipment: Military Handbook. MIL-HDBK-217F, p. 205, 1991.

Reliability Report Xilinx. [Электронный ресурс]. URL: <http://japan.xilinx.com/support/documentation>. (Дата обращения: 01.02.2016).

ГОСТ РВ 20.57.414-97. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические изделия военного назначения. Методы оценки соответствия требованиям к надёжности. [дата введения 1997-09-29]. - М.: МО РФ, 1997. (Руководящий документ).

Жаднов В.В. Расчетная оценка показателей долговечности электронных средств космических аппаратов и систем. // Надежность и качество сложных систем. - 2013. - № 2. - с. 65-73.

### **Система требований к нагружающим устройствам испытательных стендов для наземной отработки летательных аппаратов**

Коваленко Е.А.

Научный руководитель – Зинин А.В.

МАИ, г. Москва

Важным этапом обеспечения заданного уровня надежности и безопасности летательных аппаратов является проведение экспериментальной наземной отработки летного образца по условиям прочности с различными уровнями контролируемых параметров. Такие испытания служат инструментом, обеспечивающим всестороннюю комплексную проверку всех процессов жизненного цикла ЛА, оказывающих влияние на прочность и долговечность конструкции[1]. Опыт экспериментальных исследований показывает, что более 90 % отказов (разрушений) изделий при наземной отработке происходит в процессе механических испытаний, качество проведения которых в значительной мере определяет сроки разработки новых изделий, а также надежность и работоспособность изготовленных образцов.

Механические испытания при наземной отработке летных образцов в большинстве случаев заключаются в воспроизведении аэродинамических силовых и тепловых нагрузок на изделие. Поэтому к процессу воспроизведения полетных нагрузок и нагружающим устройствам испытательных стендов предъявляются повышенные требования.

Требования к испытательному оборудованию обусловлены необходимостью более точного воспроизведения заданных режимов и повышенной ответственностью за результаты испытаний. При этом должно быть обеспечено:

- более тщательное проведение регламентных работ с целью выполнения требований к объекту испытаний, который является летным экземпляром в течение всего процесса испытаний от поставки до отправки изделия;

- исключение путем введения дополнительных блокировок в цепь управления нагрузением возможности неуправляемой работы оборудования при возникновении неисправности каких-либо компонентов цепи;
- исключение путем проведения дополнительных страховочных мероприятий поврежденных летного образца при возникновении поломок оборудования;
- разработка новых процессов выхода на режим, исключающих возможность «забросов» тех или иных параметров нагружения («мягкого» нагружения);
- проведение аттестации всех электромеханических и гидравлических устройств, принимающих участие в нагружении объекта, непосредственно перед испытаниями.

Для автоматизации процесса многоканального управления нагружением конструкции натурального объекта при наземной отработке используется информационно-вычислительная системы, для которой было модифицировано программное обеспечение которых позволяет выполнять следующие функции:

- автоматическое сравнение реализуемых силовозбудителями нагрузок с заданными для ввода и корректировки необходимых исходных данных в процессе испытаний;
- защиту конструкции от повреждения и контроль состояния технологического оборудования;
- тестирование и диагностику элементов системы управления нагружением.
- запись в базе данных ИВК приложенных к конструкции нагрузок.

Библиографический список

1. Мохов В. Ф. Методики подготовки и проведения статических испытаний натуральных авиационных конструкций/ Труды ЦАГИ, вып.2615, М.,-1995/

### **Применение технологии фрезерования на станках с ЧПУ крупногабаритных заготовок для изготовления межбакового отсека ракеты-носителя тяжёлого класса**

Курьяков С.В.

Научный руководитель – Абрамова Е.А.

МАИ, г. Москва

Межбаковый отсек (МО) ракеты-носителя(РН) семейства «Ангара» предназначен для соединения в одно целое топливных баков (окислителя и горючего).

В настоящее время МО изготавливается методом клепки, который нашел широкое применение на практике в силу технологической отработанности и высокой надежности. Клепально-сборочные работы, в процессе которых отдельные детали посредством клепки соединяются в узлы и панели, а последние, в свою очередь, соединяются в отсеки и агрегаты, сводятся к основным операциям: измерение, разметка, взаимная подгонка деталей, установка в сборочное положение, фиксация, разметки под сверление, сверление, клепка. Для выполнения этих операций затрачивается сравнительно много времени и, кроме того, они требуют высокой квалификации рабочих.

Широко применяемые в конструкциях из легких сплавов заклепочные соединения имеют ряд существенных недостатков, основными из которых являются: неравномерность передачи нагрузок с одного элемента на другой; ослабление склепываемого материала от сверления под заклепки, доходящего до 25%; большое количество технологических операций, необходимых для выполнения соединения; человеческий фактор.

Для устранения отмеченных недостатков клепку заменяют другими видами неразъемных соединений, и основным перспективным вариантом модернизации МО является переход с клепанной конструкции на фрезерованную на станках с ЧПУ.

Технология фрезерования позволяет автоматизировать технологический процесс, получив при этом очень точно требуемую толщину обшивки (а также плавный переход от одного элемента к другому); сократить себестоимость выпускаемой продукции; повысить производительность труда; облегчить условия труда; выйти на оптимальный срок окупаемости.

В данной работе выполнен расчет на прочность и устойчивость фрезерованного МО РН семейства «Ангара» и произведен сравнительный анализ со стрингерным МО. Расчет проводился методом конечных элементов с использованием программного комплекса MSC.PATRAN/NASTRAN. Конструктивно-подобная КЭМ отсека состоит из основных силовых элементов (обшивки с вафельным подкреплением, фитингов, шпангоутов и т.д.)

При переходе на фрезерованную конструкцию силовые элементы (обшивка с вафельным подкреплением, фитинги, шпангоуты и т.д.) были видоизменены и облегчены согласно новой конструктивной схеме. Детальный прочностной расчет показал, что фрезерованный МО по сравнению со стрингерным имеет тот же запас прочности и устойчивости. Применение вафельной оболочки позволило разгрузить стрингеры и передать равномерно нагрузку на всю поверхность оболочки фрезерованного отсека, что, в свою очередь, повысило коэффициент устойчивости конструкции.

Дальнейшая оптимизация силовых элементов корпуса МО фрезерованного с целью минимизации массы отсека позволила сохранить ту же несущую способность конструкции, при этом уменьшив ее массу на 30%.

## **Рентгеноскопический метод контроля элементов конструкции самолёта с сотовым наполнителем**

Легенький Д.А.

Научный руководитель – Крылов А.А.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Объектами радиационного (рентгеноскопического) контроля могут быть детали, узлы, агрегаты, приборы, изготовленные из различных материалов и любой сложной формы. К возможным направлениям повышения эффективности проведения рентгеноскопического контроля можно отнести:

- уменьшение количества пробных снимков;
- формирование схемы просвечивания конкретного элемента конструкции воздушного судна (ВС);

- создание технологических карт с указанием параметров рентгеноскопической установки и другие направления.

Применительно к деталям с сотовым наполнителем авторами предлагается использовать методику рентгеноскопического контроля, которая включает три основных этапа:

#### 1 Формирование исходных данных:

- параметры, характеризующие установку «Норка»;
- параметры характеризующие особенности конструкции воздушного судна;

- ограничения согласно цели исследований;

#### 2 Методика рентгеноскопического контроля сотовых конструкций ВС:

##### 2.1 Подготовка и настройка параметров установки «Норка»:

- подготовка проверяемого объекта и установки к контролю;
- выбор схемы просвечивания;
- определение параметров анодного тока и напряжения;
- определение фокусного расстояния от излучателя до объекта контроля;
- определение влияния угла отклонения излучателя относительно объекта контроля на качество снимка.

##### 2.2 Модель оценки качества снимка:

- формирование базы снимков, которая учитывает параметры анодного тока, фокусного расстояния от излучателя до объекта контроля;
- экспертная оценка базы снимков и дисперсионный анализ экспериментальных данных;
- рекомендации по настройке параметров установки;

##### 2.3 Выполнение дефектации объекта контроля:

- корректировка параметров установки «Норка» согласно модели оценки качества снимков;
- дефектация объекта контроля согласно схеме просвечивания;
- расшифровка снимком, анализ результатов;

#### 3 Формирование рекомендаций по выполнению неразрушающего (рентгеноскопического) контроля деталей с сотовым наполнителем ВС.

Таким образом, в рамках тезиса рассмотрены пути повышения эффективности проведения рентгеноскопического контроля элементов конструкции с сотовым наполнителем, раскрыта методика рентгеноскопического контроля деталей с сотовым наполнителем.

### **Анализ влияния прогиба крыла на величину реакций в опорах сервокомпенсатора элерона**

Лукьянов И.А.

Научный руководитель – Говорун М.В.

МАИ, г. Москва

Эффективность механизации крыла и элеронов на всех режимах полета может быть достигнута исключением заклинивания элеронов при изгибе крыла в полете; весовой балансировкой элеронов; уменьшением шарнирных моментов. Для этого в современных самолетах применяются различные системы



аэродинамической компенсации, в частности сервокомпенсации. Основным элементом такой системы – сервокомпенсатор, представляющий собой часть поверхности элерона у задней кромки, кинематически связанную с крылом тягой таким образом, что при отклонении элерона она отклоняется в противоположную сторону, уменьшая шарнирный момент.

Для надежной и долгосрочной работы сервокомпенсаторов крыла самолета необходимо на стадии проектирования учитывать многие факторы, влияющие на полноценное выполнение сервокомпенсатором заданных функций. В частности, необходим учет дополнительных ограничений по деформациям узлов навески, вызванных возможными перемещениями основных несущих элементов конструкции. Существующие

методы расчёта агрегатов механизации крыла не учитывают прогиб крыла, что имеет место в реальном полёте/ нагружении, и который может существенно изменить величины нагрузок на узлы навески агрегатов (элерон, закрылок, предкрылок, интерцептор).

Поэтому основной целью данной работы является анализ влияние прогиба крыла на величины реакций в узлах навески агрегатов.

Расчёт реакций на опорах механизации проводился с помощью программного комплекса: «Расчет многопролётных балок».

Сводка величин опорных реакций, рассчитанных с учетом и без учёта влияния прогиба крыла представлена в таблице.

Таблица

Реакции в опорах сервокомпенсатора

<u>расчётный случай</u>	<u>№ опоры</u>			
	<u>Опора №1</u>	<u>Опора №2</u>	<u>Опора №3</u>	<u>Опора №4</u>
без учёта начального прогиба	56 кг	-99 кг	-82 кг	42 кг
с учётом начального прогиба	16.3 кг	-0.7 кг	-58.5 кг	42.9 кг
только внешние нагрузки	-54.1 кг	-112.5 кг	-89.3 кг	-52.8 кг
внешние нагрузки с учётом начального прогиба	-37.8 кг	-113.3 кг	-147.9 кг	-9.9 кг

Таким образом, результаты расчета показывают, что влияние прогиба крыла на нагрузки в узлах навески сервокомпенсатора (триммера) весьма значительны и их необходимо учитывать при проектировании системы механизации крыла, в частности узлов крепления и навески.

## **Исследование метрологических характеристик ультразвукового дефектоскопа для контроля сплошности сварных швов**

Лысаковский С.В.

Научный руководитель – Лапир М.А.

МАИ, г. Москва

Повышение надежности и долговечности элементов конструкций сложных технических систем обуславливает необходимость качественного контроля продукции, неотъемлемой частью которого является применение неразрушающего контроля на производстве. Одной из областей применения неразрушающего контроля является контроль сварных соединений, которые широко применяются в конструкциях самолета.

Одним из основных способов обеспечения и поддержания качества является постоянный мониторинг и проверки состояния швов. Таким прибором является ультразвуковой дефектоскоп (УД), который взят на вооружение многими крупными производителями авиационной техники. Основным назначением УД является обнаружение дефектов и несплошностей в основном металле. Однако природа сварных соединений значительно отличается от цельных деталей, следствием чего является необходимость установления допустимости применения дефектоскопа для контроля сварного шва. Применение данного оборудования может значительно повысить надежность техники, а также позволить своевременно предупреждать возникновение опасных ситуаций, связанных с эксплуатацией ЛА. Возникает необходимость определить, действительно ли характеристики дефектоскопа позволят с достаточной точностью определить наличие и положение дефекта в сварном шве.

В качестве аттестуемого образца был выбран ультразвуковой дефектоскоп OmniScan MX 2 с фазированными решетками, предназначенный для контроля сплошности деталей, для ручного и полуавтоматического получения карты коррозии. Для подтверждения допустимости применения данного оборудования в контроле сплошности сварных соединений была разработана методика метрологической аттестации, по которой с использованием дополнительных средств измерений удалось установить, что исследуемые метрологические характеристики, а именно : диапазон показаний глубины залегания дефекта, диапазон измерений глубины залегания дефекта, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений глубины залегания дефекта, - находятся в допустимых пределах. Данные результаты позволили установить, что OmniScan MX 2 допустим для контроля сплошности сварных соединений.

Определение качества выпускаемой продукции, обнаружение несоответствий и их устранение является одной из наиболее важных задач в процесс производства ЛА, так как недоброкачественная авиационная продукция несет в себе огромные риски как для жизни людей, так и экономической стабильности государства. Анализ метрологического обеспечения средств измерений и устройства конструкции современного УЗ дефектоскопа Olympus OmniScanMX 2 позволил установить допустимость его применения при контроле сплошности сварных соединений.

Литература.

1. Степнов М.Н., Агамиров Л.В., Зинин А.В., Котов П.И., Васильев Д.В., Кузьмин А.Е. Научные школы. Прочность машин и конструкций при переменных нагрузках[текст]  
М.: - 2001. 164с.

## **Применение метода конечных элементов для решения задач устойчивости композитной пластины**

Павлов Е.А.

Научный руководитель – Азиков Н.С.  
МАИ, г. Москва

В современной аэрокосмической отрасли полимерные композиционные материалы играют все более значительную роль при проектировании агрегатов и силовых элементов летательных аппаратов. Композиционные материалы обладают высокой удельной прочностью и жесткостью, что позволяет использовать их в качестве материала при изготовлении фюзеляжа, кессонов крыла и других несущих элементов, снижая при этом вес конструкции. Использование таких материалов налагает определенные условия на расчет прочности и устойчивости конструкции, анализ механики разрушения, и прогнозирование ресурса [1].

Одним из методов анализа конструкции, позволяющий учесть специфику материала, без значительного усложнения хода расчета является метод конечных элементов (МКЭ)[2]. На сегодняшний день метод конечных элементов хорошо зарекомендовал себя в инженерной практике прочностных расчетов и стал де-факто промышленным стандартом при оценке несущей способности конструкций. Сфера применения МКЭ охватывает широкий спектр инженерных расчетов, начиная от статики конструкций заканчивая течением жидкостей и задач акустики.

Применение метода конечных элементов сопряжено с реализацией соответствующих алгоритмов для вычисления и ассемблирования глобальной матрицы жесткости конструкции, вычисления обратной матрицы (податливости) и ее собственных значений, а также ряда подпрограмм для представления конечно-элементной модели в памяти компьютера[3].

Учитывая все вышеприведенные особенности, автором была реализована программа для расчета пластин методом конечного элемента, на прочность и устойчивость в среде MATLAB, а также на языке C#. Интерфейс программы учитывает возможность задания материала, укладки слоев в композиционном пакете, а также граничные условия и нагрузки. В качестве тестовой задачи рассматривается классический случай сдвига с продольной нагрузкой, при шарнирном опирании по всему контуру пластины. Результаты работы программы сравниваются с аналогичным расчетом в системе MSCPatran. Различие в расчетах критической нагрузки, по сравнению с коммерческим пакетом составляет не более 3%. Сравнение результатов с соответствующими аналитическими расчетами, составляет также не более 3-5%, в зависимости от соотношения сторон пластин, что демонстрирует практическую пригодность программы.

Литература.

Зинин А.В., Котов П.И., Сухов С.В. Практическая механика разрушения / учебное пособие в 2-х т. / "МАТИ - Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского". Москва, 2012. Том 2. - 232 с.

Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. –М.: - Изд-во «Мир». 1975 - 541 с.

Алфутов Н.А., Зиновьев П.А., Попов Б.Г. Расчет многослойных пластин и оболочек из композиционных материалов. – М.: - «Машиностроение». 1984 – 262с.

## **Определение полётных нагрузок при аварийном выключении двигателя бокового блока ракеты космического назначения пакетной схемы**

Пикунов Я.А.

Научный руководитель – Охотников О.И.

МАИ, г. Москва

В полете ракеты космического назначения при обнаружении признаков нештатной работы в одном из боковых блоков возникает необходимость его выключения для предотвращения возможного взрыва двигательной установки.

Расчёт нагрузок на конструкцию ракеты космического назначения для данной ситуации проводился в MSC.Nastran. Динамическая модель ракеты-носителя разработана с помощью суперэлементов (метод подконструкций), полученных на основе трёхмерных конечно-элементных моделей с последующей динамической конденсацией (в формате Крейга-Бентона).

Анализ показывает, что нагрузки в полете существенно зависят от многих факторов:

- изменения массово-инерционных характеристик;
- изменения распределённых аэродинамических характеристик, зависящих от числа Маха и угла атаки, а также их разбросов;
- изменения параметров траекторий;
- изменения параметров внешних возмущений:
- изменения скорости струйного ветра и его направления от высоты;
- изменения скорости порывов;
- изменения параметров тяги двигателей и др.

С учетом указанных факторов при определении максимальных нагрузок на конструкцию ракеты космического назначения необходимо проводить расчёты нагрузок для:

- различных моментов времени;
- места расположения двигателя с отказом;
- направления скорости ветра относительно траектории полёта;
- определения скорости ветра, при котором нагрузка на конструкцию не будет превышать допустимых уровней, принятых при проектировании конструкции.

Разработанный метод расчета предполагает определение нагрузок на конструкцию при заданных параметрах траектории, заданной скорости

струйного ветра, его направления, значения углов атаки, улов отклонения двигательной установки необходимых для балансировки ракеты-носителя, значения аэродинамических характеристик на этом режиме. В соответствии с методом при установленном режиме полёта на выбранном боковом блоке моделируется выключение тяги двигательной установки по заданному режиму продолжительностью  $\sim 0,1$  с, затем проводят расчёт нагрузок с момента выключения тяги на данном режиме продолжительностью  $\sim 5$  с.

После этого определяют максимальные нагрузки и проводят их сравнение с нагрузками на установленном режиме полёта и допустимыми нагрузками на конструкции. Далее вычисления повторяют для других вариантов расчёта. При превышении допустимых нагрузок необходимо определить значение скоростей струйного ветра с нагрузками меньше допустимых.

По результатам расчетов и результатам зондирования атмосферы для определения фактических скоростей струйного ветра проводят предстартовое моделирование полёта ракеты-носителя и принимается решение о допуске к полёту ракеты-носителя по условиям прочности.

### **К вопросу об актуальности оценки чистоты рабочих жидкостей гидравлических систем летательных аппаратов**

Попельнюк И.А.

Научный руководитель – Гареев А.М.

СГАУ им. С.П. Королёва, г. Самара

На сегодняшний день гидравлические системы (ГС) – один из важнейших элементов в составе всего комплекса оборудования на борту летательного аппарата (ЛА). Рассматривая их конструктивные особенности и выполняемые функции, можно сделать вывод о том, что работоспособность ГС оказывает сильное влияние на безопасность полетов. Следовательно - поддержание высокого уровня их надежности и безотказности, является важной задачей для обеспечения безопасности полетов и крайне актуальным вопросом, стоящим перед современной авиационной промышленностью. Из теории надежности известно, что в процессе эксплуатации под воздействием ряда внешних факторов со временем уровень надежности снижается относительно первоначального, заложенного на этапах проектирования и производства объекта. В результате исследований, проведенных на кафедре эксплуатации авиационной техники (ЭАТ) СГАУ, было установлено, что состояние ГС ЛА, как сложной технической системы, определяется состоянием каждого из её элементов, в том числе в значительной степени – состоянием рабочей жидкости (РЖ). Установлено, что наличие механических примесей в РЖ – один из ключевых негативных факторов, под воздействием которого происходит не только ухудшение её собственных свойств, но и значительно повышается вероятность отказов гидроагрегатов. Было установлено, что кроме блокировки зазоров в парах трения и износа их поверхностей, частицы способны оказывать существенное влияние на прецизионные пары в управляющих агрегатах, выражающееся в нарушении их поверхностей, вследствие чего происходят заедания и заклинивания указанных агрегатов. В итоге снижается надежность и безотказность всей ГС. Учитывая, что обеспечить идеальную чистоту РЖ на

сегодняшний день невозможно, особое значение в процессе эксплуатации ЛА приобретает достоверная оценка чистоты РЖ, позволяющая поддерживать уровень загрязнений на приемлемом уровне путём своевременного проведения операций по её очистке и замене. Кроме того, состояние РЖ – ценная диагностическая информация для определения технического состояния агрегатов ГС, на основании которой возможно определить зарождающийся отказ и принять меры по его устранению.

Анализ применяемых систем контроля ГС отечественных ЛА показывает то, что они обладают невысокими прогностическими возможностями, а решение о работоспособности ГС в них принимается на основе анализа значений лишь нескольких интегральных функциональных параметров (давления в нагнетающей магистрали, времени уборки и выпуска шасси и др.) без учета их взаимного влияния.

Эти недостатки обусловлены низким уровнем развития теоретической базы диагностирования ГС, определяющей методы обработки результатов исследований на основе математических моделей и алгоритмов. Одной из основных проблем, препятствующих ее развитию, является высокая сложность структуры ГС современных ЛА, которая значительно усложняет задачу построения модели взаимодействия ГС и РЖ.

В развитие данной работы в настоящий момент на кафедре авиационной техники СГАУ ведется разработка динамической модели поведения РЖ, учитывающей изменение её свойств под воздействием механических примесей. Алгоритмы, написанные с использованием данной модели в сочетании с существующими средствами оценки чистоты РЖ, позволяющими осуществлять встроенный контроль, (например, комплекс ФОТОН 965.Х), и программным обеспечением позволит существенно повысить эффективность и информативность оценки состояния РЖ, и уровень надежности и безотказности ГС в целом.

### **Оптимальный выбор методики испытаний в целях повышения надежности конструкции на примере пожарного извещателя пламени**

Привалов Д.М.

Научный руководитель – Лапир М.А.

МАИ, г. Москва

Целью данной работы является оптимальный выбор методики испытаний в целях повышения надежности конструкции на примере пожарного извещателя пламени Det-TronicsX3301. Эта проблема является в настоящее время особо актуальной, т.к. системы предупреждения возникновения пожара являются критическими элементами в системе обеспечения промышленной безопасности и экологического менеджмента.

Метрологическое обеспечение испытаний осуществлялось в соответствии с ГОСТ 51672-2000. Все экземпляры средств измерений поверены, сертифицированы и где это требуется калиброваны.

В качестве объекта испытаний выбран извещатель пламени Det-TronicsX3301. Были проведены исследования с применением тестовых очагов пламени(горение

n-гептана (очаг ТП-5) и смеси этилового и метилового спирта (очаг ТП-6) на площади 0,1 м<sup>2</sup>) и источников помех ИК и УФ.

Процесс испытаний:

- Испытания проводились с использованием стенда, который перемещался относительно очага на требуемое расстояние (8, 12, 17, 25 м);
- Возгорание тестовых очагов фиксировал датчик Det-TronicsXS3301, установленный непосредственно у очага пламени. (начало отсчета времени срабатывания испытуемого объекта;
- После фиксации испытуемого объекта записываются результаты испытаний;
- Проводятся испытания с применением ИК и УФ помех.

Для повышения надежности все испытания для данного извещателя проводились на расстоянии 40 м. Извещатель пламени X3301 продемонстрировал отличные результаты. Также в исследовании принимали участие и другие датчики той же фирмы Det-Tronics, такие как: X9800, X5200, U7698 и т.п. Анализ значений времени срабатывания показал, что хорошую повторяемость результатов для всех расстояний и обоих очагов показал извещатель X3301. Для остальных извещателей с увеличением расстояния существенно увеличивается время обнаружения либо для обоих типов очагов, либо для одного из очагов.

Результаты испытаний, проведенных в соответствии с разработанной методикой испытаний, показали, что извещатель пламени Det-TronicsX3301 продемонстрировал оптимальное соответствие своих характеристик требованиям ГОСТ/ТУ.

Данные мероприятия, при сравнительно небольших затратах, позволяют значительно повысить надежность данной конструкции.

## **Сравнительный анализ методов оценки влияния асимметрии нагружения на выносливость композитных материалов**

Синцова Е.В.

Научный руководитель – Зинин А.В.

МАИ, г. Москва

Композитные материалы с полимерной матрицей в настоящее время интенсивно применяются для изготовления силовых конструкций летательных аппаратов. Однако их внедрение сдерживается отсутствием достоверных экспериментальных данных об их механических свойствах, в частности, о прочности при циклических нагрузках. Это связано с большой трудоемкостью лабораторных исследований, поэтому целесообразно использование расчетных методов оценки выносливости композитов на основе статистических методов обработки существующих экспериментальных данных [1,2].

Важнейшим фактором, влияющим на усталостную прочность композитных материалов, является степень асимметрии цикла нагружения. Влияние асимметрии цикла на предел выносливости композитов, так же, как и для металлов, обычно оценивается по диаграмме предельных амплитуд, устанавливающей зависимость амплитуды переменного напряжения от среднего напряжения цикла или по диаграмме предельных напряжений, представляющая

собой зависимость наибольшего напряжения цикла от величины среднего напряжения. Однако эти диаграммы для композитных материалов по характеру существенно отличаются от аналогичных диаграмм для металлов.

Анализ существующих методов построения предельных диаграмм показал, что сопротивление усталости композитных материалов при асимметричном нагружении во многом определяются типичными для композитов факторами – схемой армирования, типом и объемным содержанием наполнителя и матрицы, частотой нагружения и др., что отражается на формах диаграмм предельных напряжений и амплитуд. Установлены следующие особенности диаграмм предельных амплитуд для композитов:

- - диаграммы могут иметь линейную и нелинейную формы, изменяющиеся от вогнутых и прямолинейных до выпуклых и S-образных кривых;
- - максимальное значение предельной амплитуды не всегда соответствует пределу выносливости при симметричном цикле нагружения, т.е. существуют области упрочнения, отражающие эффект локального повышения сопротивления усталости при асимметричном нагружении по сравнению с симметричным циклом (иногда в 2-3 раза);
- - сильное влияние знака средних напряжений и соотношения характеристик прочности композита при растяжении и сжатии, в результате чего предельные диаграммы, как правило, смещены относительно симметричного цикла.

Литература.

1. Степнов М.Н., Чернышев С.Л., Ковалев И.Е., Зинин А.В. Характеристики сопротивления усталости. Расчетные методы оценки, [текст], М.: «Технология машиностроения», 2010, 256 с.

2. Зайцев Г.П., Пашков В.А., Зинин А.В. Прочность, упругость и трещиностойкость органопластика типа СВМ при растяжении, [текст]. В сб.: Вопросы прочности и долговечности элементов авиационных конструкций, Межвузовский сборник. КуАИ, Куйбышев, 1980. с. 77-81.

## **Оценка остаточной прочности остекления фонаря самолётов**

Федулов А.Н.

Научный руководитель – Зинин А.В.

МАИ, г. Москва

В процессе эксплуатации остекление фонарей кабин сверхзвуковых самолетов подвергается воздействию больших напряжений от аэродинамических нагрузок и температурных перепадов в сочетании с воздействием атмосферно-климатических факторов: влаги, ультрафиолетового облучения, морской атмосферы и др. Эти воздействия изменяют свойства стекла и элементов его крепления в каркасе фонаря, что в свою очередь определяет эксплуатационную надежность и долговечность остекления.

С целью определения возможности и условий продления по условиям безопасности назначенного срока службы остекления, имеющего наиболее характерные повреждения в виде зон «серебра», были проведены статические испытания по оценке остаточной прочности образцов материала остекления в



зависимости от фактической наработки самолета. Испытания образцов проводились сосредоточенной силой до разрушения по следующим схемам: на изгиб по трехточечной схеме; на растяжение образцов в виде лопаток; на изгиб образцов по схеме «консольная балка»; на растяжение образцов с двойной лентой крепления.

Для обеспечения условий безопасной эксплуатации остекления в продлеваемый период, определяемый по результатам лабораторных испытаний фактический коэффициент безопасности должен быть не меньше нормируемого значения  $f_{факм} \geq 1,5$ .

Для проверки выполнения условия  $f_{факм} \geq 1,5$  необходимо знание зависимости максимальных эксплуатационных напряжений от параметров полетных режимов, основным из которых является максимальное число Маха.

Для установления возможности продления назначенного ресурса и календарного срока службы также используют зависимости остаточной прочности стекла от наработки и календарного срока службы, построенные по результатам многочисленных стендовых испытаний образцов, вырезанных из демонтированных деталей остекления фонарей с различными календарными сроками службы и наработкой.

На основании результатов испытаний лабораторных образцов стекол, вырезанных из левой боковой детали остекления козырька самолета и сопоставления величин остаточной прочности с величинами максимальных эксплуатационных напряжений, действующих в деталях остекления на различных типовых режимах эксплуатации, было дано заключение о возможности продления эксплуатации деталей остекления фонарей, в том числе деталей, имеющих зоны с дефектами в виде «серебра», размеры которых не превышают установленной нормы, сверх назначенного календарного срока при условии ограничения режимов полета по скорости.

Литература.

1. Степнов М.Н., Агамиров Л.В., Зинин А.В., Котов П.И., Васильев Д.В., Кузьмин А.Е. Научные школы. Прочность машин и конструкций при переменных нагрузках [текст] - М.: - 2001. 164с.

2. Зайцев Г.П., Пашков В.А., Зинин А.В. Прочность, упругость и трещиностойкость органопластика типа СВМ при растяжении, [текст]. В сб.: Вопросы прочности и долговечности элементов авиационных конструкций, Межвузовский сборник. КуАИ, Куйбышев, 1980. с. 77-81.

3. Зинин А.В., Котов П.И., Сухов С.В. Практическая механика разрушения / учебное пособие в 2-х т. / "МАТИ - Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского". Москва, 2012. Том 2. - 232 с.

## **О корреляции прочности болтовых соединений композитных конструкций при статическом и малоцикловом нагружениях**

Феоктистова Е.В., Зубова Д.Д.

Научный руководитель – Зинин А.В.

МАИ, г. Москва

Основные проблемы обеспечения прочности и долговечности болтовых соединений элементов конструкций из композиционных материалов связаны с их невысоким сопротивлением срезу и смятию [1]. Низкая сдвиговая прочность ограничивает несущую способность таких соединений, требует проведения регулярного контроля качества стыков узлов и агрегатов конструкции. Циклические нагрузки, которым подвержены элементы авиационной техники, приводят к нарушениям плотности стыка, ослабления затяжки соединений, и, как следствие, усталостным повреждениям деталей и панелей из композитных материалов. Чаще всего это выражается в изменении формы отверстия («овализации»)[2], появлении зазоров между болтом и соединяемыми панелями, развитием расслоения композита в зоне контакта и окончательного отказа соединения в виде специфического разрушения большой области композитного элемента. Поэтому определение характеристик сопротивления малоцикловой усталости проводили при циклических испытаниях на смятие.

Анализ форм разрушения композитных элементов соединений как при статическом, так и при циклическом нагружениях показывает, что этот связан в основном с расслоением композита в зоне контакта болта и неподкрепленного отверстия вследствие потери устойчивости армирующих волокон. Предполагается, что затяжка болта, создающая сжатие в трансверсальном направлении, будет задерживать процесс потери устойчивости волокон и повышать несущую способность соединения. Результаты экспериментов подтверждают этот вывод.

Обработка экспериментальных данных показала, что для исследованных соединений можно статистически обосновано предложить уравнение единой кривой усталости[3] в виде  $\sigma_{max} = \sigma_b(1 - a \lg N)$ , где  $\sigma_b$  - предел прочности при смятии;  $N$  - число циклов до разрушения;  $a$  - параметр. Установлена значительная корреляция между результатами испытаний при кратковременном и малоцикловом нагружениях. Такой вывод позволяет прогнозировать усталостную прочность болтовых соединений композитных конструкций при малоцикловом нагружении по характеристикам их статической прочности.

### **Библиографический список**

1. Зинин А.В., Дедова М.Н., Абрамова Е.А. Усталость и разрушение болтовых соединений композитных конструкций при малоцикловом нагружении. В сб.: Решетневские чтения. Материалы IX Международной научной конференции, 2005. с. 150-152.

2. Зинин А.В. Сопротивление малоцикловой усталости гибридных композиционных материалов и элементов летательных аппаратов из них: дисс... канд. тех. наук 01.02.06/ МАТИ - Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского. - М., 1983.

3. Степнов М.Н., Агамиров Л.В., Зинин А.В., Котов П.И., Васильев Д.В., Кузьмин А.Е. Научные школы. Прочность машин и конструкций при переменных нагрузках. Москва, 2001.

**Изучение влияния частичной замены графитированного  
углеродного волокна на карбонизованное для использования  
в тяжело нагруженных узлах трения**

Шмелев Д.С., Давыдов Д.С.

Научный руководитель – Зинин А.В.

МАИ, г. Москва

Использование в качестве наполнителя для углерод-углеродных композитов графитированного углеродного волокна на основе ПАН, обработанные до температуры 2800°С, приводит к значительному увеличению себестоимости готовой продукции [1]. Поэтому проблема перехода на волокна, имеющие более низкую температуру обработки (т.н. «карбонизованные» волокна, обработанные до 1400-2200°С), весьма актуальна как с экономической точки зрения, так и с позиций повышения долговечности высоконагруженных элементов конструкций [2].

В рамках работ по повышению надежности и работоспособности тормозных устройств авиационного назначения в ОАО «АК «Рубин» была проведена серия опытов по частичной замене наполнителя – графитированного волокна на карбонизованное. Исследовались материалы с различным процентным содержанием карбонизованного волокна (30%, 50%, 70% по массе), получившие название «комбинированно армированные материалы». Данные материалы показали свою эффективность и перспективность, т.к. по показателям тепломеханических свойств (предел прочности на изгиб, предел прочности на сжатие, коэффициент теплопроводности в двух направлениях, коэффициент трения, линейный износ за торможение) превосходили серийные материалы на основе графитированного волокна. Характеристики теплопроводности в плоскости, перпендикулярной рабочей поверхности изделия возросли на 30 ... 50%.

Также подтвердилась экономическая эффективность данных материалов за счет использования более дешевого и доступного сырья.

Установлено, что при использовании данной схемы армирования за счет большей прочности карбонизованных волокон стало возможным уменьшить содержание армирующего наполнителя на 30% по сравнению с материалами, сделанными исключительно на основе графитированных волокон. Такое изменение структуры углерод-углеродного композита дает ощутимое уменьшение массы конструктивных элементов, в частности тормозных дисков для авиационных взлетно-посадочных устройств [3]. Следует отметить, что схема комбинированного армирования является перспективной для дальнейших исследований не только в области фрикционных композиционных материалов, но также и в других отраслях.

Литература.

1. Бухаров С.В., Лебедев А.К., Зинин А.В., Базаев Е.М. Технология пространственно-армированных полимерных волокнистых композиционных

материалов в аэрокосмической технике. В сборнике: Материалы и технологии нового поколения для перспективных изделий авиационной и космической техники. Сборник докладов II Научно-технической конференции. ФГУП ВИАМ. Москва, 2015. С. 14 /

2. Давыдов Д.Д. Разработка программы восстановления тормозных дисков из углерод-углеродных материалов по схеме "один из двух изношенных". В сборнике: XLI Гагаринские чтения Научные труды Международной молодежной научной конференции: в 4-х томах. Москва, 2015. С. 8-9.

3. Панков М.И. Влияние включений мелкодисперсного графита на фрикционные и теплофизические свойства композита. В сборнике: XLI Гагаринские чтения Научные труды Международной молодежной научной конференции: в 4-х томах. М.: - 2015. С. 12-13.

### **Анализ управления рисками в целях повышения надежности изделия при переходе производства оборудования TCAS на ISO9001-2015**

Щербакова М.И.

Научный руководитель – ст. преподаватель Лапир М.А.

МАИ, г. Москва

В связи с современными проблемами, возникшими при развитии воздушно-космических сообщений, одной из основополагающих задач на практике представляется создание надежной системы распознавания воздушных объектов при переходе производства оборудования типа TCAS на стандарт ISO9001-2015[1,2].

Целью исследований явилась разработка изменений системы менеджмента качества (СМК) в соответствии с требованиями стандарта ISO9001-2015 в связи с необходимостью повышения эффективности и результативности производства оборудования TCAS – автономной бортовой системы предотвращения столкновений, предназначенной для помощи летным экипажам в предотвращении столкновений в воздушном пространстве, что, в конечном итоге, приводит к повышению надежности эксплуатации готового оборудования.

Необходимым изменением явилось применение модели управления рисками [3,4]. Данная модель представляет собой идентификацию и анализ рисков; анализ альтернативных методов управления риском; исполнение выбранного этапа управления риском; мониторинг результатов и совершенствование системы управления риском. Применение модели управления рисками привело к повышению эффективности и результативности, к снижению рисков отказа готовой продукции – повышению надежности на стадии эксплуатации.

В результате проведенных исследований были выявлены различия между стандартами ISO9001-2008 и ISO9001-2015 и выработаны предложения по разработке программы перехода СМК производства оборудования TCAS в соответствии с новой версией стандарта. Такими предложениями стали: внесение изменений в Руководство по качеству, внедрение модели управления рисками, совершенствование процедуры улучшения системы качества, совершенствование процедур контроля, мониторинга, анализа и улучшения.

Благодаря внедрению необходимых изменений следует отметить следующие улучшения технико-эксплуатационных характеристик устройств типа TCAS:

- дальность действия – 40-100 км;
- снижение веса – 17,01-14,7/15,8 кг;
- наработка на отказ – с 7000 до 12000 час.

Предлагаемый комплекс мероприятий по внесению изменений в документацию и процессы СМК производства оборудования TCAS способен привести к улучшению показателей производства и к снижению рисков брака готовой продукции.

Литература.

1. Международный стандарт ISO 9001:2015. Системы менеджмента качества. Требования. -2016.
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования. - 2016.
3. [www.iso.org/tc176/sc02/public](http://www.iso.org/tc176/sc02/public)
4. <http://www.iso-group.ru>

## **Расчёт прогибов ракеты-носителя «Протон-М» при наземной эксплуатации**

Эзенкин И.А.

Научный руководитель – Абрамова Е.А.  
МАИ, г. Москва

Ракета-носитель (РН) «Протон-М» - модернизированный вариант ракеты-носителя «Протон-К», обладающий улучшенными энергомассовыми, эксплуатационными и экологическими характеристиками.

Применение в составе РН «Протон-М» увеличенных головных обтекателей, в том числе диаметром 5 м, позволяет более чем вдвое увеличить объем для размещения полезного груза. Увеличенный объем головного обтекателя позволяет также использовать на новом носителе ряд перспективных разгонных блоков[1].

В данной работе приведены результаты расчета прогибов РКН (ракета космического назначения) «Протон-М» с различными КГЧ (космическая головная часть) при наземной эксплуатации РКН. Расчеты проводились методом конечных элементов с использованием программного комплекса MSC.Patran/Nastran.

Данная работа проводилась с целью уточнения результатов расчета прогибов РКН на жестких и тарированных опорах, когда ракету помещают на ТУА (транспортно-установочный агрегат) и везут до места назначения.

Жесткие опоры воспринимают нагрузку от изделия, и передают на ТУА, тарированные опоры создают нагрузки с определенным усилием.

Прогибы РН при транспортировке определяются для контроля перемещений тарированных опор в пределах допустимых значений, кроме того, нагрузки на стыке зависят, в частности, и от усилий, возникающих при транспортировке, а эти усилия зависят от размеров и веса КГЧ.

Были рассмотрены 3 варианта КГЧ в составе РКН:

- КГЧ с космическим аппаратом (КА) «Inmarsat-5F3», с термочехлом, с полной заправкой разгонного блока «Бриз-М»;
- КГЧ с многофункциональным лабораторным модулем (МЛМ);
- КГЧ с КА «Луч», с термочехлом, с незаправленными баками низкого давления разгонного блока «Бриз-М».

Силы реакций на жестких опорах увеличиваются при увеличении массы КГЧ.

Перемещения тарированных опор (прогибы ракеты) увеличиваются при увеличении статического момента КГЧ — произведения массы КГЧ на координату центра тяжести КГЧ от стыка КГЧ с РН (максимальные значения в первом варианте).

Перемещения тарированных опор в правой и левой части (прогибы РКН) увеличиваются при варьировании усилий на этих опорах в пределах допусков: на опоре в правой части в сторону увеличения, на опоре в левой части в сторону уменьшения.

Так как результаты расчета показали, что силы реакции на жестких опорах и перемещения тарированных опор не превысили пределы допусков, то приведенную методику расчета можно использовать и в дальнейшем для определения прогибов ракеты с любыми другими вариантами КГЧ при наземной эксплуатации.

Литература.

1. Арсеев А.П. Особенности определения полетных нагрузок для семейства ракет-носителей «Ангара». В сборнике: XLI Гагаринские чтения Научные труды Международной молодежной научной конференции: в 4-х томах. Москва, 2015. С. 4-5.

## **Оптимизация типовых шпангоутов тяжелого военно-транспортного самолёта с помощью программных продуктов MSC.Software**

Юнисов Р.Н.

Научный руководитель – Говорун М.В.

МАИ, г. Москва

Компьютерные технологии MSC.Software обеспечивают сегодня не только самый широкий спектр инженерных расчетов в области прочности, динамики, теплопередачи, аэроупругости, долговечности, ресурса и т.д., но и позволяют виртуально моделировать технологические процессы изготовления и сборки изделий. Появляется возможность создания подробных компьютерных моделей сложных машин и механизмов на основе функционального анализ с учетом реальных условий эксплуатации [1]. Применение данных моделей значительно сокращает сроки проектирования и изготовления изделий при значительном повышении их качества, что обеспечивает быстрый выход на рынок с новой продукцией и получение высокой отдачи от вложенных инвестиций. При этом значительно сокращается число физических экспериментов путем замены их на быстрое, эффективное и точное компьютерное моделирование на основе создаваемых виртуальных моделей сложных конструкций.

С помощью программных продуктов MSC.Software были созданы конечно-элементные модели типовых шпангоутов тяжелого военно-транспортного самолета в нескольких вариантах. На основании этих моделей для различных

контуров сечений фюзеляжа проведена параметрическая оптимизация шпангоутов с целью минимизации его массы. Результаты расчетов представлены в таблице.

Таблица

Вариант	Масса, кг	Эквивалентные напряжения в обшивке фюзеляжа МПа	Продольные напряжения в обшивке фюзеляжа $\sigma_x$ МПа	Кольцевые напряжения в обшивке фюзеляжа, МПа	Касательные напряжения в обшивке фюзеляжа $\tau_{xy}$ МПа
1	118	270	190	300	190
2	247	410	160	445	89
3	264	430	170	470	34

Вывод. Оптимальным сечением фюзеляжа с точки зрения массы и обеспечения прочности является вариант №1.

Литература.

1. Юнисов Р.Н. Расчет НДС траверсы шасси военно-транспортного самолёта с помощью программных продуктов MSC.Software. В сборнике: XLI Гагаринские чтения Научные труды Международной молодежной научной конференции: в 4-х томах. Москва, 2015. С. 15-16.

## **СЕКЦИЯ № 10. Системы автоматизированного проектирования и интеллектуальные системы автоматизики**

Руководитель секции: к.т.н., доцент Хорошко Л.Л.

---

### **Сравнительный анализ стереолитографии и технологии выборочного лазерного спекания в 3D-печати**

Вибе Е.Д.

Научный руководитель – Харитоненков А.И.

МАИ, г. Москва

За последние годы 3D-печать стала активно развиваться и вышла на широкий рынок. Появились различные методы печати, зачастую использующие кардинально разные принципы подачи материала для создания 3D-моделей. В данной работе мы проведем анализ технологий с наиболее высокой детализацией: технологию стереолитографии и технологию выборочного спекания.

Стереолитография (StereoLithography Apparatus, SLA) – это технология, основанная на облучении жидкой фотополимерной смолы лазером для создания твердых физических моделей. Построение модели производится слой за слоем. Каждый слой вычерчивается лазером согласно данным, заложенным в трехмерной цифровой модели.

Можно выделить следующие преимущества данного вида печати:

- обладает очень высоким разрешением печати, соответственно и качество поверхности даже без дополнительной обработки получается высоким;
- механическая прочность получаемых образцов достаточно высока, они могут выдерживать температуру до 100 °С;
- очень мало ограничений на сложность модели и наличие у нее мелких элементов;
- малое количество отходов.

Имеются следующие недостатки:

- ограниченный выбор материалов для изготовления моделей;
- невозможность цветной печати и сочетания разных материалов в одном цикле;
- малая скорость печати, максимум 10–20 миллиметров в час по вертикали;
- очень большие габариты и вес: так, один из SLA-аппаратов 3D Systems ProX 950 весит 2,4 тонны при размерах 2,2×1,6×2,26 м.

При выборочном лазерном спекании (Selective Laser Sintering, SLS) порошок наносится и разравнивается по поверхности рабочего стола специальным валиком, который при обратном проходе удаляет излишки порошка. Затем работает мощный лазер, спекающий частицы друг с другом и с предыдущим слоем, после чего стол опускается на величину, равную высоте одного слоя.

Преимущества этого вида печати:



- широкий спектр материалов, пригодных для использования;
  - позволяет создавать очень сложные модели;
  - скорость в среднем выше, чем у SLA, и может достигать 30–40 мм в час по вертикали;
  - может использоваться не только для создания прототипов, но и для мелкосерийного производства, в т. ч. ювелирных изделий.
- К недостаткам можно отнести:
- требуются мощный лазер и герметичная камера, в которой создается среда с малым содержанием кислорода;
  - меньше, чем у SLA, максимальное разрешение: минимальная толщина слоя 0,1–0,15 мм (в зависимости от материала может быть и немного менее 0,1 мм); по горизонтали, как и в SLA, точность определяется фокусировкой лазерного луча;
  - требуется долгий подготовительный этап для прогрева порошка, а затем нужно ждать остывания полученного образца, чтобы можно было удалить остатки порошка;
  - в большинстве случаев требуется финишная обработка.

В результате проведенного анализа данных технологий можно прийти к выводу, что технологию SLA следует применять при печати изделий сложной формы без дополнительной обработки. Технология SLS следует применять при мелкосерийном изготовлении изделий из различных материалов.

### **Разработка универсальной модели для расчёта трубопровода подачи гелия для системы наддува баков**

Габзалилов Д.Р.

Научный руководитель – Бутко А.О.

МАИ, г. Москва

В моей работе, с помощью комплексной системы автоматизированного проектирования создана модель для расчета трубопровода подачи гелия для системы наддува баков в натуральную величину.

Трубопровод наддува предназначен для подачи жидкой или газообразной субстанции создающей давление наддува в полном или пустом баке ракеты с целью предотвращения деформаций стенок и сохранения формы при транспортировке и функционировании.

Исследование спецификации, устройства, технического описания, конструкции и технологии изготовления изделия «Трубопровод подачи гелия» позволило изучить основные характеристики моделируемого объекта, выделить компоненты, которые войдут впоследствии в информационную структурно-параметрическую модель с интегрированным расчетом.

Основные этапы работы по разработке модели включили: подготовку исходных данных, анализ чертежей, выбор деталей для моделирования, построение примитивов и других элементов геометрии, определение связей элементов и ввод системы параметризации, сборку модели, добавление инженерных расчетов, описание технологического процесса.

Наиболее важными составляющими модели являются интегрированные расчеты, позволяющие выполнять увязку геометрической части модели и технико-экономической, включающей проект производства изделия представленный в виде предварительного плана в системе Microsoft Project.

На основе проведенного изучения изделия «Трубопровод» в итоге была создана комплексная параметризованная модель производственной спецификации, включающая расчет технических, ресурсных и геометрических параметров объекта. В полученной модели возможно изменять различные входные параметры с целью получения оптимальной конфигурации изделия. Эти результаты позволяют оценить варианты применения изделия, что в конечном итоге приводит к выбору его наиболее рациональных конструктивных и функциональных характеристик.

### **Анализ операторов скрещивания и мутации для решения задачи размещения генетическим алгоритмом**

Габидуллин А.Н.

Научный руководитель – Воронова В.В.  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

При проектировании электронных средств рассматриваются задачи, связанные с поиском наилучшего варианта конструкции, удовлетворяющего требованиям технического задания и максимально учитывающего возможности технологической базы данного производства. Задача размещения конструктивных элементов заключается в распределении конструктивных элементов по коммутационному пространству печатной платы.

Данная работа посвящена анализу операторов скрещивания и мутации для решения задачи размещения генетическим алгоритмом. Идеи генетических алгоритмов вдохновлены живой природой и заключаются в создании эволюционного процесса, целью которого является получение оптимального решения в сложной комбинаторной задаче. Эволюционные методы это некий процесс математических преобразований, позволяющих превратить поток входящей информации в выходной по заданным критериям, которые основаны на имитации механизмов эволюционного поиска, на статистическом подходе к исследованию ситуаций и итерационном приближении к искомому решению задачи. Эволюционные алгоритмы решают задачи с помощью поиска, т.е. они создают потенциальные решения и модифицируют их до тех пор, пока решения не будут удовлетворять заданным критериям поиска решения задачи.

Для работы алгоритма необходимо сформировать начальную популяцию последовательностей – хромосом, т.е. множество потенциальных решений. Она формируется случайным образом. Затем осуществляются процесс синтеза новых решений, используя три основных оператора: репродукцию, скрещивание, мутацию. В данной работе будем рассматривать все основные операторы скрещивания, а именно: простой кроссингвер, панмиксию, имбридинг, аутбридинг, ассортативное скрещивание (положительное и отрицательное). Производим скрещивание всеми операторами для одного контрольного примера. На данном этапе появляется основная проблема для данного типа задач, а именно, возникновение незаконных и недопустимых решений.

Незаконные решения в задаче размещения появятся, если один и тот же элемент будет претендовать на две или более установочных позиций на плате или несколько элементов устанавливаются в одну и ту же позицию. Тогда случайным образом подбираются номера свободных элементов и их значения подставляются в соответствующие аллели хромосомы. Недопустимость относится к ситуации, когда решение, декодированное из хромосомы, лежит вне области допустимых решений задачи. После скрещивания применяются операторы мутации, такие как: точечная мутация, генная мутация, макромутация, хромосомная мутация (инверсия, полная точечная мутация, транслокация). Результаты проверяются на незаконность и недопустимость полученного решения. Затем отбираем те хромосомы, у которых значение функции приспособленности наилучшее. Размещение модулей будет проходить по данной хромосоме.

В рамках данной работы был проведен анализ операторов скрещивания и мутации для задачи размещения; так же была разработана программная реализация. Предварительные исследования показали, что наиболее эффективными являются операторы ассортативного скрещивания и транслокации.

## **Процедура канальной трассировки СБИС на основе бионического алгоритма**

Галиев А.И.

Научный руководитель – Чермошенцев С.Ф.  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Этап трассировки межсоединений сверхбольших интегральных схем (СБИС) является заключительным этапом автоматизированного проектирования СБИС. Трассировка межсоединений определяет такие важные параметры в работе электронного средства, как задержка сигнала, помехоустойчивость, быстродействие, поэтому данный этап проектирования СБИС является наиболее сложным и требует тщательного подхода к ее реализации. В качестве решения задачи канальной трассировки (ЗКТ) используется множество методов и алгоритмов. Однако наиболее интересными и перспективными считаются алгоритмы, имитирующие природные процессы, поведения животных: пчелиный алгоритм, муравьиный алгоритм, алгоритм летучих мышей и т.д.

Канал описывается двумя последовательностями  $P$  и  $Q$ , в которых размещены верхние и нижние выводы канала соответственно. Множество цепей определяется как  $S = \{N_1, \dots, N_m\}$ , где  $m$  — число цепей. Каждая цепь представляется в виде набора горизонтальных и вертикальных фрагментов. Задача трассировки в канале рассматривается как задача распределения фиксированного множества горизонтальных участков  $F = \{f_i | i = 1, 2, \dots, N\}$  в множестве магистралей  $M = \{m_j | j = 1, 2, \dots, L\}$ . На взаимное расположение горизонтальных фрагментов накладываются ограничения, задаваемые с помощью графа вертикальных ограничений (ГВО).

Одним из наиболее эффективных бионических алгоритмов является алгоритм, имитирующий поведение косяка рыб. Данный алгоритм предложили в 2008 году Фило и Нето. Алгоритм представляет собой многоагентную систему, в

которой каждый агент (рыба) находится в области поиска решения, представляющим собой аквариум. На каждой итерации алгоритма рыбе-агенту не нужно запоминать наилучшее решение, которое оно имело на предыдущих итерациях. Такая особенность отличает данный алгоритм от других многоагентных алгоритмов.

Известно, что рыбы в поиске пищи перемещаются косяком. Таким образом, алгоритм представляет собой перемещение косяка рыб (решений ЗКТ) в точку с наибольшим количеством пищи (оптимальному решению ЗКТ), не выходя при этом за пределы аквариума – пространства решений. Каждая рыба обладает весом, который характеризует, насколько агент успешен в процессе поиска пищи.

Алгоритм состоит из следующих шагов:

- Инициализация популяции.
- Индивидуальная стадия плавания агентов.
- Стадия кормления.
- Инстинктивно-коллективное плавание.
- Вычисление центра тяжести косяка рыб.
- Коллективно-волевое плавание
- Изменение параметров плавания.

В результате проведения экспериментов выяснилось, что с помощью данного алгоритма можно получать решения близкие к оптимальным за небольшое количество итераций. Однако, алгоритм весьма чувствителен к значениям управляемых параметров. В большей степени на скорость сходимости алгоритма влияют значение индивидуального шага агента и величина коллективно-волевого смещения.

### **Разработка инструментальных средств взаимодействия функциональных подразделений и служб материально-технического обеспечения в организации**

Голубинский М.А.

Научный руководитель – Цырков Г.А.

МАИ, г. Москва

Организация – это сложная система, в ней в зависимости от целей деятельности можно выделить несколько взаимодействующих между собой структур. Эффективность работы функциональных подразделений во многом зависит от плотного и качественного коммуникации с службами материально-технического обеспечения (МТО). На данный момент в большинстве организаций порядок взаимодействия либо не прописан в служебных регламентах либо давно устарел. Поэтому для любой организации необходимо применение современных средств и стандартов коммуникации между подразделениями. Для решения данной проблемы предлагается ввод в организациях автоматизированной информационной системы.

Автоматизированная информационная система (АИС) представляет собой совокупность взаимосвязанных элементов, включающих в себя информационные, кадровые и материальные ресурсы, процессы, которые

обеспечивают сбор, обработку, преобразование, хранение и передачу информации в организации.

Сформулированы следующие требования к АИС:

- Интеграция с другими автоматизированными системами в организации;
- Простота и гибкость при установке, конфигурировании и эксплуатации АИС;

- Защита информации от несанкционированного доступа;
- Возможность работы с удаленными пользователями;
- Возможность доработки и обновления АИС.

Исходя из требований к АИС, были сформулированы следующие задачи:

- Разработка специального программного обеспечения для упрощения взаимодействия между подразделениями и службами МТО;
- Разработка методов интеграции ПО и предъявление требований к клиентской и серверной части автоматизированных систем.

Для разработки ПО был выбран язык C# и среда разработки Visual Studio 2015. Программное обеспечение состоит из клиентской и серверной части. Серверная часть представляет собой базу данных SQL, развернутой на серверной машине с операционной системой не ниже Windows 7/Windows Server 2003 и предустановленной Microsoft SQL Server 2008 Express.

Клиентская часть представляет собой программную оболочку на основе технологии ADO.NET или ASP.NET, которая позволяет: соединиться с серверной частью с помощью комбинации логин/пароль, использовать функции складской программы, подавать заявки в службу закупок и материально-технического обеспечения, а так же функции администрирования данного процесса.

Разрабатываемая система позволит повысить эффективность работы функциональных подразделений, автоматизировать операции закупок и интегрировать современные технологии в работу служб материально-технического обеспечения.

## **Использование графических станций для создания сложных 3D моделей**

Горчаков А.Я.

Научный руководитель – Кейно П.П.  
МАИ, г. Москва

Компьютерные 3D модели и чертежи уже достаточно широко используются в науке, технике, архитектуре, киноиндустрии. Современное ПО для создания 3D способно создавать чрезвычайно подробные и точные чертежи и модели в высоком разрешении. Однако, для удобной и продуктивной работы с большими моделями, состоящими из множества деталей мощности обычного ПК часто бывает недостаточно. Низкая скорость масштабирования изображения, некорректное отображение некоторых частей модели, длительное время рендеринга негативно сказывается на качестве работы. Для решения этих проблем были созданы специальные машины – графические станции.

Графическая станция — мощный компьютер, ориентированный на работу с профессиональной графикой, трехмерными приложениями, видео редакторами и прочим специализированным ПО.

Графические станции используются многими сферами и областями:

- дизайн;
- анимация;
- архитектура;
- машино-, самолето-, автомобилестроение;
- киноиндустрия;
- проектирование.

Для обеспечения необходимой производительности графические станции могут быть оснащены несколькими процессорами, несколькими слотами для видеокарт, значительным объемом оперативной памяти и так далее.

Самой важной частью ПК, в случае использования его для работы с графикой, является видеокартой. Однако, в отличие от обычных ПК, где используются офисные/игровые видеокарты, в графических станциях используются профессиональные, созданные не для игр, где требуется быстрая обработка текстур, а для программ 3D моделирования, где требуется быстрая обработка 3D геометрии и векторной графики. Так же очень важно добиться оптимального соотношения центрального и графического процессоров. Именно поэтому помимо профессиональных видеокарт (NVidia Quadro или AMD Fire Pro) у для графических станций используются либо процессоры высшей категории как Intel Core i5 и i7 и AMD FX (реже), либо серверные процессоры Intel Xeon. В редких случаях используются двухпроцессорные системы с двумя процессорами Xeon соответственно. Последние, благодаря таким высоким характеристикам, графические станции могут быть использованы как сервер, с доступом с любого компьютера с помощью удаленного рабочего стола (PCoIP, RDP, VNC, ICA).

Графическая станция обязательна в архитектуре и инженерии, кинопроизводстве и мультипликации, самолето- и автомобилестроении. Без нее не обходится современная визуализация, сложные расчеты и составление схем. Изучение архитектуры графических станции является актуальной задачей в отрасли графического моделирования.

### **Анализ процесса закупок и развитие функциональной модели управления**

Гурьянова А.П.

Научный руководитель – Цырков Г.А.

МАИ, г. Москва

Процесс закупок материалов на предприятии базируется на принципах логистики, которые определяют совершение закупки материально-технических ресурсов. Покупка товаров непосредственно связана с обеспечением предприятия в области организации коммерческой деятельности.

Основные факторы, определяющие решение о закупке товаров предприятия, проходят в несколько этапов.

Первый этап процесса закупки направлен на формирование потребности в материале. Квалификация уровня потребности определяет вид закупки, планирование и организацию закупочной деятельности.

Второй этап предусматривает решение комплекса задач на основе оценки общей необходимости товаров и соотношения оценки с соответствующими издержками в процессе стоимостного анализа.

На третьем этапе формируется список поставщиков-производителей на основе изучения, анализа и оценки ряда факторов, а именно: характеристика организации, условия производства и сбыта, уровень конкурентоспособности, надежность хозяйственных связей и оценка результата хозяйственной деятельности.

Четвертый этап предусматривает формирование квалифицированных предложений поставщиком на конкурентной основе.

На пятом этапе производим сравнительный анализ, а так же решение о структуре и объемах приобретаемых ресурсов, а также ценовой оценки.

На шестом заключительном этапе происходит документальное и юридическое оформление процедуры приобретения и поставки ресурсов в адрес производственного предприятия.

Для эффективного функционирования и управления закупочной деятельностью на предприятии необходимо наличие соответствующего интегрированного комплекса автоматизированных систем.

Автоматизированное решение должно обеспечивать:

- мгновенный доступ к поставщикам, расположенным по всей России;
- автоматизацию закупок, применяя стандартные процедуры;
- снижение длительности по основным бизнес-процессам;
- снижения затрат (после мониторинга на необходимую продукцию);
- интеграцию данных между аналогичными системами на стороне поставщика.

Основные задачи процесса закупок:

- задание непрерывного потока материально-технических ресурсов;
- взаимодействие с производством на предприятии;
- поиск надежных поставщиков и формирование выгодных предложений;
- закупка необходимых качественных материалов, объема и гарантии доставки;
- быстрое перемещение материалов через цепи поставок;
- экспедирование доставок в случае необходимости;
- мониторинг текущих условий, в том числе изменений цен, возникновения дефицита, появления новых продуктов и т.д.

Точный и грамотный анализ процесса закупок позволяет определить пределы закупочных цен, бюджет на закупки, планирование процесса закупок.

## **Подходы к тестированию мобильных приложений, предназначенных для управления интеллектуальных зданий**

Дурдыев М.Х.

Научный руководитель – Николаев П.Л.

МАИ, г. Москва

При построении интеллектуальных зданий в качестве средств управления и мониторинга различных систем все чаще используются различные мобильные устройства со специальными приложениями. В связи с этим возникает необходимость в надежном функционировании мобильных приложений. Стандартным этапом при создании любого программного обеспечения (ПО) является тестирование. Тестирование мобильного ПО, в отличие от десктопного ПО, имеет ряд особенностей. Рассмотрим некоторые аспекты тестирования мобильных приложений.

На рынке существует большое количество различных смартфонов и планшетов, которые отличаются операционными системами (iOS, Android, Windows и т.д.), вычислительной мощностью, размерами дисплеев, емкостью аккумуляторов и т.п.

При создании мобильных приложений под различные платформы выделяют два основных подхода:

- тестирование на эмуляторе;
- тестирование на реальных устройствах.

При первом подходе используется эмулятор мобильного устройства, обычно входящий в состав инструментов разработки под определенную платформу. Но эмуляцию используют только для тестирования функциональности системы. Такой вид тестирования достаточно прост, быстр и незатратен, однако имеет ряд существенных недостатков. Например, эмулятор может быть лишен определенных функций мобильной операционной системы. Кроме того, зачастую на эмуляторах довольно трудно проверить работоспособность всех жестов из-за их ограниченного набора.

При втором подходе требуется наличие большого количества разнотипных мобильных устройств. Тестирование при данном подходе обойдется недешево, но все же позволит в полной мере проверить работоспособность разрабатываемого приложения. Также, в данном случае можно протестировать возможности мобильных сетей с помощью выбора и настройки их конфигурации в тестовой среде. Одна из проблем такого подхода к тестированию состоит в том, что мобильные устройства и платформы меняются очень быстро, поэтому требуется постоянное обновление имеющихся девайсов.

При создании мобильных приложений особое внимание уделяется тестированию сетевого подключения и потреблению энергии мобильным устройством.

Сетевое подключение – один из ключевых внешних факторов, которые необходимо учитывать при разработке мобильных решений и, в частности, приложений, осуществляющих обмен данными больших объемов. Так как мобильные приложения, разработанные для мониторинга и управления различных систем интеллектуальных зданий, чаще всего используют



мобильную сеть, требуется протестировать приложение в различных состояниях и при различных условиях работы:

- различные типы сетевых подключений (Wi-Fi, 3G, EDGE);
- тестирование поведения приложения при переключении типа соединения, например, между Wi-Fi и 3G;
- в условиях неуверенного приема сети;
- в условиях временной недоступности;
- работа в оффлайн-режиме (и в режиме синхронизации при восстановлении сети).

Энергопотребление является основным ограничивающим фактором при проектировании мобильных приложений для мобильных устройств. Существуют ряд специализированных инструментов для тестирования энергопотребления: Battery life Pro, Power Tutor, Battery Mix.

Тестирование мобильных приложений направлено на оценку качества мобильных программ, которые загружаются и устанавливаются на различные мобильные устройства с различными мобильными платформами. Тестирование направлено на анализ функциональности и корректной работоспособности, выполнения требований к качеству обслуживания, удобства использования, безопасности и конфиденциальности.

### **Применение систем автоматизированного проектирования для разработки электронных учебных курсов по техническим дисциплинам**

Ермилов И.Ю., Хорошко А.Л.  
Научный руководитель – Хорошко Л.Л.  
МАИ, г. Москва

В настоящее время во многих ВУЗах активно внедряется электронное обучение и дистанционные образовательные технологии. Они позволяют не только поддерживать интерактивные формы организации учебного процесса в соответствии с образовательными стандартами, но и обеспечивают дополнительные возможности для проведения лабораторных работ и самостоятельной работы студентов. Технологии дистанционного обучения широко используются при подготовке специалистов по экономическим и гуманитарным направлениям, меньше по естественнонаучным и ещё достаточно редко – по инженерным специальностям. Учитывая основной профиль подготовки студентов ВУЗа, где большинство курсов посвящено естественным и техническим наукам, возникает необходимость решения специфических задачи и дополнительные сложности по разработке и проектированию электронного учебного контента.

Одним из решений при разработке технических курсов стало использование систем автоматизированного проектирования, в т.ч. среды 3D конструирования и моделирования Autodesk Inventor и Fusion 360. Разработанные трехмерные модели реальных технических объектов позволяют студентам наглядно представить их назначение. Модель содержит все основные параметры оригинала, что позволяет использовать ее как для организации виртуального лабораторного практикума, так и самостоятельной работы. Примерами таких

дистанционных курсов являются электронные учебные пособия по дисциплинам: «Инженерная и компьютерная графика», «Основы подготовки конструкторской документации», «Детали машин» и др. Для этих курсов разработаны 3D модели, а также виртуальные мультимедийные лабораторные работы, которые позволяют студентам получить навыки работы с реальными механизмами и изучить основы их работы.

Для виртуальных лабораторных работ созданы методические указания по их выполнению и видам отчетности, что экономит время преподавателя на проведение занятий в лаборатории и позволяет индивидуально работать с каждым обучаемым. В некоторых случаях становится возможным отказаться от проведения дорогостоящих лабораторных работ с точным или дорогим оборудованием.

Возможность производить измерения по созданным 3D объектам существенно расширяет сферы использования моделей. Сами программные продукты Autodesk Inventor и Fusion 360 позволяют формировать технические объекты по ранее проведенным расчетам, что дает возможность визуализировать результат и проводить динамическое моделирование созданных объектов. Дополнительной возможностью продукта является возможность создания анимацией с 3D объектами, что существенно расширяет уровень визуализации технических курсов.

Таким образом, применение систем автоматизированного проектирования позволило существенно повысить наглядность технических курсов и разработать инструменты для организации лабораторных и самостоятельной работы студентов в интерактивном режиме. С использованием представленных средств обучения процесс изучения материалов технических курсов становится более доступным и удобным, особенно с учетом возможностей дистанционных образовательных технологий, так как все материалы сохраняются в электронной форме и могут быть многократно использованы.

### **Компоненты инструментальных средств информационного сопровождения производственного проекта**

Ермохин Е.А.

Научный руководитель – Цырков Г.А.

МАИ, г. Москва

Модуль мониторинга предназначен для контроля и управления потоком заданий по предприятию на заданный горизонт планирования (интервал дат). В качестве входных данных используется производственный проект (ПП), формируемый в системе поддержки производственно-технологических данных (СПТД). Ниже перечислены ключевые функции модуля.

Просмотр состава работ. ПП структурируется по составу партий работ (ПР). Модуль позволяет посмотреть ПР по каждому подразделению или проекту в целом, посмотреть состав каждой партии, принадлежность элементов состава партии к разным счетам/заказам (в случае, если проект предусматривает одновременную работу по нескольким), а также контролировать статус каждой партии (не в работе, назначено, запущено, закрыто, условно закрыто, частично закрыто).

Анализ загрузки подразделений. Позволяет проанализировать интегральную и локальную загрузку подразделений, задействованных в реализации плана. Оператор системы может оценить ход развития проекта, выполняя сравнение графиков плановой и фактической загрузки подразделений. Возможен выбор детализации графика (день, неделя, месяц, квартал, год или весь проект) и отображение накопленной загрузки (загрузка по нарастанию). Сравнивая фактический и плановый горизонты, оператор контролирует выход проекта за пределы плана.

Визуализация процессов производства на цикловом графике. Цикловой график является аналогом диаграммы Ганта и предназначен для визуализации производственного процесса. Возможно построение графика по стадиям производственного процесса, по отдельным подразделениям или по проекту в целом. Интересной особенностью модуля является построение циклового графика по всему проекту, что позволяет «увидеть все производство». Текущая реализация модуля успешно отображает более 100 000 партий.

Назначение заданий (работ). Для назначения заданий в модуль планировщика загружаются мощности подразделений, которые могут быть получены, к примеру, из системы управления персоналом (базовой ERP) или сформированы вручную. Текущая реализация обеспечивает загрузку мощностей в формате структурно-параметрических баз (СПБ), содержащих кадровый состав каждого подразделения, мощность, профессию и разряд каждого сотрудника. На основании этих данных оператор системы назначает работы по группам сотрудников (бригадам, секторам, ...) или по каждому сотруднику, контролируя загрузку сотрудников, бригад и подразделений.

Запуск заданий и контроль выполнения. Оператор контролирует статус заданий (система проверяет: выполнены ли все предыдущие работы, предшествующие данной) и запускает задания в работу. Если задание нельзя взять в работу «сейчас», оно может быть запущено частично. Пользователи системы в подразделениях имеют доступ к версии модуля, позволяющей закрывать задания (по партиям, полностью или частично).

На основании полученных данных по загрузке подразделений и выполнению работ, модуль планирования запускает процесс перепланирования проекта. Этот процесс может происходить автоматически или по указанию оператора.

Модуль мониторинга разрабатывается как элемент системы проектно-операционного управления предприятием.

## **Применение САПР в архитектурном проектировании для разработки чертежей и создания трёхмерных объектов**

Жуков П.В.

Научный руководитель – Хорошко Л.Л.

МАИ, г. Москва

Строительная отрасль находится на стадии изменения парадигмы, нацеленной на качественное увеличение производительности и эффективности: повышения качества и устойчивости отрасли в целом; снижение стоимости затрат на инфраструктуру; минимизацию стоимости жизненного цикла; снижение сроков строительства за счет эффективной кооперации и организации взаимодействия

всех участников на всех циклах строительного производства. Информационное моделирование зданий (BIM), интеллектуальная автоматизированная строительно-монтажная площадка, интеллектуальные системы оперативного мониторинга и контроля строительства - вот некоторые направления новой строительной парадигмы, с помощью которой станет возможной реализация уникальных и сложных проектов.

Информационное моделирование зданий (BIM) представляет собой технологию, которая в настоящее время набирает обороты в строительной отрасли. Это процесс коллективного создания, хранения и использования информационной базы данных по каждому элементу проектируемой модели до комплекса сооружений в целом, формирующей надежную основу для всех решений на протяжении жизненного цикла объекта (от самых ранних концепций до рабочего проектирования, строительства, эксплуатации и сноса). Подобные технологии облегчают процесс проектирования на всех его этапах, обеспечивая более тщательный анализ и контроль; позволяют в полной мере отслеживать изменения в состоянии строительной площадки, а также варьировать при необходимости трехмерные модели реализуемых комплексов.

Благодаря технологическому прогрессу и распространению технологии информационного моделирования зданий (BIM) появляются новые возможности для совершенствования процессов проектирования, например, технология 4D BIM (3D модель + время) позволяет связывать компоненты здания с календарным планом строительства и визуально отображать процесс строительства.

Научно-техническая гипотеза состоит в предположении возможности повышения эффективности информационного моделирования интегрированной автоматизации проектирования и календарного планирования в строительстве в части автоматизации создания 4D модели проекта, оптимизации стоимости и срока выполнения проекта на основе генетических алгоритмов (GA).

4D модель проекта симулирует возведение модели здания в соответствии с датами начала и окончания строительства. Симуляция проекта позволяет визуализировать процесс строительства, что наглядно передает информацию, легко воспринимаемую для понимания и представления всего процесса.

Как вариант, компьютерная среда может быть представлена из четырех приложений, которые связаны друг с другом и имеют широкое использование в проектной практике: Autodesk Revit, Autodesk Navisworks, Microsoft Excel и Microsoft Project.

Autodesk Revit используется для информационного моделирования зданий (BIM). Autodesk Navisworks используется для формирования подробных рабочих книг количественного анализа из интегрированного набора проектных данных. Кроме того, Autodesk Navisworks используется для моделирования 4D модели строительства и проверки компонентов 3D модели на пересечения. Microsoft Excel используется для сведения воедино информации из различных файлов и документов, а также для организации необходимой структуры информации и хранения данных. Microsoft Project используется для расчета календарного плана, вычисления даты начала и окончания работ и определения общей продолжительности проекта. Эти четыре приложения связаны друг с другом для передачи и обобщения данных.

Технология информационного моделирования дает качественно новый уровень автоматизации проектирования, которая предполагает создание единой информационной модели строительного объекта, ее использование и развитие на различных стадиях проектирования, а также на этапах строительства и эксплуатации. Разработка и использование строительной BIM-модели для поддержки целого ряда строительных процессов, разрешает такие вопросы комплексного использования информационных ресурсов как: объединение функциональных возможностей разных программных средств, создание информационных моделей различных процессов и объектов, развитие методов и алгоритмов обработки и представления информации. Дает такие преимущества как: выгода с точки зрения календарного планирования; составления смет, анализа рисков, оценки затрат и др. параметров; возможность более тесного взаимодействия участников процесса на всех этапах строительства и более совершенном управлении объектами.

### **Использование сферических координат в 3D печати**

Иванушкин Д.А., Кряжев П.А.

Научный руководитель – Харитоненков А.И.

МАИ, г. Москва

Прежде чем говорить о применении сферических координат в 3D печати, начнем с того, что такое 3D принтер и принцип его работы. 3D принтер – это устройство, которое послойно создает физический объект по виртуальной трехмерной модели. При помощи такого устройства можно изготавливать практически любые объекты. Необходимые модели разрабатываются при помощи специального программного обеспечения для трехмерного моделирования.

В обычной печати на 3D принтере, печатающая головка движется в Евклидовом пространстве (прямоугольной системе координат). Мы предлагаем заменить прямоугольную систему координат на сферическую. Для начала определим, что такое сферические координаты. Сферическими координатами - называют систему координат для отображения геометрических свойств фигуры в трёх измерениях посредством задания трёх координат ( $\rho$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$ ), где  $\rho$  — кратчайшее расстояние до начала координат,  $\theta$  и  $\varphi$  - зенитный и азимутальный углы соответственно.

Преимущество использования сферических координат, заключается в том, что мы получаем более быструю печать изделий окружной формы, а также изготовленные изделия будут иметь большую детализацию, относительно изделий напечатанных обычным способом.

Для реализации сферических координат в 3D печати, мы рассматриваем следующую схему установки. Так как сферические координаты основываются на двух углах и радиусе, мы делаем вращающуюся рабочую поверхность (это будет угол  $\varphi$ ). Далее эта поверхность может опускаться вниз относительно своего изначального положения и возвращаться в исходное положение (таким образом, реализуется угол  $\rho$ ), а сама печатающая головка ходит по дуге направляющей рельсы (так мы получаем второй угол  $\theta$ ).

Данная технология разрабатывалась на примере метода селективного лазерного спекания. Селективным лазерным спеканием называют метод, когда объект формируется из плавкого порошкового материала (пластик, металл) путем его плавления под действием лазерного излучения. Порошкообразный материал наносится на платформу тонким равномерным слоем, после чего лазерное излучение формирует на поверхности текущий слой разрабатываемого объекта. Затем платформа опускается на толщину радиуса и на неё вновь наносится порошкообразный материал.

Разработана схема установки 3D принтера, печатающая с использованием сферических координат.

### **Автоматизация размещения разногабаритных элементов на печатной плате цифровых электронных средств**

Камалетдинов Р.М.

Научный руководитель – Суздальцев И.В.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В настоящее время, процедура размещения элементов на печатной плате электронных средств (ЭС), реализуется с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР). Наиболее популярные программные продукты, используемые при проектировании ЭС (Mentor Graphics Expedition PCB, Mentor Graphics PADS, Zuken CR-8000, Zuken CAMSTAR, Zuken CR-8000), не поддерживают функции автоматизированного размещения элементов на печатной плате. Другие программы (Altium Designer, National Instrument Ultiboard) при автоматизированном размещении элементов не позволяют учитывать критерии электромагнитной и тепловой совместимости.

Данная работа посвящена разработке подсистемы автоматизированного размещения разногабаритных элементов на печатной плате. В рамках процедуры размещения происходит поиск оптимального месторасположения на печатной плате элементов принципиально-электрической схемы ЭС. Критериями качества при поиске оптимального варианта размещения являются следующие: минимум расстояния между максимально связанными элементами; максимальное число соединений между элементами, размещаемых в соседних позициях, либо в позициях, указанных разработчиком; минимум числа соединений, длина которых больше заданной; минимум числа пересечений связей при произвольной их конфигурации; равномерность распределения связей по монтажному пространству; максимум числа цепей простой конфигурации. Использование данной группы критериев направлено на обеспечение благоприятных условий для решения последующей процедуры трассировки межсоединений печатных плат. Для обеспечения нормального теплового режима ЭС предлагается использовать критерий максимизации расстояния между теплонагруженными и теплочувствительными элементами, а также критерий равномерного тепловыделения элементов по монтажной плоскости печатной платы. В качестве критерия электромагнитной совместимости при решении задачи размещения предлагается минимизировать суммарную площадь контуров, образованных межсоединениями элементов. Площадь контура вычисляется как площадь ориентированного многоугольника,

вершинами которого являются центры размещаемых элементов. Использование данного критерия позволит снизить уровень электромагнитного излучения от межсоединений, а также их восприимчивость к внешним электромагнитным воздействиям.

В данной работе исследуется качество и эффективность решения многокритериальной задачи размещения, с использованием эволюционного и пчелиного алгоритмов.

Основными результатами данной работы являются: сформулированы новые критерии и ограничения электромагнитной совместимости для задачи автоматизированного размещения; разработаны модифицированные бионические алгоритмы решения многокритериальной задачи автоматизированного размещения элементов на печатной плате.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что эволюционный алгоритм превосходит другие бионические алгоритмы размещения (муравьиные и пчелиные алгоритмы) на 3-5% по качеству результирующих решений.

### **Информационное сопровождение сетевой модели производственного процесса**

Кожанов М.А.

Научный руководитель – Цыркв Г.А.

МАИ, г. Москва

Производственный процесс – это совокупность целенаправленных действий работников на производстве. Производственный процесс состоит из нескольких процессов: основные, вспомогательные и обслуживающие. Основные процессы – это процессы, в ходе которых изменяется размеры, формы и физико-химические свойства объекта изготовления. Вспомогательные – это процессы, которые обеспечивают непрерывную работу основных процессов (электричество, ремонт оборудования и т.д.). Обслуживающие процессы связаны с обслуживанием основных и вспомогательных процессов (логистика, хранение, технический контроль и т.д.).

Сетевая модель – это план выполнения определенных операций или работ, которые взаимосвязаны между собой в специфической форме сети. Сетевая модель позволяет определить с любой необходимой степенью детализации состав работ комплекса и порядок выполнения их во времени. Основной отличительной особенностью сетевой модели является четкое представление всех временных взаимосвязей операций. Также сетевые модели могут решать различные задачи по планированию и прогнозированию. Эти модели служат для построения специальной системы организационного управления, которые называются системы сетевого планирования и управления.

Сопровождение сетевой модели в производственном процессе позволяет повысить экономическую эффективность использования ресурсов производства организации, в улучшении системы управления и контроля. В результате использования этой сетевой модели достигается более полное изучение влияния отдельных факторов, которые влияют на экономическую составляющую.

Пример работы сопровождения сетевой модели в производственном процессе будет применен в моей выпускной квалификационной работе магистра в

области пассажирских автоперевозчиков. В этой области был выбран крупнейший холдинг в России ОАО «Группа Автолайн». Этот холдинг включает в себя 24 предприятия, эти предприятия осуществляют перевозку пассажиров в Москве и Московской области. Ежедневно на маршруты выезжает около 1600 единиц подвижного состава. На предприятии трудится около четырех тысяч человек.

С помощью сетевой модели можно определить наиболее важные участки в маршрутах пассажирских перевозок. Это позволит увеличить денежную прибыль с маршрутов, повысить контроль движения транспорта на маршруте, уменьшит недовольство граждан, которые не могут попасть в забитый транспорт и повысит их лояльность к компании.

Данные со специального оборудование, которые будут вмонтированы в транспорт, будут посылать информацию по 2g/3g сетям на сервер. Сервер, в свою очередь, будет принимать, и обрабатывать данные, заносить информацию в базу данных Microsoft SQL. Программа будет получать из базы данные, и обрабатывать, структурируя элементы по времени и позиции. После обрабатывания данных к примеру, с одного маршрута, можно определить наиболее критичные позиции.

## **Управление автоматизированной системой дома с помощью голоса**

Кравченко Э.В.

Научный руководитель – Николаев П.Л.

МАИ, г. Москва

В наш век информационных технологий мы просто не можем представить свою жизнь без разнообразных и полезных электрических устройств. Сегодня они являются нашими надежными помощниками практически во всех сферах деятельности. И ещё одно яркое подтверждение этому – система «умный дом».

Под умным домом подразумевается система, которая обязана распознавать конкретные ситуации, происходящие в здании, и определенным образом на них реагировать. В умном доме все подсистемы объединены в единый комплекс.

В настоящее время управляющая система умного дома способна обеспечить управление и мониторинг следующих систем дома или здания:

- Отопление, вентиляция, кондиционирование (обеспечивает регуляцию температуры, влажности и поступления свежего воздуха);
- Освещение (контролирует уровень освещенности в помещении, в том числе для экономии электроэнергии за счет рационального использования естественного освещения);
- Электропитание здания (обеспечивает бесперебойное питание, в том числе за счет автоматического переключения на альтернативные источники электропитания);
- Безопасность и мониторинг (видеонаблюдение, контроль доступа помещением, охранно-пожарная сигнализация, GSM-мониторинг);
- Управление (мультирум, удаленное управление электроприборами, приводами механизмов и системой автоматизации, механизации здания).

Существует множество способов управления умным домом, например:



- Управление посредством настенных клавишных панелей (напоминают классические выключатели, однако каждая из кнопок является программируемой).
- Управление посредством настенных панелей с клавишами и экраном (небольшой, но удобный ЖК экран, обладающий большим функционалом).
- Управление с помощью настенных панелей с экраном и роторным вращателем для выбора режимов (вращающая ручка позволяет выбирать разделы умного дома, которым вы собираетесь управлять, например: освещение, климат).
- Управление с помощью сенсорных умных выключателей (в основном служат украшением интерьера).
- Управление через смартфоны и планшеты (один из способов следить за умным домом на расстоянии с помощью web-интерфейса, либо специальное приложение для планшетов и смартфонов).
- Управление через sms (этот вариант хорош, когда нет доступа к сети интернет, но есть необходимость и желание получить информацию о состоянии дома или квартиры).

Умный дом с функцией голосового управления позволит обеспечить его обитателей большим комфортом и безопасностью. Всё, что вам нужно, это всего лишь отдавать команды на понятном языке, а система будет их выполнять. При этом дом с голосовым управлением подчиняется как универсальным командам, так и введенным самостоятельно. И так как умный дом разработан с помощью новейших технологий, он является стабильным и долговечным.

## **Применение среды проектирования Autodesk Fusion 360 для трехмерного моделирования**

Краснов А.М.

Научный руководитель – Хорощко Л.Л.

МАИ, г. Москва

Fusion 360 является облачным CAD/CAM инструментом для трехмерного моделирования. Это первое ПО в своем классе, появившееся на рынке за последние два года. Оно позволяет команде разработчиков и заказчикам работать вместе над конструкторскими, инженерными и промышленными решениями в рамках единой интегрированной платформы с использованием различных электронных устройств. Новый способ взаимодействия дает возможность каждому пользователю оперировать полным объемом данных, знать обо всех деталях проекта и работать совместно с любым его участником в любое время. С Fusion 360 уходят в прошлое традиционное управление данными и фрагментированный способ совместной работы над проектами.

Autodesk Fusion 360 — это веб-обстановка для совместных разработок в области конструирования и моделирования. Мы имеем дело с интеграцией fusion-технологии прямого моделирования, над которой в Autodesk работали несколько последних лет, с технологией T-сплайнов, которую компания недавно приобрела.

Вот несколько характеристик нового программного продукта:

- Fusion 360 управляется на основе веб-обстановки. Вы «логинитесь» и видите свои нынешние проекты (собственные или те, в которых вас пригласили участвовать);
- система работает под Windows и OS X;
- инструментарий собран в легко загружаемом приложении, работа с которым возможна только через веб-страницу самой системы 360. Работа ведется с отдельным проектом. Данные загружаются в проекты и становятся общедоступными: в любом месте, где вы «залогинились» (без привязки к компьютеру) и любому человеку, которому вы предоставили доступ;
- данные версифицируются, так что у вас есть ясное и недвусмысленное понимание того, как развивается проект;
- данные можно импортировать из многих систем, включая не только естественно подразумеваемые форматы STEP и IGES, но и Rhino, Pro/Engineer (Creo) Siemens NX, SolidEdge и SolidWorks. Для импорта файлов вам необходимо перетащить соответствующие иконки и загрузить их на сервер, что может потребовать некоторого времени;
- средства концептуального моделирования, для тех, кто в них реально нуждается, выглядят отлично. Они реализованы на основе двух базовых технологий. С одной стороны, вы пользуетесь обычным твердотельным и поверхностным моделированием, с другой — применяется технология T – сплайнов;
- динамическое моделирование уже присутствует. Визуализация и рендеринг, как на основе собственных инструментов, так и сторонних приложений (основа для визуализации уже встроена). Все это будет работать и в партнерстве с GrabCAD.

Т.о., можно сказать, что Fusion 360 — это инструменты проектирования профессионального уровня, предназначенные для коллективной работы. Именно так в будущем будут работать проектировщики, а при необходимости можно получить доступ к системе и к данным везде, где есть необходимость и можно работать в тесном взаимодействии с коллегами и друзьями.

### **Разработка лабораторно-практического комплекса для изучения автомобильного двигателя и диагностики его информационных и электрических цепей**

Крикотин Д.А., Мишина А.В.

Научный руководитель – Силуянов А.В.

МАИ, г. Москва

За последние годы в области автомобильного двигателестроения был сделан огромный шаг вперед. В начале XXI века были стандартизованы основные требования к производителям автомобилей – все автомобили с бензиновыми и дизельными двигателями должны быть оснащены системой бортовой диагностики (OBD). При этом на них должно быть установлено стандартное программное обеспечение, что значительно упрощает диагностику автомобиля.

Системы OBD (On-Board Diagnostics) обеспечивают контроль значительной части функциональных систем автомобиля. Для работы таких систем требуется большое количество датчиков, контролирующих электронику двигателя и

различных систем очистки отработавших газов. Выброс отработавших газов рассчитывается по формуле:  $(0,43 * \text{фаза1} + 2) + (0,57 * \text{фаза2} + 3)$ , где фаза1 – время выбросов. С помощью OBD автомобиль поддерживает постоянный контроль и самодиагностику систем безопасности водителя и пассажиров, а также нормальную работу двигателя и всех систем. Информацию, которая транслируется через каналы системы OBD, можно считать на автосервисе с помощью специального диагностического устройства.

Диагностическое устройство – это сложное специализированное оборудование, включающее в себя функции нескольких приборов: амперметра, омметра, вольтметра, осциллографа, компьютера и др. Мультимарочное диагностическое устройство может быть использовано на разных моделях автомобилей. С помощью диагностического устройства можно провести полное сканирование состояния автомобиля в целом, как и двигателя в частности, внести изменения в программное обеспечение бортового компьютера автомобиля.

Для работы с диагностическим устройством и для понимания работы двигателя и взаимосвязей его с остальными частями и системами разрабатывается лабораторно-практический комплекс, основу которого составляют:

- теоретический материал, используемый для лабораторных исследований, представлен в виде презентаций и обучающих видео-роликов, содержит информацию об устройстве автомобильного двигателя, особенностях деталей автомобиля, программных составляющих, информационных шинах автомобильного двигателя, применении диагностических устройств и т.д.
- лабораторный стенд, который эмулирует работу двигателя и влияющих на его работу агрегатов и систем, включает в себя программный комплекс. На лабораторном стенде студенты получают практические навыки в исследовании работы двигателя разного типа, научиться диагностировать состояние двигателя, используя диагностический сканер, устранять неисправности.

Комплекс может применяться для обучения студентов профильного образования, повышения квалификации специалистов автосервисов, участников специализированных соревнований.

## **Моделирование сборочных устройств для сборки изделий авиационного и машиностроения**

Крынина Т.А.

Научный руководитель – Можегова Ю.Н.

КГТА им. В.А. Дегтярева, г. Ковров

Системы автоматизированного проектирования (САПР), базирующиеся на технологиях объемного параметрического моделирования, уже давно стали промышленным стандартом для проектирования конкурентоспособной продукции.

Безусловно, будущее самолетостроения, машиностроительных предприятий России и предприятий, работающих на космос, невозможно без автоматизации и

роботизации производства. На фоне этой тенденции развития машиностроения нашей страны наиболее актуально стоит задача разработки роботизированной техники, к элементам которой относятся схваты роботов.

Схват – это зажимное механическое захватное устройство, приводимое в действие от пневмо- или гидроцилиндров, захватывание и удержание объекта в котором осуществляется за счет взаимного перемещения подвижных частей.

Одним из наиболее оптимальных способов разработки конструкции схватов является процесс моделирования.

Это позволяет исключить необходимость создания реальной конструкции схвата и проведения эксперимента по оценке его функционирования, что значительно снизит материальные затраты и могут быть использованы для разработки других видов схватов, работающих в аналогичных или отличных от данного варианта условиях.

При проектировании схвата необходимо определить исходные параметры, выполнить расчет по выбранной методике, построить трехмерную модель и чертеж схвата. Поэтому в первую очередь необходимо построить структурную схему проектирования схвата робота-манипулятора.

На основе построенной структурной схемы необходимо разработать алгоритм программного обеспечения для автоматизированного проектирования схвата.

Алгоритм расчета, представляет собой порядок вычисления конструктивных параметров схвата робота-манипулятора по определённой методике.

Алгоритм построения трехмерной модели подразумевает под собой создание 3D сборки схвата из составных частей (пневмоцилиндра) и остальных элементов (звеньев), получаемых с помощью различных операций: вытягивания, вращения, выдавливания и т.д.

Алгоритм построения двухмерной модели, включает в себя построение шаблона стандартного чертежа, главного вида, вида сверху, местных разрезов, текстовых надписей.

Автором разработано программное обеспечение в среде разработки Borland Delphi с использованием инструментальных средств разработки приложений (библиотек конструктивов, прикладных САПР) на базе системы КОМПАС.

Для начала расчета необходимо ввести необходимые параметры заготовки, а из выпадающего списка выбрать материал. Далее нужно указать параметры, которым должен соответствовать проектируемый хват.

На этом этапе программа рассчитывает необходимые параметры схвата.

Следующим этапом программа выдает результаты её работы. Нажав на кнопку «Построить модель в Kompas -3D» пользователь получает 3D- модель схвата. Нажав на кнопку «Построить модель в Kompas -2D» программа выдает чертеж схвата. Нажав на кнопку «Вывести отчёт в MS Word» программа выведет отчет с подсчитанными ей параметрами.

Таким образом, предлагаемое программное позволяет выполнить расчет параметров проектируемого схвата робота – манипулятора и построить его трехмерную модель и чертеж.

## **Автоматизация работы технической поддержки на основе рекомендаций ИТЛ**

Кузнецов С.А.

Научный руководитель – Квашнин В.М.

МАИ, г. Москва

В современном мире автоматизация работы технической поддержки актуальна, так как является важным шагом к развитию компании. В компаниях внедряется все большее количество систем, программного обеспечения, направленных на увеличение производительности труда сотрудников. Зачастую сотрудники не готовы к такому объему новой информации для изучения в совокупности с работой, которую им необходимо выполнять. Вместе с этим внедрение систем не всегда проходит гладко, часто на доработку и устранение ошибок при наладке после внедрения тратится больше времени, чем на само внедрение. Для того чтобы помочь сотрудникам справиться с большим количеством новой информации и вовремя отреагировать на неполадки в работе различных систем существует техническая поддержка компании.

Работа технической поддержки компании связана с большим количеством операционной стандартизированной деятельности. При выполнении однотипной работы качество всегда снижается. Основная задача – освободить сотрудников от операционной деятельности, повысить заинтересованность в работе возможностью работать творчески над нестандартными задачами. Так же невозможно постоянно увеличивать штат технической поддержки при возрастании нагрузки, поэтому необходимо освобождать время уже работающего персонала для выполнения новых задач. Процесс автоматизации цикличен и фактически бесконечен, при появлении нового автоматизированного процесса появится следующий, который получится автоматизировать на базе первого.

ИТЛ – библиотека, описывающая лучшие из применяемых на практике способов организации работы IT-подразделений или компаний, занимающихся предоставлением услуг в области информационных технологий. Некоторые полностью подходят для внедрения в нашей стране, некоторые не подходят совершенно. Но точно можно сказать только одно: при правильном анализе и использовании рекомендаций ИТЛ внедрение новых процессов произойдет намного быстрее и качественнее, чем при попытке сформировать эти процессы, основываясь только на своем опыте.

## **Анализ деятельности службы материально-технического обеспечения и разработка процессной модели**

Кузнецова К.И.

Научный руководитель – Цырков Г.А.

МАИ, г. Москва

Служба материально-технического обеспечения (МТО) занимает важное место в деятельности любого предприятия. Миссия службы - бесперебойное обеспечение цехов и отделов предприятия необходимыми материалами в полном объеме.

При этом служба МТО выполняет следующие задачи: оформление договоров с поставщиками; организация тендерной деятельности; ведение учета закрытия дефицита; приход товарно-материальных ценностей на склад; организация выдачи имеющихся материалов на складе; проведение инвентаризации; оформление командировок (в т.ч. участие в них); ведение документооборота.

В крупных промышленных организациях используется широкий спектр различных материалов, которые имеют разные характеристики и способы применения. В связи с этим принято формировать отдельные сектора, где товарно-материальные ценности группируются по однородным признакам, а затем каждому экономисту закрепляют конкретную номенклатуру.

Обеспечение цехов и отделов завода товарно-материальными ценностями происходит на основании норм расхода материала на изготовление одной единицы продукции.

Либо, в том случае если товарно-материальные ценности применяются на вспомогательное производство и нормы на него не заложены в конструкторской документации, то закупка и выдача осуществляется на основании годовых заявок цехов, подписанных начальниками цехов и согласованных начальниками производства.

Одним из звеньев службы МТО является складское хозяйство, к функциям которого относится: приемка, хранение, учет и выдача товарно-материальных ценностей.

Также, в подчинении службы МТО находятся несколько представителей бюро технического контроля. Они располагаются на складах и ведут партионный учет товарно-материальных ценностей, сдают материал на входной контроль, следят за соответствием товарно-материальных ценностей установленным техническим условиям и стандартам. В случае выявления несоответствий оформляется ведомость замечаний, а затем проводятся мероприятия по их устранению, либо товар возвращается обратно поставщику.

Кладовщик ведет учет товарно-материальных ценностей с помощью картотеки, где заносится вся информация по приходу (номер приходного ордера, номер партии, дата поставки, количество) и расходу (номер цеха, номер требования-накладной, кол-во, дата выдачи).

Также, вся деятельность службы снабжения ведется в электронном виде с помощью следующих систем:

- Oracle E-Business Suite (OEBS);
- 1С - Информационная система финансово-экономического управления;
- Система планирования и мониторинга.

В процессе работы отдела снабжения возникает ряд проблем, которые ухудшают деятельность всего предприятия в целом. В связи с этим возникает потребность в оптимизации процессов. Но для того чтобы улучшить процесс, сначала необходимо понимать, как он работает в данный момент.

С помощью программы ARIS была разработана модель бизнес процесса «as is» («как есть») службы МТО. Анализируя модель, появляется возможность определения информационных объектов используемых в процессах работы службы МТО. Модель существующих процессов позволяет выявить проблемные места, в работе службы, а так же подготовить перечень мероприятий необходимый для оптимизации деятельности.

## **Автоматизированное проектирование зубрезных долбяков**

Латкина В.Г.

Научный руководитель – Можегова Ю.Н.

КГТА им. В.А. Дегтярева, г. Ковров

Долбяки – это специальный металлорежущий инструмент, который применяется при нарезании зубьев на различные детали цилиндрической, реечной и дисковой формы. Долбяки используются для нарезания зубчатых венцов шевронных колёс, зубчатых колёс с выступающими фланцами изделий авиа- и машиностроения.

Долбяк является одним из точных и высокопроизводительных инструментов для нарезания зубчатых колёс методом обката, имеет сложный профиль режущей кромки и конструкции в целом, поэтому целесообразно автоматизировать процесс его проектирования.

Разработка алгоритма программы для проектирования долбяка делится на 2 этапа.

1 этап:

- Определение способа взаимодействия с поверхностями контакта.
- Определение габаритных размеров(диаметр и ширина) инструмента.
- Расчет и построение профиля инструментальной поверхности.

2 этап:

- Проектирование инструмента в графической системе.
- Профилирование формообразующих элементов инструмента.
- Расчет погрешности профилирования формообразующих инструментов и суммарной погрешности. Проверка соблюдения условия точности профилирования.
- Проверочные расчеты
- Назначение технических требований на инструмент.
- Определение основных эксплуатационных показателей проектируемого инструмента.
- Построение чертежа инструмента.
- Технико-экономическое сравнение спроектированного долбяка с уже существующими.

Схема процесса проектирования выглядит так: Исходные данные → Определение дополнительных технологических параметров зубчатого колеса→ Проектный расчет долбяка→ Определение параметров долбяка в исходном сечении→ Определение исходных расстояний→ Определение чертежных размеров долбяка по передней поверхности→ Проверочный расчет долбяка.

На основе структурных схем разрабатываем программное обеспечение для автоматизированного проектирования долбяка с использованием КОМПАС-3D.

Процесс построения 3D модели основывается на стандартном шаблоне долбяка, который в процессе изменения данных будет меняться. Далее мы используется профиль детали, текстовые, технологические и размерные надписи для параметризации детали, для передачи этих параметров в расчетный блок программы.

Разработка программных кодов для проектирования долбяка.

Программное обеспечение создается в среде разработки Borland Delphi с использованием инструментальных средств разработки приложения на базе системы КОМПАС. Для работы Delphi с системой КОМПАС, будем использовать OLE-механизм.

Программа представляет собой проект, состоящий из модулей расчета, экспорта в формат Word, построения трехмерной модели и чертежа.

Итогом проектирования будет пользовательский интерфейс к которому будут подключены все модули. Для проектирования нового долбяка пользователь заполнит поля: число зубьев обрабатываемого, число зубьев сопряженного, угол профиля на делительном диаметре, угол наклона зубьев, номинальный диаметр окружности, высота рабочей части, а так же выберет вид долбяка, чашечный или дисковый. Нажмет на «Расчет» и расчетный модуль проведет расчет, передаст данные в программу КОМПАС и выведет на экран пользователя 3D модель и чертеж инструмента с расчетами в MsWord.

### **Сетевая информационная среда бортовых систем управления**

Ле Ба Чунг, Нгуен Тхань Чунг

Научный руководитель – Преображенский Н.Б.

МФТИ, г. Москва

Рассмотрены аспекты внедрения сетевых технологий в бортовых системах управления (БСУ). Обеспечение прозрачного механизма взаимодействия между узлами БСУ, напрямую скажется на качестве ее функционирования. Фактически, будет решаться задача создания бесконфликтной коммуникационной среды между компонентами системы управления. Актуальность поставленной задачи обусловлена не только постоянным развитием сложности объектов управления, но и повышенными требованиями к качеству собственно управления объектами. Практическая ценность оптимизации сетевой информационной среды БСУ заключается в том, что она позволит обеспечить повышенный уровень точности управления, при незначительном усложнении структуры системы, с сохранением ее целевой функциональности.

Описаны различные приемы аппаратной поддержки сетевых решений, обеспечивающие повышение пропускной способности информационной среды за счёт: исключения арбитражных процедур, исключения управляющей информации из пакетов, организации обмена центрального процессора и периферийных устройств через укрупненные пакеты состояния и управления. Оптимизация форматов и способов организации связей в информационной среде БСУ основана на статичных характеристиках обменов информации между составными частями бортовых систем управления. Предлагаемый подход обеспечивает режим согласованной работы всех составных частей БСУ.

Предложенная реализация узлов бортовых сетей на FPGA позволяет достичь минимальных, стабильных задержек передачи данных, повышает надежность функционирования бортовых систем управления и контролируемость сетевой информационной среды. Возможность быстрой передачи данных между узлами БСУ повышает качество управления объектом.

Список литературы



Преображенский Н.Б., Ле Ба Чунг, Чан Ван Хань, Дам Чонг Нам. Некоторые особенности реализации сетевых решений в системах управления. // Сборник «Международная конференция Инжиниринг & Телекоммуникации – En&T 2014. Тезисы докладов. Москва/Долгопрудный, 26-28 ноября 2014» - М.: МФТИ. - 2014. - С.217-218.

Дам Чонг Нам. Комплексирование MODBUS и PROFIBUS в промышленных сетях. // Сборник «XL ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодежной научной конференции в 9 томах. Москва, 7-11 апреля 2014г.» - М.: МАТИ. - 2014. - Т.5. - С.218-219.

## **Бионические алгоритмы для решения задачи размещения элементов на печатной плате электронных средств**

Макеев П.А.

Научный руководитель – Суздальцев И.В.

КНИТУ-КАИ им. Туполева, г. Казань

Постоянное совершенствование электронных средств в отношении таких показателей, как быстродействие, степень интеграции и надежности усугубляет проблемы по обеспечению электромагнитной и тепловой совместимости.

Игнорирование данных проблем на этапе проектирования печатных плат электронных средств приводит к нарушению функционирования или полному выходу из строя конечного устройства, что показывает актуальность данной работы.

Цель данной работы заключается в повышение качества и эффективности процедуры автоматизированного размещения элементов на печатные плате электронных средств.

Размещение элементов – это выбор такого их взаимного расположения, при котором наилучшим образом учитываются требования, предъявляемые к электронным средствам. Оптимальное размещение элементов повышает надежность электронных средств, позволяет уменьшить габариты конструктивных модулей, минимизировать взаимные наводки, задержки сигналов, уменьшить общую длину соединений.

Для решения поставленной задачи разрабатывается подсистема автоматизированного размещения электронных элементов на печатной плате. Работа данного модуля основывается на использовании бионических алгоритмов (муравьиный, пчелиный и генетический алгоритмы), а также специализированных критериев и ограничений, направленных на обеспечение тепловой и электромагнитной совместимости.

Бионические алгоритмы представляют собой относительно новый, но весьма перспективный инструмент решения сложных многокритериальных оптимизационных задач, обладающих большой размерностью исходных данных.

В рамках работы проводились исследования эффективности бионических алгоритмов для задачи размещения элементов на печатной плате электронного средства.

Исследование №1. Сравнение эффективности муравьиного, генетического, пчелиного алгоритмов и алгоритма слепого поиска.

Лучшее значение целевой функции было найдено с использованием генетического алгоритма, но временные затраты на решение оказались максимальны. Муравьиный алгоритм показал оптимальное соотношение качества полученного решения и временных затрат. Бионические алгоритмы показали свою эффективность относительно алгоритма слепого поиска, как по качеству решения, так и по временным параметрам.

Исследование №2. Исследование эффективности теплового критерия размещения элементов на печатной плате электронных средств.

При применении данного критерия наблюдается снижение максимальной температуры на элементах, а также уменьшение перепадов температур по всей печатной плате, что способствует стабильному функционированию конечного устройства.

Исследование №3. Исследование эффективности критерия электромагнитной совместимости.

Разработанный критерий позволяет значительно уменьшить суммарную площадь контуров на печатной плате, что способствует уменьшению влияния электромагнитных помех.

## **Существующие подходы к распознаванию лиц**

Михеюшкин В.И.

Научный руководитель – Николаев П.Л.

МАИ, г. Москва

Из большого разнообразия существующих алгоритмов, выделяется общая структура процесса распознавания лиц. Сначала нужно найти на изображении лицо и локализовать его. Непосредственно при распознавании детектированного лица используется геометрическое и яркостное выравнивание, нахождение признаков и сравнение их с эталонами (само распознавание). Алгоритмы различаются в нахождении признаков, и как они будут сравниваться между собой.

Сравнение эластичных графов.

Метод сопоставляет эластичные графы, которые описывают изображение лица.

СММ.

Скрытые марковские модели используют статистические свойства сигналов и учитывают непосредственно их пространственные характеристики

Нейронные сети

В данный момент самыми популярными и продуктивными являются сверточные нейронные сети,

Метод главных компонент

Один из самых известных и хорошо изученных алгоритмов - метод главных компонент. Изображение лица представляется вектором малой размерности, который сравнивается с эталонным вектором.

Active Shape Models

Активная модель формы заключается в том, что учитывает статистические связи между расположением антропометрических точек. Человек размечает

расположение антропометрических точек. Точки пронумерованы в одинаковом порядке, на каждом изображении.

При распознавании лиц необходимо учитывать такие факторы, как:

- Освещенность;
- Положение головы.

Эффективность большинства алгоритмов примерно одинакова и зависит от съемки:

- Фронтальные изображения, сделанные в один день ~95%;
- Изображения с разных фотоаппаратов при разном освещении, точность ~80%;
- Изображения с разницей в год ~50%.

## **Разработка программного комплекса для визуализации трёхмерных сцен с реализацией алгоритмов динамической подгрузки**

Морозов М.В.

Научный руководитель – Хорошко Л.Л.

МАИ, г. Москва

Современные трёхмерные сцены могут иметь достаточно большую детализацию, однако относительно небольшой объём оперативной памяти не позволяет загружать их целиком. В связи с этим возникает необходимость динамической подгрузки содержимого сцен.

Для решения данной задачи необходимо:

- обеспечить возможность асинхронной работы с ресурсами;
- определить стратегию предварительной загрузки;
- определить стратегию выгрузки данных при отсутствии в них необходимости или при нехватке памяти.

Для определения необходимости в конкретном ресурсе в данный момент сцена разбивается на зоны равного объёма, содержащие как уникальные объекты, так и данные, которые могут использовать другие участки сцены. Критерием начала предварительной загрузки является приближение к зоне на определённое расстояние, выбираемое с учётом скорости перемещения камеры, объёма доступной оперативной памяти и скорости чтения с внешних накопителей. Так как в некоторых случаях невозможно обеспечить наличие данных в памяти со стопроцентной вероятностью, при отображении необходимо либо использовать ресурс-заглушку, либо не отображать объект вовсе, если создание последней невозможно.

Для реализации фоновой загрузки содержимого сцены с достаточной производительностью также необходимо определить, данные какого рода нуждаются в динамической подгрузке, а какие достаточно удерживать в памяти всё время работы – в качестве первых выбраны геометрия, анимации объектов и текстуры, исключая уменьшенную копию последних, которая загружается на этапе инициализации сцены вместе с шейдерами, строковыми и прочими ресурсами.

При использовании данного подхода в процессе работы приложения возникает проблема с фрагментацией кучи, которую можно решить применением специализированных аллокаторов, выделяющих для блоков

разного размера память из различных пулов с последующей периодической дефрагментацией в них.

Одной из проблем является крайне низкая скорость доступа к данным на устройствах хранения - для минимизации задержек при обращении к ним необходимо применять сортировку очереди загрузки ресурсов в соответствии с их приоритетностью и местоположением, группировка файлов, обычно использующихся совместно, а также их компрессия с распаковкой уже после загрузки в оперативную память.

Для создания иллюзии существования всех объектов сцены без повышенных затрат оперативной памяти принято решение использовать различные уровни детализации моделей, а также эффекты тумана и глубины резкости.

С учётом указанных выше пожеланий был разработан программный комплекс на языке C++ с использованием OpenGL для визуализации GLSL в качестве языка для программирования шейдеров.

### **Использование технологии LabVIEW Soft Motion для автоматизации проектирования авиационных систем**

Мусин О.И.

Научный руководитель – Полянский В.В.

МАИ, г. Москва

Работа посвящена методологии использования программного комплекса National Instruments Soft Motion совместно с системой моделирования SolidWorks и концепции использования технологии «виртуальных датчиков».

NI Soft Motion, представляющий из себя отдельный модуль как для среды и языка программирования LabVIEW, и так и для среды SolidWorks, интегрируется в каждый из них и позволяет в графической среде программирования моделировать поведение сложных технических систем. Благодаря этому, появляется возможность моделировать динамику системы с учетом массовых и инерционных показателей, учитывать периодические явления, такие, как например, вибрация, и другие факторы, учет которых позволит сократить возможные риски и недочеты после непосредственного изготовления узла изделия. Технология LabVIEW включает в себе так называемое «виртуальное прототипирование», которое дает возможность визуализировать и оптимизировать архитектуру системы и попробовать различные подходы перед тем, как создать систему «в железе». Интеграция модуля в SolidWorks облегчает создание программы управления сборкой за счет использования уже имеющихся зависимостей между деталями.

В результате работы был разработан программно-аппаратный комплекс, реализующий человеко-машинное взаимодействие и позволяющий управлять движением модели вертолетной артиллерийской установки за счет отклонения ручки специального контроллера. Программная составляющая включает в себя специальный драйвер, обеспечивающего преобразование сигналов, поступающих от контроллера, в вид, «понятный» системе LabVIEW. Данная разработка является базой для дальнейшего использования модуля NI Soft Motion и реализации концепции «виртуальных датчиков». Данная идея предполагает использования в твердотельной модели специальных упрощенных

объектов, которые будут наделены специальными свойствами в системе LabVIEW за счет модуля NI Soft Motion. За счет этого, в программной составляющей можно осуществлять съем показаний с такого рода датчиков так, как если бы это были настоящие датчики, установленные на реальном механизме.

## **Многослойная многокритериальная трассировка печатных плат с использованием алгоритма муравьиных колоний**

Никитин Т.О.

Научный руководитель – Суздальцев И.В.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Трассировка межсоединений является заключительной и наиболее сложной задачей этапа конструкторского проектирования печатных плат электронных средств. В настоящее время, процедура трассировки, при конструировании печатных плат электронных средств, реализуется с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР). Существующие программные продукты (Mentor Graphics, Altium Designer, Zuken, National Instruments и др.), в большинстве случаев, позволяют выполнить автоматизированную трассировку лишь 50-70% от общего числа проводников печатной платы. При этом, трассировку оставшихся трасс приходится осуществлять проектировщикам печатных плат вручную, что, в некоторых случаях, оказывается весьма затруднительно. Кроме того, при решении задачи трассировки приобретает важное значение, учет критериев и ограничений электромагнитной совместимости.

Данная работа посвящена разработке подсистемы автоматизированной трассировки печатных плат. Для обеспечения целостности сигнала используется подход, который основывается на оптимальном решении задачи автоматизированной трассировки печатных плат с учетом большого числа критериев и ограничений. Критериями задачи трассировки печатных плат являются следующие: минимум суммарной длины соединений; минимум межслойных переходов; минимум числа изгибов проводников; минимальная протяженность параллельных участков проводников; минимальная площадь контуров, образованных межсоединениями на печатной плате; равномерность распределения проводников на печатной плате; минимум числа неразведенных трасс. Реализация представленных критериев позволит уменьшить длительности задержек и число отражений сигналов в межсоединениях, снизить влияние перекрестных помех и внешних электромагнитных воздействий, а также понизить уровень излучения электромагнитных полей проектируемых печатных плат.

Для эффективного решения многокритериальной трассировки используется муравьиный алгоритм оптимизации. Основная идея муравьиных алгоритмов заключается в моделировании поведения колонии муравьев, при поиске кратчайшего пути от муравейника к источнику пищи. Для решения задачи трассировки, с использованием муравьиного алгоритма, формируется трехмерный граф-сетки  $G(X,H)$ , моделирующий монтажное пространство многослойной печатной платы. В узловых вершинах графа могут располагаться

контактные площадки выводов элементов или межслойных переходов печатной платы. Ребра графа соответствуют элементарным отрезкам межсоединений. Таким образом, задача трассировки межсоединений печатной платы сводится к поиску оптимального пути между двумя вершинами, соответствующим эквипотенциальным контактным площадкам. Путь, построенный муравьями между двумя вершинами графа, определяет конфигурацию проводника печатной платы.

Основными результатами данной работы являются: сформулированы новые критерии и ограничения электромагнитной совместимости для задач автоматизированной трассировки печатных плат электронных средств; разработаны модифицированные бионические алгоритмы решения многокритериальных задач автоматизированной трассировки печатных плат. Предварительные научные исследования показали, что использование большого числа критериев электромагнитной совместимости, а также муравьиного алгоритма решения задачи трассировки позволяет значительно повысить качество и надежность конструкций печатных плат и снизить сроки выполнения проектных процедур.

### **Анализ проблем безопасности интегрированных в облако управляющих систем интеллектуальных зданий**

Николаев П.Л.

Научный руководитель – Хорошко Л.Л.

МАИ, г. Москва

Одной из последних тенденций в области «умных домов» является интеграция управляющих систем интеллектуальных зданий (УСИЗ) в облако. Через облачный сервис возможно предоставление пользователям функции для удаленного мониторинга и управления всеми системами интеллектуального здания (умного дома). Однако, поскольку речь идет об облачных сервисах, есть риск того, что кто-то извне сможет получить доступ к управлению системами целого здания или дома. В данной работе будут проанализированы возможные угрозы безопасности умных домов, интегрированных в облако.

Для начала кратко опишем структуру интегрированной в облако УСИЗ. Разрабатываемая автором система управления интеллектуального здания с возможностью интеграции в облако состоит из следующих уровней автоматизации:

- Уровень удаленного управления и мониторинга через мобильные и стационарные устройства.
- Уровень обеспечения удаленного управления (облачный уровень).
- Уровень внутреннего (локального) управления и мониторинга, а также связи с облачным уровнем.
- Уровень автоматического управления.
- Уровень конечного оборудования.

Данная схема отличается от типовых УСИЗ внедрением дополнительных уровней 1 и 2. Взаимодействие первых трех уровней при такой схеме осуществляется через сеть Интернет. В связи с этим, при внедрении новых

уровней автоматизации возникает проблема безопасной передачи данных между облаком и средствами управления и мониторинга.

Злоумышленники могут получить доступ к системе управления умным домом путем кражи данных учетных записей пользователей. Также возможен перехват определенной информации о состоянии систем дома. Кроме того, может возникнуть такая ситуация, что при внедрении каких-либо вредоносных программ в управляющую сеть здания или дома, возможно предоставление неверных данных о состоянии различных систем (например, о состоянии различных датчиков). Неверная информация может привести к вводу УСИЗ в заблуждение, таким образом, вызвав непредвиденные аварийные ситуации, что в конечном итоге обернется для пользователей непоправимым ущербом.

Для обеспечения безопасного соединения с облачным сервисом необходимо использовать следующие методы. Во-первых, должно быть обязательное шифрование логина и пароля пользователя для доступа к облачному сервису. Во-вторых, необходима организация безопасного соединения путем использования протокола HTTPS для передачи данных в зашифрованном виде. И, в-третьих, несмотря на некоторое усложнение процесса подключения к облаку, правильным шагом будет внедрение двухфакторной аутентификации. Двухфакторная аутентификация представляет собой метод идентификации пользователя, при котором происходит запрос двух разных типов аутентификационных данных. На первом этапе у пользователя запрашиваются логин и пароль, а на втором – некий специальный код (например, на мобильный телефон отправляется SMS-сообщение с кодом) или биометрические данные пользователя (например, путем сканирования отпечатка пальца).

Рассмотренные выше способы обеспечения безопасного соединения пользователей умных домов с облачным сервисом должны в значительной степени усилить безопасность интегрированных в облако УСИЗ и помешать проникновению в сеть здания злоумышленников.

## **Информационно-аналитическая система охранного наблюдения за прибрежной акваторией с использованием автономных беспилотных летательных аппаратов**

Первой С.В., Шарипов А.А.

Научный руководитель – Кудрявцев П.С.

МАИ, г. Москва

Рассматривается проблема разработки информационно-аналитического обеспечения системы охранного видеонаблюдения за прибрежной акваторией с использованием, как стационарных камер, установленных по периметру береговой границы контролируемой зоны, так и камер, установленных на беспилотных летательных аппаратах (БЛА). Решение данной проблемы только с помощью оператора встречает значительные трудности, связанные с обработкой значительного потока визуальной информации в течении длительного периода времени, а также сложностями управления одного и более БЛА. Поэтому информационно-аналитическое обеспечение системы должно предоставлять оператору уже готовые, предполагаемые варианты анализа соответствующей

угрозы, чтобы оператор смог своевременно принять решение о проведении необходимых мероприятий противодействия нарушению границы.

В данной работе анализируются следующие частные задачи:

- Обоснование и разработка алгоритмов автоматического выделения (сегментирования) потенциально-опасных движущихся водно-транспортных средств на фоне водной поверхности;
- Обоснование и разработка алгоритмов прогнозирования (треккинга) возможных траекторий, выявленных водно-транспортных средств, на основе видеоинформации и оценки их, с точки зрения возможностей нарушения границ контролируемой зоны;
- Разработка алгоритмов распознавания класса потенциально-опасных водно-транспортных средств на основе имеющейся базы знаний, и формирование рекомендаций оператору системы для их нейтрализации;
- Разработка алгоритмов визуального управления траекторным движением БЛА, типа квадрокоптер, при выявлении потенциально-опасного объекта, и слежения за ним.

В рамках решения первой задачи исследуются алгоритмы сегментации фона водной поверхности для выделения подвижных объектов. Для анализа видеопотока данных с монокулярной, откалиброванной камеры, установленной на подвижной платформе, используется дополнительная информация с инерциальной платформы БЛА, позволяющая оценить собственное движение аппарата.

Вторая задача решается на основе многомерного расширенного фильтра Калмана. Это предполагает, что доступны оценки расположения места расположения камеры. Если, для стационарно расположенных видеокамер, это не представляет затруднений, то для камер, установленных на борту БЛА, это требует установки приемников спутниковой навигации.

Решение третьей задачи базируется на выявлении особых областей (блобов) каждого, из сегментируемых, на основе решения первой задачи, подвижных объектов на отдельном кадре; построения соответствующего признакового описания и сопоставления, на основе известного алгоритма RANSAC, с соответствующей областью на последующих кадрах видеопотока. При прогнозе пересечения траектории наблюдаемого объекта с границей контролируемой зоны, он выделяется шаблоном в виде квадрата красного цвета и оператору подается звуковой сигнал.

Решение четвертой задачи основано на математической модели полета квадрокоптера с учетом ветровых возмущений. При этом, после получения сигнала от системы, о возможном нарушении границы контролируемой зоны, формируется визуальное управление траекторным движением БЛА, обеспечивающее направление оптической оси камеры на выбранный объект, а также минимизацию расстояния между БЛА и исследуемым объектом, при условии сохранения заданной высоты полета.



## **Моделирование конструкции и технологии изготовления изделия «Бак центральный топливный»**

Пимаков О.А.

Научный руководитель – Бутко А.О.

МАИ, г. Москва

В современном мире информационных технологий использование вычислительных систем становится основой для разработки создания и производства сложных технических аппаратов. Внедрение и освоение автоматизированных систем позволяет управлять процессами производства, проектирование изделий, создание конструкторско-технологической модели, создание оптимальной технологии. Дает широкие возможности повысить качество и уменьшить сроки изготовления изделий. В проектировании и создании ракетно-космической техники также используются системы автоматизированного проектирования (NX, NanoCAD, Solid Works), системы управления данными об изделии (PDM), системы управления жизненным циклом (PLM). Системы, имеющие реляционные базы данных значительно упрощают и ускоряют работу по разработке и написанию технологий. Широкое применение САПР получили в проектировании изделий РКТ.

Разгонный блок является важной частью системы выведения космических аппаратов. Он обеспечивает перемещение грузов с орбиты на орбиту и выполняет функцию стабилизации в пространстве, а также задает необходимую скорость полета космического аппарата. Для этого РБ имеет функцию многократного включения маршевого и двигателей стабилизации. Между включениями может быть разрыв во времени до нескольких часов. Таким образом, не одна ракета-носитель не может обойтись без разгонного блока.

Создание модели центрального топливного бака для разгонного блока БРИЗ-М в системе Siemens PLM NX дает большие возможности в проектировании аналогичных изделий РКТ. Из параметризованных деталей будет создана сборка модели. Это позволяет без труда вносить изменения и производить модификацию в кратчайшие сроки, соблюдая заложенные закономерности и коэффициенты построения модели. После создания деталей модели производятся расчеты на прочность.

Далее после прочностных расчетов производятся тепловые расчеты, так как материалы изделия подвержены, как и высоким, так и низким температурам. Затем выполняется формирование проектов на производство с использованием САПР Автоматизированная система позволяет наглядно проработать модель и устранить все изъяны на начальном этапе создания изделия что значительно экономит время и исключает затраты на доработки по устранению недостатков в процессе производства.

## **Интеграция систем управления интеллектуального здания в Интернет вещей**

Потапов А.О.

Научный руководитель – Николаев П.Л.

МАИ, г. Москва

В последнее время тенденция Интернета вещей становится всё более популярной. Термин «Интернет вещей» (ИВ) описывает систему, где цифровой мир взаимодействует с физическим, образуя глобальную сеть. Интернет вещей использует датчики, исполнительные механизмы и технологии передачи данных, внедренные в физические объекты (в случае с «Интеллектуальными зданиями» (ИЗ): двери, стены, мебель, окна, фасады, лифты, вентиляционные модули, модели отопления/охлаждения, модули освещения, системы водоснабжения, энергетические системы, системы хранения данных и т.д.), [1] позволяя отслеживать, координировать и управлять этими объектами по сети передачи данных или Интернет, с целью улучшения качества жизни потребителя.

Интеллектуальное здание оптимизирует эффективность, комфорт и безопасность для людей в пределах здания. Система управления зданием (АСУ) предназначена для сбалансированной производительности нескольких систем автоматизации, служащих для достижения централизованного управления и достижения более высокого уровня эффективности. Например, координация данных температуры, влажности и вентиляции позволяет не только экономить энергию, но и обеспечить комфортные условия для жизнедеятельности человека.

Основные преимущества использования Интернета вещей в системе умного дома:

- в любое время и в любом месте пользователю доступна вся информация об обстановке в доме [2];
- в случае присутствия среди жильцов умного дома пожилых людей можно обеспечить передачу данных с медицинских устройств напрямую лечащему врачу [2];
- простой доступ к большим объемам данных, таких как: фильмы, музыка, игры и т.д.;
- сама система умного дома становится более гибкой, намного легче будет интегрировать новые устройства, лишь обеспечив им доступ в Интернет, а не перестраивая всю систему заново [2].

Увеличение популярности Интернета вещей будет возрастать с увеличением устройств, использующих Интернет. С каждым годом Интернет вещей будет набирать все более значимое число подключений, достигнув через пару лет 9 миллиардов. Проводя исследования, компания Ericsson представила это в виде трех элементов: в первую очередь, объединяют устройства, служащие клиентам, потом Интернет вещей увеличивается за счет устройств на предприятиях, и далее его эксплуатация становится многочисленной через общественные процессы [3].

Литература.

Brad B.S., Murar M.M., Smart Buildings Using IoT Technologies, Constructions of Unique Buildings and Structures. 5 (20) (2014) 15-27.

Николаев П.Л. Архитектура интегрированной в облачную среду системы управления умным домом // Международный научно-практический журнал «Программные продукты и системы». – 2015. – №2. – С. 65-69.

Интернет вещей приближается. URL: <https://habrahabr.ru/company/madrobots/blog/236115/> (дата обращения: 05.02.2016).

## **Разработка метода распознавания возраста человека по изображению**

Потапов Д.С.

Научный руководитель – Хорошко Л.Л.

МАИ, г. Москва

Теория распознавания образов – бурно развивающийся раздел информатики. Его актуальность растет вместе с ростом вычислительных мощностей компьютерных систем и поэтому сейчас этот раздел сильно востребован. Теория распознавания образов решает огромный класс задач, одной из которых является распознавание возраста человека.

Старение – естественный биологический процесс. Он характеризуется постепенным нарушением функций организма или его частей. К внешним признакам старения можно отнести: понижение упругости мягких тканей, сухость и истонченность кожи, ее морщинистость, отек и пастозность кожи вокруг глаз. Именно по этим признакам человек и определяет примерный возраст другого человека. Исходя из этого, можно сделать предположение, что используя алгоритмы компьютерного зрения и машинного обучения реально достичь высокой точности в определении возраста человека по изображению.

Для решения данной задачи использовалась сверточная нейронная сеть.

Свёрточная нейронная сеть – специальная архитектура искусственных нейронных сетей, нацеленная на эффективное распознавание изображений. Структура сети – однонаправленная и многослойная, то есть чередуются свёрточные и субдискретизирующие слои. Для обучения сверточных нейронных сетей требуется много данных, иначе можно получить эффект «переобучения» – это ситуация, когда нейронная сеть запоминает и обобщает признаки, характерные не для заданных объектов, а для отдельных элементов обучающей выборки.

Решение задачи распознавания возраста по изображению было разделено на этапы:

- Подготовка обучающей выборки с большим количеством объектов.
- Удаление объектов, прямо или косвенно связанных с лицами.
- Добавление в выборку объекта «лицо».
- Обучение сверточной нейронной сети на созданной выборке.
- Дообучение сети на объекты «возраст».

В качестве основы для обучающей выборки был выбрана база ImageNet, содержащая в себе 1000 объектов и 1000 изображений на каждый объект. Далее из этой выборки были убраны объекты, которые содержали в себе лица, например, «hair», содержащий в себе изображения причесок, или «face pack», содержащий в себе изображения кремовых масок для лица. После этого в выборку было добавлено 1000 изображений для объекта «лицо».

При составлении выборки для класса «возраст» были выделены следующие категории (каждая категория идет как один объект для нейронной сети):

- От 0 до 20 лет – 10 категорий с шагом в 2 года.
- От 20 до 50 лет – 29 категорий с шагом 1 год.
- От 50 до 70 – 10 категорий с шагом 2.
- От 70 до 85 – 5 категорий с шагом 3 года.
- От 85 до 100 – 3 категории с шагом в 5 лет.
- 100 лет и больше – последняя категория.

В виду отсутствия большой базы изображений людей, маркированных возрастными, эта обучающая выборка составлялась вручную, по 100 изображений на каждую категорию. В виду того, что данных класса «возраст» меньше, чем для других объектов, дабы избежать негативных эффектов, для дообучения нейронной сети использовалась техника fine-tuning.

Способов применения данного метода на практике достаточно много. Его можно использовать как просто сервис, позволяющий пользователям определять возраст людей на загруженных фотографиях, так и как элемент более сложных систем. Например, в программном комплексе идентификации лиц данный метод может служить как источник одной из ключевых характеристик. Также этот метод можно использовать для ограничения доступа к контенту с возрастными ограничениями.

## **Использование библиотеки SDL при разработке прикладного ПО**

Приходько М.В.

Научный руководитель – Кейно П.П.

МАИ, г. Москва

Графическое представление информации – одна из важнейших частей при разработке прикладного программного обеспечения на сегодняшний день. Оно встречается везде: начиная с пользовательского интерфейса стандартных программ, используемых повседневно и заканчивая сложными системами для создания и редактирования трёхмерной графики.

Поэтому при разработке программного обеспечения нередко возникает необходимость в использовании графических мультимедийных библиотек. Их выбор главным образом зависит от целей проекта. Если стоит задача в создании программы, которую можно легко портировать на разные платформы и где важно графическое представление информации на экране, но пользовательский интерфейс прост и минималистичен, то для такого проекта может подойти такой инструмент, как SDL.

SDL (Simple DirectMedia Layer) – свободная кроссплатформенная мультимедийная библиотека, реализующая доступ к устройствам ввода/вывода компьютера (графическая подсистема, звуковые устройства, клавиатура, мышь,

игровые контроллеры и т.д.). На данный момент (с версии 2.0) официально поддерживает следующие операционные системы: Windows, Mac OS X, Linux, iOS, Android. Программный интерфейс (SDL API) доступен для использования со следующими языками программирования: C, C++, C#, Lua, Ada, Python, Pascal, OCaml, Java.

Библиотека SDL является одной из самых популярных мультимедийных библиотек подобного класса, особенно среди разработчиков свободного программного обеспечения. Основная сфера применения данной библиотеки – это видеоплееры, эмуляторы и компьютерные игры.

Библиотека SDL предназначена для графических 2D-операций, использования звука и отслеживания пользовательских событий. Данную библиотеку можно рассматривать как промежуточное звено между прикладной программой и программным интерфейсом конкретной операционной системы для работы с аппаратурой. Таким образом, разработчику не требуется разбираться в особенностях работы разных интерфейсов для различных операционных систем (например, с DirectX или GDI для Windows, Xlib или fbdev для Linux и т.д.).

Библиотека SDL удобна при разработке приложений, использующих трёхмерную графику. Существует возможность использования SDL как дополнение для OpenGL. Это позволяет задействовать возможности, не имеющихся в реализации библиотеки, но имеющихся в самой SDL: обработка событий устройств ввода, настройка контекста рисования, работа с таймером, использование изображений и аудиофайлов, возможность создания пользовательского интерфейса программы с помощью средств SDL (например, отрисовка кнопки на отдельной поверхности и последующий вывод этой поверхности на экран средствами OpenGL). Также есть возможность использования SDL с Direct3D.

Ещё одним достоинством данной библиотеки является её API-дизайн: он довольно прозрачен и логичен. Поэтому SDL имеет достаточно низкий порог вхождения, прост в изучении.

Таким образом, SDL является одним из инструментов, на которые стоит обратить внимание. Эта библиотека предоставляет широкие возможности: использование различных средств мультимедиа, лёгкость применения, возможность работы с её API вместе с многими языками прикладного программирования, портируемость на все основные (на данный момент) операционные системы и работа с трёхмерными программными интерфейсами.

## **Использование фреймворка LibGDX для компиляции Java-приложений под различные платформы**

Рябов Д.А.

Научный руководитель – Николаев П.Л.

МАИ, г. Москва

Write once – run anywhere. Таков девиз языка Java, но с каждым годом разнообразие техники и операционных систем растёт. И хотя все они разделены на большие «семейства», для запуска программ в разных «семействах» операционных систем требуется использовать специализированные технологии

даже при использовании такого кроссплатформенного языка программирования как Java. Сама по себе Java используется на ПК и многих машинах, аппаратах и станках. Но последние версии мобильных устройств не поддерживают Java в чистом виде, например, для android-устройств байт-код Java проходит преобразование в соответствующий формат, а iOS-устройства вообще не поддерживают Java.

Тем не менее, выход есть. Фреймворк LibGDX позволяет компилировать Java-приложения на 4 платформы: персональные компьютеры, android-устройства, iOS-устройства и веб-среда. В настоящее время LibGDX использует Gradle структуру, т.е. проект приложения состоит из нескольких подпроектов, основным из которых является core, содержащий код приложения. Помимо него есть подпроекты для каждой платформы, которые содержат уникальный для каждой платформы код, например запуск программы и инициализация нативных функций.

По поводу персональных компьютеров говорить не о чем, здесь всё как обычно – нужно просто создать запускаемый JAR-файл и можно сразу начать использовать приложение.

С версией под Android немного сложнее. Вначале необходимо установить AndroidSDK, позволяющий писать код для android-устройств, и Android Development Tools (зависит от среды разработки), позволяющие компилировать Java код в APK-файл, который используется для установки приложения на устройство.

Создание iOS-версии приложения более трудозатратно. Во-первых, компиляция доступна только с операционной системы Mac. Во-вторых, требуется сертификат разработчика, который нужно получить на сайте Apple и «установить» в ОС. В-третьих, для компиляции необходимо использовать специальный компилятор, такой как RoboVM.

Что касается веб-среды, то LibGDX использует Google Web Toolkit и позволяет заменить апплет на веб-страницу с Asynchronous Javascript and XML, благодаря чему не требуется JVM и появляется возможность использовать веб-приложение на любом устройстве, имеющем выход в интернет.

Литература.

Рябов Д.А. «Запуск LibGDX игры на различных платформах». URL: <http://xgm.guru/p/gamedev/libgdx-deploy> (дата обращения: 02.03.2016).

## **Использование Bluetooth в системах умного дома**

Сажин Д.С.

Научный руководитель – Николаев П.Л.

МАИ, г. Москва

Умный дом – жилое помещение, которое сконструировано таким образом, что при помощи автоматики и высокотехнологичных устройств, человек может управлять любыми системами своего дома. Кроме того, умный дом следует рассматривать как систему, предназначенную для ресурсосбережения, а также для обеспечения безопасности жителей.

В частном случае, система должна распознать ситуацию, которая происходит в доме, и, соответственно, реагировать по заранее заданным алгоритмам.

Bluetooth – беспроводная технология передачи данных, используемая для связи нескольких устройств на расстоянии до 10 м друг от друга. Принцип действия основан на использовании радиоволн. Волны Bluetooth находятся в диапазоне, который используется в различных приборах и беспроводных сетях, т.е. очень распространенный диапазон, что облегчит работу в системах умного дома.

Не трудно догадаться, что при организации умного дома, может возникнуть проблема с дороговизной аппаратуры и технологическими деталями. Так эту проблему может решить технология Bluetooth, за счет своей простоты в реализации. Многие компании внедряют в производство продукты, которые оснащены технологией Bluetooth. Новые «умные» домашние продукты обладают потенциалом простоты в настройках и использования.

Bluetooth может произвести революцию в области умного дома и бытовой техники, так как данной технологией оснащаются практически все выпускаемые смартфоны, планшеты и компьютеры, которые можно использовать для управления своим домом.

В последнее время значительно возросло число производителей, выпускающих устройства, работающие с помощью технологии Bluetooth, и предназначенные для контроля систем освещения, умных розеток и тому подобное.

Следует также отметить, что технология Bluetooth не стоит на месте и постоянно развивается. С технологией Bluetooth Smart, которая направлена на сверхмалое энергопотребление, появляется возможность использования дистанционного управления для таких устройств, как дверные замки и портативные выключатели, которые не имеют свободного доступа к электропитанию.

## **Разработка автоматизированной системы оптимизации оптического контроля печатных сборок**

Самсоненко А.С.

Научный руководитель – Аверченков В.И.

БГТУ, КТС, г. Брянск

Развитие технологии производства электронных сборок является одной из важнейших проблем современной электронной промышленности. Приоритетным направлением выступает усовершенствование методов сборки электронных узлов, а наиболее удобным и практичным видом является технология поверхностного монтажа (SMT). Актуальность развития этого направления в нашей стране объясняется тенденцией импортозамещения современного наукоемкого оборудования и программного обеспечения в производстве печатных сборок. В электронной промышленности, как и в любом производстве, особое внимание уделяют контролю. Наиболее распространенным способом является оптический контроль, осуществляемый специализированным оборудованием – автоматическими оптическими инспекциями (АОИ) со специальным ПО для распознавания дефектов.

Для организации производства печатных сборок методом поверхностного монтажа используется специализированное программное обеспечение,

объединяющее в себе средства взаимодействия с оборудованием автоматизированных линий, средства ведения документации, статистики, логистики и другие компоненты PLM системы. Поставщиками такого программного обеспечения являются зарубежные компании, не имеющие возможности включить в линию отечественное оборудование. Ввиду вышесказанного одной из ведущих проблем при автоматизации производства электроники в России является создание отечественного программного обеспечения.

Представителем PLM систем является продукт компании UniSoft, выполняющий требуемые функции, но не имеющий возможности применения в России по ряду причин. В связи с разногласиями в отечественных и зарубежных стандартах качества затруднена адаптация алгоритмов ПО под отечественное оборудование. Частичная модульность данной системы, когда отдельные части системы функционируют, но их приобретение без других модулей нецелесообразно, также снижает её конкурентоспособность на российском рынке. А отсутствие возможности создать собственные модули, например, расчета или управления, приводит к необходимости заказывать такие средства расчета непосредственно у поставщика программного обеспечения. Основная проблема при работе с АОИ - отсутствие гибкого программного обеспечения для осуществления настройки и создания управляющих программ, обеспечивающих должный контроль. Решение этих проблем создает потребность в гибкой модульной системе для организации работы автоматической оптической инспекции с возможностью написания собственных алгоритмов расчетов, направленных на оптимизацию работы оборудования.

Предлагаемая автоматизированная система направлена на оптимизацию расчета оптимальной скорости проведения оптического контроля на АОИ. Система дает возможность проводить расчеты в режиме реального времени. Скорость инспекции – это усредненное значение времени, за которое происходит контроль единицы площади печатной платы. Обычно этот параметр указывает производитель оборудования в технических характеристиках, измеряется эмпирическим путем. Скорость инспекции напрямую зависит от оборудования и программного обеспечения. Путем тонкой настройки оборудования (выборочного контроля, изменения траектории и т.д.) можно снизить время контроля.

Скорость – это лишь одна из возможных величин, подбор оптимального значения которой позволит оптимизировать процедуру контроля. Но для любого рассчитываемого параметра необходимо наличие трех модулей: импорт описания платы, база данных компонентов и экспорт управляющей программы на оптическую инспекцию. Математическое обеспечение для программной реализации перечисленных модулей хорошо описано в отечественной научной школе в силу широкого распространения САПР-электроники.



## Онтология в искусственном интеллекте

Сибгатулин М.Р.

Научный руководитель – Ильин В.Н.

МАИ, г. Москва

В докладе рассмотрена актуальная проблема построения и использования онтологий, широко применяемых в системах искусственного интеллекта. Под онтологией понимается совокупность терминов и определений некоторой предметной области, которая представляет собой набор сущностей этой предметной области, соединенных между собой различными отношениями. Онтологии чаще всего используются для формального представления понятий и отношений между ними, которые характеризуют ту или иную область знаний. Главное достоинство онтологии в качестве способа представления знаний является то, что она представляется в виде формальной структуры, что существенно упрощает её представление и компьютерную обработку.

Теория искусственного интеллекта все больше ориентируется на решение практических задач. Многие методы и приёмы искусственного интеллекта нашли применение при обработке естественного языка, извлечении информации из баз данных, в экспертных консультирующих системах и др. Первоначально предполагалось, что онтологии будут использоваться только для облегчения общения «электронных агентов», например, в сети интернет — это поисковые роботы. Но благодаря своей иерархической структуре, онтологии нашли применение и в других областях. В качестве примера можно привести иерархические классы в объектно-ориентированном программировании, которые представляют собой онтологию. В докладе рассмотрены вопросы автоматизации выделения и обработки знаний из общего массива информации. Для реализации схемы автоматического поиска знаний необходимо иметь систему, состоящую из сущностей и отношений данной предметной области, то есть её онтологию. В связи с этим при создании онтологии появился ряд проблем, рассматриваемых в данном докладе.

Во-первых, онтология должна иметь строгое соответствие связей с терминами предметной области. Во-вторых, любая онтология, основанная на реальной предметной области, не может быть абсолютно полной, из чего следует то, что в состав информационного поиска должны входить как методы онтологии, так и послетные методы поиска. В-третьих, использование онтологий для задач информационного поиска предполагает анализ больших связанных текстов, для которых еще не разработаны методы, которые позволили бы автоматически их обрабатывать.

Все перечисленные особенности характерны для каждой онтологии независимо от размеров её предметной области. При этом онтология позволяет избавиться от избыточности в пределах заданной предметной области, т.к. предметную область можно описать разными способами, а онтология может сделать это единожды и однозначно и притом она останется понятной для широкого круга людей, в том числе и неспециалистов в предметной области. Помимо этого, онтология может быть использована для согласования вычислительных действий в интеллектуальных системах разного назначения, но использующих одну и ту же предметную область. Данное направление в

искусственном интеллекте в последнее время приобретает все большую популярность и становится перспективным направлением развития в области искусственного интеллекта.

### **Моделирование элементов узла «Плата отрывных соединителей» с использованием комплекса автоматизированных систем**

Ступенко И.Ю.

Научный руководитель – Бутко А.О.

МАИ, г. Москва

В современных научно производственных центрах активно происходит внедрение наукоемких технологий в области систем автоматизированного проектирования. Предпочтение отдается комплексным системам позволяющие использовать САД, САМ, САЕ технологии.

Универсальная САПР, получившая широкое распространение в конструкторских и технологических бюро является система NX.

Она имеет относительно недорогую стоимость, удобный интерфейс и простоту в использовании в то же время модульная структура программы позволяет использовать ее в широком спектре разработок проектировании и производства.

В зависимости от области применения используется определенный набор лицензий. Это дает возможность минимизировать затраты ресурсов персонального компьютера, что позволяет облегчить ее использование в среде недорогого технического оборудования.

Инновационные идеи ведут к тенденции реорганизации предприятий, главной, из которых является улучшением качества, облегчение и снижение трудоемкости проектирования и в создании технологических процессов производства.

Создаются отделы специализирующиеся непосредственно на создании моделей деталей, агрегатов и комплексной модели изделий. Легко осуществить модификацию и внесение изменений в изделие позволяет создание параметризованных и формульно-зависимых моделей. Программа с высокой точностью позволяет провести расчет центра масс, тепловой и кинематический.

В качестве примера работы с системой NX рассмотрим создание модели плат отрывных соединителей (ПОС1) которые являются неотъемлемой частью ракеты – носителя «Протон». ПОС1 предназначены для выполнения контролируемого разрыва электрических связей между I и II ступенями ракеты – носителя. И являются агрегатом, выполняющим особо важную операцию по расстыковке отрывных электросоединителей.

Создаваемая модель позволяет точно воспроизвести геометрию изделия под необходимые габариты исходных данных. Получить необходимый баланс, между прочностными характеристиками максимально снизить массу изделия. Разрабатываемая параметрическая модель облегчит трудоёмкость по ее модификации и последующих внесений изменений при проектировании изделий аналогов.

## Система удаленного мониторинга здоровья человека

Титов П.В.

Научный руководитель – Николаев П.Л.

МАИ, г. Москва

В современном мире людям важно следить за своим здоровьем. Но людям не хватает времени для похода к врачам. Значительная часть населения не имеет доступа к качественным медицинским услугам.

Система удаленного мониторинга здоровья поможет людям, находящимся на амбулаторном наблюдении в периоды реабилитации и ожидания плановых операций. Кроме того, система позволит осуществлять периодический контроль показателей хронически больных пациентов, а также диагностировать развития острых состояний у людей, входящих в группы риска по различным заболеваниям. И, наконец, просто наблюдать за своим состоянием.

Для людей, которые заботятся о своем здоровье, система поможет вести самостоятельный контроль за состоянием здоровья и предупредить о риске заболеваний. Система будет подбирать советы пользователю для ведения им здорового образа жизни.

Для врачей это облегчит работу. Система будет самостоятельно записывать результаты мониторинга в централизованную электронную историю болезни и лечения. У врачей будет доступ к электронной истории болезни и лечения. При критических отклонениях система автоматически уведомит лечащего врача. Система в режиме реального времени позволит общаться пациенту и врачу для получения консультации.

На данный момент осуществление данной системы возможно с помощью мобильных устройств и способствующих им гаджетов. Данное направление получило название mHealth («мобильное» здравоохранение).

Сейчас более распространены устройства и приложения для фитнеса и поддержания здорового образа жизни:

- трекеры физической активности (фитнес-трекеры);
- спортивные часы;
- носимые сенсоры, пульсометры;
- приложения, работающие с данными устройствами для контроля физического состояния человека.

Среди устройств для мониторинга здоровья, диагностики и обеспечения ухода за пациентами можно выделить:

- системы мониторинга (сердечной активности, давления, уровня глюкозы);
- датчики жизненных показателей;
- различные диагностические системы;
- устройства и приложения для контроля здоровья, контроля употребления лекарств, планирования лечения и др.;
- системы удаленного взаимодействия с врачами и с медицинскими учреждениями.

Возможности, которые сегодня доступны у систем удаленного мониторинга здоровья человека, быстро растут с появлением новых устройств, датчиков, приложений. Эта отрасль очень быстро развивается во всем мире.

## **Применение систем автоматизированного проектирования для моделирования сложных изделий и технологических процессов изготовления элементов конструкций ЛА**

Харитоненков А.И.

Научные руководители – Хорошко Л.Л.

МАИ, г. Москва

Одним из важных и перспективных научных направлений кафедры является геометрическое, параметрическое твердотельное и поверхностное моделирование сложных изделий. В рамках этого направления кафедра развивает передовые 2D и 3D технологии для визуализации, моделирования и анализа поведения разрабатываемых конструкций на ранних стадиях проектирования. Это дает специалистам возможность тщательно подготовить и оптимизировать компьютерную модель, прежде чем она будет реализована физически. Благодаря возможности не только увидеть виртуальную модель, но возможности провести ее испытания экономятся время и средства, повышается качество.

В настоящее время в области создания наукоемкой продукции конечный продукт является в большинстве случаев сложным многокомпонентным изделием. При этом срок проектирования и испытаний превышает срок ее изготовления в два-три раза. Многокомпонентность подразумевает совместную работу большого количества предприятий, и продуктивность этой работы определяется возможностью быстро и качественно обмениваться технической информацией. Очевидно, что от возможностей программного продукта, применяемого предприятиями для проектирования и подготовки производства, во многом зависит оптимальный учет этих факторов и эффективное решение других специфических задач промышленного производства.

В связи с этим информационные технологии начинают играть существенную роль в авиакосмической промышленности. Комплексное внедрение технологий виртуальной разработки и сопровождения становится необходимым условием для выполнения целого ряда важных задач, таких как ведение сложных научно-технических расчетов, обновление производства, снижение рисков, повышение надежности изделий. Использование средств компьютерного моделирования позволяет избавиться от необходимости проведения стендовых испытаний и эксплуатации оборудования, которые, как известно, очень дороги и продолжительны.

Применение средств компьютерного моделирования позволяет:

- Проводить сборку и оптимизацию виртуальных моделей узлов с использованием параметризации, что позволяет корректировать изделие на стадии испытаний.
- Проводить динамическое моделирование технологических процессов изготовления элементов конструкций ЛА.

- Выполнять виртуальные испытания изделий самолета, его узлов и агрегатов с использованием виртуальных моделей.
- Проводить визуализацию изделий ЛА в фотореалистичные изображения и выполнять анимацию объектов проектирования. Это предоставляет возможность готовить наглядные и качественные представления будущего изделия на всех этапах работы над проектом.
- Формировать рабочую документацию изделия по цифровому прототипу, что позволяет существенно сократить количество ошибок и ускорить разработку продукции.

### **Автоматизация размещения антенных систем беспилотного летательного аппарата**

Хлебникова А.И.

Научный руководитель – Гайнутдинов Р.Р.  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Современный этап развития инновационной техники, а в частности беспилотных летательных аппаратов, заключается в усложнении режимов полета и необходимости выполнения различных функциональных задач. В связи с этим необходимо применение большого числа радиоэлектронных средств на одном объекте ограниченных размеров, что приводит к усложнению электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости (ЭМС) беспилотного летательного аппарата (БЛА). Таким образом, каждый БЛА на ранних этапах разработки должен подвергаться тщательному анализу в отношении складывающейся интегральной электромагнитной обстановки при функционировании его радиоэлектронной среды. И чем детальнее проведен анализ, тем выше вероятность избежать дорогостоящих и трудно затратных проблем, которые могут возникнуть на этапах испытаний и эксплуатации. Ввиду насыщенности БЛА радиоэлектронными средствами различного назначения задача обеспечения ЭМС радиосредств и размещения антенных систем приобретает большую актуальность.

Целью работы является разработка методики оптимизации размещения антенных систем РЭС на БЛА.

В настоящее время беспилотные летательные аппараты не уступают в своих качествах пилотируемым летательным аппаратам. Все это требует хорошего обеспечения ЭМС. Задача обеспечения ЭМС радиоэлектронных средств усложняется тем, что БЛА отличаются специфическими особенностями по сравнению с пилотируемыми видами авиации. Ограничивается количество мест размещения антенн. Плотное размещение антенн на небольших участках фюзеляжа может приводить к ухудшению характеристик и осложняет обеспечение ЭМС. Для обеспечения ЭМС радиоэлектронных средств в начале необходимо проведение анализа электромагнитных влияний. Анализ может быть проведен: аналитическими вычислениями, электродинамическим моделированием, экспериментальными исследованиями. При этом прогнозную оценку ЭМС можно дать лишь применением аналитического и электродинамического моделирования. Одним из методов оценки электромагнитного воздействия радиопередатчика на радиоприемники

заключается в парной оценке. Парная оценка состоит в определении индекса влияния радиопередатчика на радиоприемник. Индекс влияния определяется как разность между уровнем сигнала помехи на входе приемника и допустимым уровнем чувствительности данного канала приема. При положительном знаке индекса влияния делается заключения о несовместимости рассматриваемой пары «передатчик-приемник», при отрицательном знаке рассматриваемая пара считается совместимой. Для сокращения объема вычислений можно разделить БЛА на части установки антенн, которые соответствуют количеству радиоприемников и радиопередатчиков, и получится несколько вариантов разделения БЛА. Оптимизация размещения антенных систем на БЛА рассматриваются на основе применения эволюционного алгоритма, который генерирует потенциальные решения и модифицирует его до тех пор, пока решение не будет удовлетворять заданным условиям поиска.

Проведения исследований и разработка методики оптимизации антенных систем на БЛА сократит общее время расчета ЭМС радиоприемников и радиопередатчиков и позволит выработать оптимальный вариант размещения антенных систем на БЛА.

### **Применение САПР для моделирования технологических процессов изготовления деталей и сборки элементов конструкций ЛА**

Хорошко А.Л.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

В настоящее время при производстве наукоемкой продукции существует необходимость изготовления большого количества соединений и конструкций, имеющих сложную геометрическую форму и требующих значительное время и средства на их изготовление. Для их производства требуется большое количество заготовок, эксплуатация оборудования, инструмента и оснастки. Применение современных программных средств для трехмерного моделирования позволяет создавать сложные геометрические модели объектов, а также проводить динамическое моделирование технологических процессов изготовления различных конструкций летательных аппаратов, состоящих из множества элементов в режиме реального времени. Применение среды проектирования Autodesk Inventor, AutoCAD, T-Flex и др. для разработки чертежей и построения моделей в 3D постановке позволяет автоматизировать процесс проектирования сложных изделий, а на основе имитационного моделирования проследить изменение всех параметров объектов: их формы, размеров, пространственного положения, характеристик материалов и т.д. В результате, применение САПР позволяет оптимизировать проектирование технологических процессов, снизить время и трудозатраты для выпуска готовой продукции.

Одной из систем трёхмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования является Autodesk Inventor. В комплекс решаемых этой системой задач по проектированию входят:

- построение цифрового прототипа изделия наделённого физическими свойствами;

- проверка собираемости изделия и составление схем;
- автоматизация проектирования и анализа надёжности валов, зубчатых передач, болтовых, шпоночных, шлицевых соединений, ременных передач, различных пружин и уплотнительных колец;
- упрощение проектирования стандартных сборочных единиц за счёт обширной базы стандартных конструктивных элементов;
- проведение точных, конечных измерений геометрических и физических свойств элементов конструкций;
- использование модулей маршрутизированных систем для расчёта трубопроводов, проводов, рамных конструкций с последующим составлением спецификаций;
- автоматизированное создание чертежей цифровых прототипов изделий в соответствии с требованиями ЕСКД и многие другие.

Использование программного комплекса «Autodesk Inventor» позволило не только создать широкий класс заготовок, соединений и конструкций, но и провести моделирование процесса сборки в режиме реального времени. Для проектирования трехмерных объектов сложной геометрической формы, состоящих из множества элементов, к которым можно отнести в т.ч. оболочки с криволинейной образующей, инструмента, оснастки и конструкций соединений использовались различные категории объектов, включая широкий набор средств, позволяющих обеспечить необходимую точность моделирования.

С целью определения кинематических и динамических характеристик процесса сборки на основе уравнений движения был смоделирован процесс соединения различных типов заготовок с криволинейной образующей.

## **Интеграция робототехники в повседневную жизнь**

Чернышевский А.Н.

Научный руководитель – Николаев П.Л.

МАИ, г. Москва

Современный мир не стоит на месте, с каждым годом научные умы делают новые открытия и упрощают нашу жизнь, внедряя инновации. С каждым годом на помощь человеку приходят новые открытия и об одном из них: замещением человеческой силы машинной, не только в глобальном производстве, но и в бытовых условиях, хотелось бы рассказать подробнее.

Рассмотрим робота, который будет мыть окна. Это позволяет не только экономить, но и что более важно не рисковать человеческими жизнями, а также убирать грязь в труднодоступных местах. Такие роботы оснащены датчиками приближения, данные с которых формируют траекторию перемещения. Мощный вакуум крепит устройство к поверхности, а моторчик помогает двигаться, а также распыляет моющее средство. Для надежного крепления предусмотрен страховочный трос – в случае отказа присоски, он подстрахует девайс от падения.

На верхней панели находятся индикаторы состояния, которые показывают уровень заряда аккумулятора, режим работы устройства. С обратной стороны индикаторы также продублированы, что позволяет отслеживать состояние прибора вне зависимости от вашего местоположения относительно его.

Робот оснащен ИК приемником, благодаря нему с помощью пульта дистанционного управления можно самостоятельно управлять устройством. Также рядом располагается динамик, который при завершении выполняемых работ подает звуковой сигнал оповещения. Есть кнопка ручного включения-выключения. Мешочек для сбора пыли, куда всасываются мелкие пылинки с поверхности.

Плюсы использования техники:

- Снижение затрат;
- Использование в труднодоступных местах;
- Экономия человеческих ресурсов;
- Снижение уровня опасности;
- Улучшение качества жизни пользователя;
- Толчок для развития инженерной мысли.

Одним из таких примеров применения роботов в бытовой сфере может служить робот-мойщик для чистки окон iBotoWin 168 китайской фирмы производителя или его конкурент Nobot-188 тайваньского производства.

Робот, моющий окна – это надежное устройство, обладающее необходимым функционалом, позволяющим выполнять работу с минимальным участием человека. Именно благодаря комбинации надежности, простоты использования, эффективной работы, освобождения человека от опасного и трудоемкого процесса, снижения уровня расходов можно с уверенностью сказать, что у таких устройств есть светлое будущее.

### **Расчёт оптимальных характеристик смесителя системы наддува бака окислителя на основе комплексной модели**

Черский А.С.

Научный руководитель – Бутко А.О.

МАИ, г. Москва

Основной целью моей работы была оценка проектных характеристик изготовления изделия на основе параметризованной структурной модели и определение их оптимальных значений.

Для создания модели изделия «Смеситель» (рис. 1), мною был выбран программный комплекс СПМ, который позволяет создавать геометрические параметризованные модели, а также модели технологических процессов и производственных спецификаций, реализует функцию передачи данных из структурно параметрической базы в систему управления проектами Microsoft Project. Исходными данными в работе служили чертежи и спецификации.



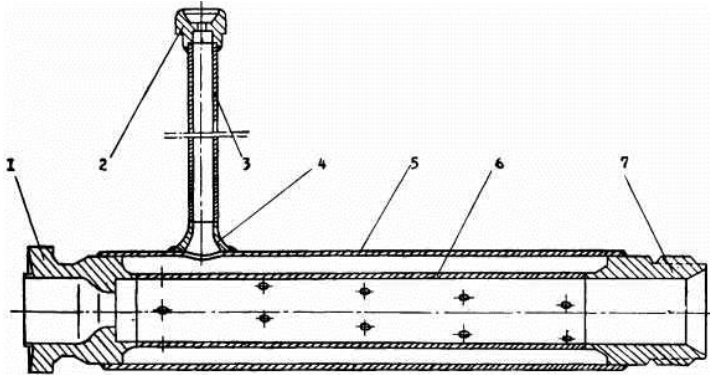


Рис.1. Смеситель

1 Жиклер, 2 жиклер, 3 труба, 4 переходник, 5 кожух, 6 труба, 7 штуцер

В смесителе (рис. 1) образуется газ с избытком окислителя для наддува бака изделия.

Смеситель представляет собой сварную конструкцию, состоящую из трубы 6 и кожуха 5. В пяти поперечных сечениях трубы 6 имеется по четыре равномерно расположенных по окружности отверстия. К кожуху 5 приварена труба 3, соединяющаяся с полостью окислителя газогенератора. Газ от коллектора турбины через жиклер 1 поступает в трубу 6. Для понижения температуры газа до требуемой из газогенератора через жиклер 2 по трубе 3 подводится окислитель, который через отверстия в трубе 6 впрыскивается в газовый поток. Номинальные расходы газа и окислителя обеспечиваются жиклерами 7 и 2.

В модели сборки будет реализована система параметризации, которая осуществляется путём задания одного параметра в виде переменной и составления формул для других величин, зависящих от этого параметра. С помощью варьирования исходными данными планируется выбрать оптимальную конфигурацию изделия.

Обработка структурно-параметрических моделей с целью получения технологических решений осуществляется технологическим моделлером. Модуль `pr_tech` осуществляет обработку моделей производственных систем и обеспечивает вывод результата в форме маршрутных карт. Далее с помощью модуля интерфейса будет сформирован проект в системе Microsoft Project. В результате формирования проекта будут получены данные о стоимости, сроках его выполнения и затрачиваемых в процессе производства ресурсах. На основе этих данных можно делать выводы о целесообразности запуска данного проекта.

## **Возможности САПР для разработки изделий различной сложности**

Чижиков А.С.

Научный руководитель – Хорошко Л.Л.

МАИ, г. Москва

В современном мире сложно переоценить ценность времени, которое является одним из основных ресурсов в любом деле, и при разработке приборов в частности. Возможно, одним из самых важных параметров прибора, является точность его исполнения. Причем важна, как полнота и проработанность конструкторской документации, так правильность и точность непосредственного изготовления изделия и его компонентов.

Современные САПР позволяют детально проработать изделие вплоть до взаимодействия каждой отдельной детали путем анализа сборочной модели изделия. В зависимости от специализации конкретной САПР, есть возможность произвести анализ реакции изделия на внешние раздражители, износ частей или общую прочность конструкции и узлов. При этом анализируемыми изделиями могут служить как детали из традиционных материалов с простейшей геометрией, так и сложная сборка, разработанная с использованием современных материалов, которые активно добавляются разработчиками в библиотеки материалов.

Как отдельное преимущество при работе со сборками в САПР можно выделить наглядность работы, как с отдельными деталями изделия, так и со сборкой целиком. Очевидным плюсом наглядности является простота разработки необходимых узлов «как они есть» прямо на имеющейся сборке и затем оформление получившейся детали как отдельного компонента сборки, что особенно удобно при разработке различных опорных, поддерживающих или соединительных элементов.

## **Построение систем массового обслуживания с использованием теории нечеткой логики**

Шеволдаев Д.А.

Научный руководитель – Ильин В.Н.

МАИ, г. Москва

Анализируется актуальность и возможность описания работы систем массового обслуживания (СМО) с позиций теории нечеткой логики. На производительность и стоимость СМО существенное влияние оказывают количество каналов обслуживания, учет вероятностей поступления заявок в каналы, длительностей их обслуживания, порядка выбора заявок из очереди и др. Правильное определение и использование этих характеристик при проектировании и в процессе работы СМО позволяет оптимизировать работу СМО при минимальных затратах на её создание.

В настоящее время необходимо проводить проектирование и исследование все новых типов СМО, в которых существенную роль играет человеческий фактор. Работу таких систем невозможно адекватно описать четкими логическими рассуждениями, поэтому возникает необходимость применения нечеткой логики. Нечеткая логика представляет собой удобный способ

построения систем управления сложными технологическими процессами, а также любых других систем. Предлагаемый подход к построению СМО создаёт возможность трансформировать с помощью шкал наименований и функций принадлежности качественные понятия естественного языка, такие как "высоко", "средне", "низко" и др., в количественные характеристики регулируемых параметров СМО. Сама трансформация выполняется экспертной системой, содержащей совокупность правил нечёткой логики. В результате использование нечёткой логики позволяет оперативно регулировать загрузку каналов СМО не по принципу «включить-выключить», а более мягко, например, перенаправляя потоки заявок от перегруженных каналов к недогруженным, регулируя дисциплины назначения каналов, допустимые длины очередей и др. Важно отметить, что применение нечёткой логики для регулирования характеристик СМО позволяет исключить человека из процесса регулирования и создавать адаптивные самонастраивающиеся СМО, оперативно перестраивающие свои характеристики в зависимости от текущей ситуации.

Предложенный подход целесообразно использовать также при создании САПР для проектирования СМО с фиксированными параметрами. С помощью такой САПР можно, используя нечёткую логику, определять оптимальные значения параметров структуры и значения характеристик создаваемой СМО.

В заключение автор делает вывод, что нечеткая логика представляет собой удобный и эффективный способ построения СМО.

## **Развитие метода табличного представления производственно-технологических данных**

Шустров В.В.

Научный руководитель – Цырков А.В.

МАИ, г. Москва

В различных отраслях промышленности не маловажным фактором является повышение производительности труда, чему способствует внедрение и постоянная модернизация материальных технологий.

Опытная эксплуатация модуля, реализующего метод, выявила несколько направлений совершенствования методики подготовки и сопровождения технологических данных. Одним из которых является модернизация графического интерфейса для представления данных об изделии в виде структурно-параметрических моделей (СПМ).

Макет функционального расширения «Табличный редактор» разрабатывался с целью представления информации специалисту в привычном для него виде. Интерфейс дорабатывается с целью адаптации получаемых данных для конкретного пользователя системы. Это позволит сократить время работы с данными.

В данный момент макет модуля работает в двух режимах: «Операции» и «Переходы». Специалист имеет возможность выбора необходимого вида, предоставляющий пользователю базовый набор данных, которые можно изменять под необходимый случай. Открытие табличного редактора в виде «Операции» даёт возможность увидеть номера операций, участки, виды работ,

мастеров, разряды, виды оплат и прочую нормативную и технологическую информацию.

Открытие табличного редактора в виде «Переходы» даёт возможность увидеть номера операций, виды работ, мастеров, описание переходов и прочую нормативную и технологическую информацию.

Другим направлением является подключение функционала для поиска операций и переходов, а так же возможность формирования новых позиций в соответствии с требованиями ЕСКД. В качестве источника данных для поиска решений будет использована база технологических знаний, формируемая на основе СПМ.

## **СЕКЦИЯ № 11. Современные информационные технологии и их применения**

Руководитель секции: к.ф.-м.н. Костиков Ю.А.

---

### **Разработка приложения для распознавания печатных фотографий с использованием дополненной реальности**

Агаджанян Д.В., Чукарин М.И.

НИУ ВШЭ, г. Москва

Дополненная реальность - это технология, позволяющая наложить на реальный мир дополнительный контент (информация, аудио, видео и т.п.) с целью дополнения сведений об окружающем мире и обеспечения простоты восприятия информации.

В рамках данной разработки, наиболее остро проблема стоит в выборе метода для точного распознавания лица на печатной фотографии. После анализа существующих методов, будет выбран наилучший для целей приложения метод, который будет оптимизирован для наилучшего результата.

Метод Виола-Джонса

Основные принципы метода:

- использование интегрального представления изображения для быстрого вычисления необходимого объекта
- использование признаков Хаара для поиска объектов (лица, черт лиц)
- использование Boosting (усиление, улучшение), чтобы найти соответствующие признаки искомого объекта на изображении
- использование классификатора, на вход которого поступают все признаки и на выходе получают либо «верно», либо «ложь»

Поиск признаков: Признак Виолы-Джонса представляется суммой всех пикселей прямоугольной зоны, с помощью которой происходит поиск объекта. Прямоугольных зон должно быть множество. Разность между суммой всех пикселей белых прямоугольников и черных прямоугольников и есть размер этого признака. Хранение изображения в интегральной форме, где сумма всех пикселей слева и сверху записаны в каждом пикселе является преимуществом и упрощает процесс проверки прямоугольных признаков, проводя каждую проверку за определенное статичное время.

Обучение: Чем больше вариантов различных признаков, тем дольше придется рассчитывать каждый признак, что влияет на время расчета. Чтобы ускорить процесс подсчета каждого признака за наиболее короткое время, используются улучшенные алгоритмы обучения, например, такие как AdaptiveBoost (алгоритм усиления классификатора и признаков).

За основу разрабатываемого приложения будет использоваться метод Виола-Джонса, так как данный метод подходит по следующим признакам: относительно-небольшая вычислительная сложность для работы на смартфоне, при использовании современных методов обучения, статичное и маленькое время распознавания. Приложение будет иметь интерфейс, который будет связан с базой данных, включающая в себя заранее заложенные эталоны и весь

контент о них. При наведении камеры на печатную фотографию, с интервалом в 1 секунду будет запускаться алгоритм распознавания лица, он будет сравнивать полученный кадр с эталонами в базе данных, если количество признаков будет достаточно для идентификации распознанного лица, то приложение выдаст весь имеющийся контент об этой персоне.

В заключении анализа, был проведен обзор используемых существующих методов распознавания объектов (в данном контексте лиц), и выбран наилучший метод для реализации приложения, также был проведен обзор приложений.

Литература.

1. P. Viola and M.J. Jones, «Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features», proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), 2001.

2. P. Viola and M.J. Jones, «Robust real-time face detection», International Journal of Computer Vision, vol. 57, no. 2, 2004., pp.137–154.

3. Р.Гонсалес, Р.Вудс, «Цифровая обработка изображений», ISBN 5-94836-028-8, изд-во: Техносфера, Москва, 2005. – 1072 с.

4. Местецкий Л. М., «Математические методы распознавания образов», МГУ, ВМиК, Москва, 2002–2004., с. 42 – 44

## **Симулятор-тренажёр для обучения работе на комплексе, управляемом группой людей**

Алёшин А.Е.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

В современном информационном обществе все больше и больше процессов пытаются симулировать на компьютерах, поскольку это удобно и экономично. Такие симуляторы часто используются для повышения эффективности обучения. К примеру, в автошколах в последнее время довольно популярны подобные приложения для обучения вождению.

Проблема в построении подобных приложений возникает тогда, когда симулируемый объект должен управляться несколькими людьми, причём с различными должностными обязанностями и возможностями.

Для решения данной задачи была разработана модель симулятора, позволяющая готовить расчёт, управляющий сложными комплексами. Модель состоит из следующих блоков:

- Блок преподавателя
  - А) Редактор заданий
  - Б) Выдача заданий операторам
  - В) Контроль выполнения выданных заданий
- Блоки симуляции работы операторов (Количество блоков обуславливается количеством различных ролей – должностей).
- Блок координации и обмена информацией (Непосредственно отвечает за передачу и обмен данными как между операторами и учителем, так и между самими операторами).
- Блок управления уроками и ролями.
- Блок хранения результатов обучения и тестирования.

Для реализации данной модели разрабатывается программа симулятор, позволяющая обучать группу людей, работающих в команде над одной задачей. Приложение запускается на трех компьютерах и управляется тремя студентами. У каждого студента свой графический интерфейс и свои блоки управления, которые определяются выбранной студентом ролью в своей группе. Такой разделенный интерфейс помогает передать ощущения от нахождения в реальном симулируемом объекте, которым должны управлять несколько человек.

Программа позволяет симулировать основные режимы работы некоторой машины. Ключевым звеном в работе всего приложения является преподаватель, который на своем компьютере создает различные задачи и отправляет их в дальнейшем на компьютеры студентов. Каждая группа, получив свое задание от преподавателя, должна согласованно выполнить все необходимые действия на своей машине, чтобы решить поставленную им задачу. Преподавательский модуль позволяет следить за результатами одновременно четырех групп студентов и выдавать каждой группе различные задачи. Также имеется режим работы, в котором несколько групп студентов объединяются и сообща выполняют одну задачу. В этом режиме важна согласованность не только внутри конкретной группы, но и внутри всего объединения.

Данная программа разрабатывается по просьбе преподавателей института военной подготовки МАИ и под их руководством. В дальнейшем программу предполагается регулярно использовать в процессе обучения будущих офицеров запаса.

### **Комплекс программных решений по автоматизации процессов образовательной структуры с использованием web-приложения для аэрокосмической отрасли**

Аносов Е.А., Климова К.М.

Научный руководитель – Терентьев М.Н.

МАИ, г. Москва

В современном мире автоматизированная система (АС) играет важную роль в работах любого предприятия, конструкторского бюро или лаборатории. АС можно использовать и для автоматизации процессов в образовательной структуре. Результатом использования АС как правило является снижение издержек, повышение производительности, контроль ресурсов, упрощение доступа к информации и т.д.

Разработка и внедрение АС (в том числе и в образовательной структуре) заключается в алгоритмизации и стандартизации всех возможных процессов, а также в сборе всевозможной информации в единую базу данных. Такой подход позволяет получать актуальную информацию, а также проводить своевременный контроль использования ресурсов.

На кафедре 609 МАИ разработана экспериментальная версия АС с использованием технологии разработки web-приложений. Эта система обладает собственной серверной программной платформой с использованием интерпретируемого языка программирования PHP. Также система использует

реляционную модель базы данных в рамках системы управления базами данных MySQL.

Целью нашей работы являлась разработка приложения, позволяющего пользователям АС отслеживать нагрузку преподавателей, их расписание, списки студентов, групп, потоков. Администрация кафедры имеет возможность создавать и редактировать данную информацию.

Поставленная задача решалась в виде web-приложения, что обеспечило: централизованное хранение и обработку информации, одновременное предоставление доступа к информации большому числу пользователей, независимость от операционной системы компьютера пользователя, незачем устанавливать программное обеспечение приложения.

Разработанная система в значительной мере облегчает работу с назначением нагрузки, отмечается возможность выгрузки и сохранения данных в различных форматах.

Одним из направлений дальнейшей разработки является обеспечение работы с данными не только с помощью web-приложения, но также и с использованием мобильных устройств.

В результате проведенной работы было спроектировано и успешно реализовано кроссплатформенное web-приложение. Разработанное предложение удовлетворяет всем поставленным требованиям, успешно справляется с главной задачей – оптимизировать работу образовательной структуры.

## **Разработка облачного сервиса управления складом предприятия**

Аракелян Д.В.

Научный руководитель – Чумакова Е.В.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день управление складом осуществляется при помощи прикладного программного обеспечения, работающего непосредственно на рабочих станциях и серверах предприятия. Это подразумевает наличие у данного предприятия собственной информационной инфраструктуры, включающей в себя сервер баз данных, терминалы, рабочие станции, сетевое оборудование. Развертывание, настройка и обслуживание такой инфраструктуры требует существенных затрат, не говоря о стоимости самого программного обеспечения. В следствии чего небольшие предприятия зачастую не могут позволить себе приобретение и развертывание подобных информационных систем.

Для решения данной проблемы мною разрабатывается информационная система управления складом работающая на облачной платформе. Такая платформа обеспечивает выполнение приложений и хранение данных на серверах, расположенных в распределённых ЦОД-ах (центрах хранения и обработки данных).

Ведение складского учета осуществляется через веб-приложение, связанное с сервером базы данных, также находящимся в облаке. Доступ к этому приложению возможен через любой веб-браузер. Как правило товары определяются в базе данных через штриховой код. Для добавления товара в базу данных будут использоваться мобильные телефоны со встроеной камерой. С



этой целью разработано мобильное приложение, которое с помощью камеры телефона считывает графический код и заносит товар в единую базу данных. Связь мобильных устройств с базой данных обеспечивает отдельная веб-служба, которая также выполняется в облаке.

Поскольку доступ к сервису осуществляется через интернет, немаловажным аспектом является обеспечение безопасности и сохранности данных. Это делается путем ограничения доступа к основному приложению и мобильной веб-службе.

В качестве облачной платформы была выбрана Microsoft Azure с сервером баз данных MySQL. Для создания веб-приложения выбрана технология Microsoft ASP.NET MVC 5, а для мобильной веб-службы Microsoft ASP.NET Web API. Веб-служба в отличие от основного приложения не имеет никакого графического интерфейса, в ее задачи входит обмен HTTP запросами с мобильным приложением. Объектно-ориентированный язык программирования C#, являющийся частью платформы Microsoft .NET, выбран как основной язык программирования.

Основными преимуществами такой информационной системы являются: доступность через интернет, мобильность и сокращение временных затрат на внедрение и оперативное перераспределение ресурсов. Ключевой особенностью также является использование мобильных телефонов со встроенной камерой вместо специальных сканеров.

## **Проектирование геометрического облика крыла пассажирского авиалайнера из полимерных композиционных материалов**

Барановски С.В.

Научный руководитель – Михайловский К.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

В настоящее время, в связи с проектированием и изготовлением нового поколения пассажирских авиалайнеров, возрастает доля применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкции (до 50%). В связи с чем, ключевую роль в обеспечении работоспособности ответственных несущих силовых элементов авиалайнера играет проектирование и обоснование конструкций и деталей из ПКМ, с требуемой схемой армирования.

Одним из наиболее ответственных элементов корпуса авиалайнера является крыло, предназначенное для создания аэродинамической подъемной силы и обеспечения поперечной устойчивости. В настоящее время крылья изготавливают из ПКМ, которые позволяют обеспечить массовую эффективность без снижения работоспособности.

Работы в области методик проектирования крыла активно ведутся как мировыми, так и отечественными специалистами, однако они имеют разрозненный характер и направлены на определённые задачи, в частности оптимизация уже имеющихся конструкций с помощью различных методов, исследование аэродинамики и нагрузок на крыло, получение проектной конструктивно-силовой схемы (КСС).

На основе вышесказанного, цель работы заключается в разработке методики проектирования крыла из полимерных композиционных материалов,

объединяющей в себе как проектирование КСС, так и отдельных силовых элементов.

Методика проектирования представляет собой ряд последовательных стадий и состоит из:

- выбора вариантов первичного геометрического облика, т.е. аэродинамический профиль, размах, площадь;
- проведения расчётов для получения нагрузок для заданного режима полёта (скорость, угол атаки, высота);
- проектирование КСС (выбор количества и места расположения силовых элементов: лонжеронов, нервюр, стрингеров);
- проектирование отдельных силовых элементов конструкции из ПКМ (выбор материала, схемы армирования, толщины стенок и поясов, геометрического профиля и т.п.).

Апробация методики проводилась на крыле среднемагистрального авиалайнера. Рассматривался вопрос обоснования геометрического облика крыла и параметрического расчёта для определения аэродинамической нагрузки.

Параметрический расчёт для определения аэродинамической нагрузки на крыло осуществлялся в программном комплексе ANSYS 16 с помощью модуля CFX. На основе существующих авиалайнеров было построено 12 вариантов геометрических моделей крыла. В результате расчёта были определены аэродинамические нагрузки на крыло: давление по крылу, температура в результате аэродинамического нагрева, направления потока вблизи поверхности крыла. Из анализа результатов моделирования определено, что наименьшие аэродинамические нагрузки у трапецевидного крыла с прямой стреловидностью, со спрямлённым участком и несимметричным аэродинамическим профилем.

Результаты моделирования по распределению силовых нагрузок, температур будут использоваться для разработки КСС данного крыла из ПКМ, где будет осуществляться расчет количества и мест расположения силовых элементов, параметров силовых элементов из ПКМ, схем армирования, толщин стенок и поясов.

## **Разработка информационной системы каталогизации предметов снабжения как подсистемы интегрированной логистической поддержки**

Баширов С.Р.

Научный руководитель – Бендерский Г.П.

МАИ, г. Москва

В настоящей работе рассматриваются вопросы создания информационной системы каталогизации предметов снабжения. Такая система используется как подсистема интегрированной логистической поддержки, позволяющей разрабатывать и реализовывать на практике моделирование систем обеспечения, поддерживающих процессы проектирования, продажи и эксплуатации наукоемких изделий.

В процессе создания указанной системы использовались принципы процессного подхода к управлению, согласно которым:

- Организация представляет собой сеть процессов. Процессом является любая деятельность, где имеет место выполнение работ. Все процессы организации взаимосвязаны между собой;
- Каждый процесс должен иметь цель, а его результаты должны быть востребованы. У результатов процесса должен быть свой потребитель внутренний или внешний;
- Деятельность по процессу необходимо документировать. Это позволяет стандартизовать процесс и получить базу для изменения и дальнейшего совершенствования процесса;
- Каждый процесс имеет начало и конец, которые определяют границы процесса. Для каждого процесса в рамках заданных границ должны быть определены показатели, характеризующие процесс и его результаты;
- В выполнении процесса могут быть задействованы различные специалисты и сотрудники, но отвечать за процесс и его результаты должен один человек.

Следовательно, для создания вышеуказанной системы необходимо провести анализ бизнес процессов интегрированной логистической поддержки изделия, провести анализ информационных потоков и интерфейсов взаимодействия системы с другими бизнес процессами и системами предприятия, разработать структуру баз данных и интерфейсов. Помимо этого, необходимо разработать требования по техническому, программному, информационному и лингвистическому обеспечения системы каталогизации предметов снабжения.

Данная система может повысить эффективность разработки, производства, заказа, поставки, хранения, эксплуатации (в том числе материально технического обеспечения), ремонта, утилизации и экспорта продукции, улучшить качество и конкурентоспособности продукции, обеспечить информационное сопровождение продукции на этапах ее жизненного цикла и оказать содействие проведению работ по стандартизации и унификации продукции. Кроме того, вышеуказанная система позволяет автоматизировать процесс каталогизации предметов снабжения, ускорить процесс добавления новых предметов снабжения в каталог, избежать дублирования информации в различных форматах описания и облегчить доступ к уже добавленным в каталог данным.

### **Интерактивный комплекс визуализации исторических сражений**

Берецкий И.С., Ирбитский И.С.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Проблема, всё чаще возникающая в последнее время - плохая заинтересованность учащихся в уроках истории. Для повышения интереса нужно сконцентрироваться на повышении увлекательности самих уроков, а именно на способе подачи материала, по возможности сделав его интерактивным.

Для решения данной задачи было предложено разработать программный комплекс, позволяющий не только смоделировать сражения древности, но и изменять ход битвы.

Данная программа позволит наглядно продемонстрировать процесс сражения и тактические схемы, используемые военачальниками того времени. Пользователь видит передвижение отрядов и как их расположение и маневры влияют на исход сражения. Например, при атаке с фланга урон увеличивается примерно в 1.5 раза, а при атаке с тыла – примерно в 2.

Перед началом работы пользователь выбирает изучаемое сражение. В каждом сценарии описаны данные, отражающие события прошлого: численность отрядов, их род войск, вооружение, направления движения и время вступления в бой. Также учитываются рельеф и погодные условия.

После запуска отряды начинают своё движение в выбранном направлении. При пересечении с противником запускается функция расчёта потерь. Она будет запускаться несколько раз, до тех пор, пока один из отрядов не будет уничтожен или не отступит в следствии малой морали. Оставшийся же отряд будет действовать в соответствии с запрограммированной логикой.

Основным преимуществом данного комплекса является интерактивность: пользователь может изменить изначальные входные данные модели на свои для последующего анализа. Для вычисления результатов применяется «модель Ланкастера»:

$$\begin{cases} \dot{x} = -b \cdot y, \\ \dot{y} = -a \cdot x. \end{cases}$$

В ней  $x$  и  $y$  – численности войск до столкновения,  $a$  и  $b$  – «мощность их оружия», параметр, вычисляемый динамически исходя из текущего состояния модели. Какие-то из данных задаются пользователем изначально и в дальнейшем не изменяются – как пример, погодные условия. Какие-то задаются в начале, но в ходе моделирования изменяются - это усталость и мораль участвующих в бое подразделениях. Некоторые коэффициенты подставляются исходя из данного столкновения - тип вовлечённых войск и местность, на которой они столкнулись. Все эти переменные сказываются на коэффициентах мощности оружия  $a$  и  $b$ .

В данный момент модель проходит тестирование на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

## **Сравнительный анализ технологий LeapMotion и RealSense для разработки унимодальных жестовых интерфейсов**

Бизюкин Г.А.

Научный руководитель – Майков К.А.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

В связи с развитием технологий виртуальной реальности особую практическую актуальность представляют исследования в области человеко-компьютерных жестовых интерфейсов.

Актуальность проблемы обусловлена также тем, что существующие технологии графического интерфейса, имеют ряд недостатков.

Для их использования необходимо обладать навыками работы со средствами интерфейса.

Затруднена возможность перманентной аутентификации пользователя в процессе использования технической платформы. После авторизации система никак не защищена от несанкционированного использования.

Графический интерфейс, как правило, создаётся для индивидуального использования. Для коллективной работы требуются дополнительные аппаратные и программные средства.

Жестовый интерфейс позволяет устранить указанные недостатки. Помимо этого, обладает несомненно перспективными возможностями для управления промышленным оборудованием, бытовой техникой, роботами, особенно, в условиях функциональных ограничений.

Рассматриваются две наиболее перспективные технологии, которые могут быть использованы для разработки и реализации жестовых интерфейсов.

Целью данной работы является сравнительный анализ функциональных особенностей программно-технической реализации разработок LeapMotion и RealSense, а также сравнение сред специализированной разработки и интерфейсов прикладного программирования.

В настоящей работе исследуются аппаратные платформы LeapMotion и RealSense, предметом изучения является качество распознавания жестов, которую они могут обеспечить.

В качестве количественной оценки выступает вероятность распознавания базового набора жестов. Для определения корректности результатов распознавания используются средства трёхмерной визуализации, такие как Unity3D.

Тесты проводились для разных наборов исходных данных при различной интенсивности некогерентных источников широкополосного излучения.

Выявлен ряд функциональных ограничений, предлагаются практические рекомендации по их устранению.

На основе каждой из технологий, с учётом их особенностей, реализован и протестирован унимодальный жестовый интерфейс, демонстрирующий работоспособность программной реализации.

### **Автогенерация объектов заданных типов на основе плоской схемы**

Бикмухаметов Д.А., Рассохин С.А., Ткаченко М.В.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

В наше время технологии активно развиваются, и порой перед разработчиком встаёт задача разработки приложения, для которого требуется моделирование большой местности.

Проблема состоит в том, что при разработке приложения (в нашем случае игры) на проектировку мира и создание полноценной 3D модели затрачивается большое количество времени.

Для решения данной проблемы был создан программный комплекс для автоматического заполнения карты местности на основе изображения, содержащего помеченные для заполнения области.

Программа будет содержать разные типы заполнения для областей:

- Лес – разнообразная растительность, включающая деревья, кустарники и т.д.
- Городская местность – здания городского типа.
- Сельская местность – небольшие 1-2ух этажные здания деревенского типа.
- Водная местность – область, заполненная водой.

При рисовании областей заполнения на плоскости используются следующие пометки:

- 1) Л – лес
- 2) С – сельская местность
- 3) круг – город
- 4) Горизонтальная полоса – вода

Распознав область, программа будет искать внутри метку для определения типа текущей области.

Архитектурно программа разделена на 2 части:

- Распознавание плоской схемы.

Эта часть программы будет распознавать нарисованные фигуры и пометки внутри них для того, чтобы на их основе во второй части программы строить различного типа местности на основе типа области. Первая часть будет написана на C#.

- Построение 3D-объектов.

Эта часть программы будет заполнять области на основе схемы из пункта (1).

Её задача – правильно расположить объекты в рамках одной области, а также по распознанным меткам задать свойства содержащимся в ней моделям. После построения и всех обработок готовая модель мира экспортируется в один из предложенных форматов. Вторая часть программы будет написана на BlenderPython.

Внедрение программы может сильно облегчить работу разработчикам программного обеспечения, которые не обладают достаточным количеством средств и времени для ручного рисования больших моделей местности, а также дать больше возможностей начинающим разработчикам, давая готовый инструмент для быстрого старта.

Программный комплекс автогенерации разрабатывается на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

## **Разработка программного комплекса для расчёта течений в ракетных двигателях с учётом горения частиц**

Богдевич Ю.Р., Валяйкин А.Н., Костюшин К.В.

Научный руководитель – Еремин И.В.

НИ ТГУ, г. Томск

Известно, что сопло Лавалья, как и большинство газодинамических устройств, с максимальной эффективностью работает на одном режиме или в очень узком диапазоне изменения высотных характеристик. Также на сопловой блок в общем случае накладываются ограничения по габаритам и массе. На этапе эскизного проектирования, инженеру необходимо проработать множество вариантов геометрии сопловых блоков, и выбрать из них несколько для более детальной

проработки. Кроме того, проводятся работы по совершенствованию удельных характеристик двигателей, в частности, прорабатывается возможность повышения удельного импульса тяги за счет добавок порошков легких металлов, в том числе ультрадисперсных, гибридов металлов и т. д. Такие составы топлив в настоящее время интенсивно изучаются. В результате необходимо рассмотреть вопросы по определению скорости их горения и по спектру образующихся окислов металлов. Эта информация важна для изучения газодинамической картины течения продуктов сгорания в сопле и определения уровня двухфазных потерь удельного импульса. В связи с этим существует необходимость в разработке программного обеспечения для быстрого расчета основных параметров течений рабочих тел в соплах ракетных двигателей.

Для решения данной задачи создан инженерный программный комплекс, предназначенный для проведения быстрых многопараметрических расчетов с целью определения параметров течения рабочих тел и энерго-тяговых характеристик энергоустановок, а также профилирования их газодинамических трактов.

Разработанный программный комплекс позволяет: строить контуры радиусно-конических и радиусно-параболических сопел на заданные геометрические характеристики; строить произвольные контуры по точкам, используя интерполяцию кубическими сплайнами; профилировать геометрию сопловых блоков ракетных двигателей; формировать полный перечень исходных данных, включающий в себя: термодинамические и теплофизические параметры рабочего тела, характеристики рабочего процесса в камере сгорания, геометрию газодинамического тракта и параметры расчета; проводить расчеты параметров течений продуктов сгорания с учетом горения и изменения размеров частиц конденсированной фазы в одномерном приближении; управлять проведением многопараметрических расчетов; представлять результаты расчетов в табличном и графическом виде и иметь систему хранения.

Уравнения одномерной газовой динамики, описывающие течения в сопле, решаются методом Годунова и методом Мак-Кормака. Для учета горения частиц используется модель Бекстеда. Профилирование сверхзвуковой части соплового блока реализовано с помощью метода неопределенного контрольного контура.

Программный комплекс реализован на языке C# с использованием программной платформы NET Framework 4.5, для реализации графического интерфейса использовалась технология WPF (WindowsPresentationFoundation), для разметки страниц использовался язык XAML, некоторые вычислительные библиотеки были написаны на C++. Верификация работы программного комплекса проведена путем сравнения с известными решениями.

## **Веб-сервис оформления справок об обучении**

Бондаренко Р.Н.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день большинство операций можно совершать при помощи интернета. Такие веб-сервисы значительно упрощают нам жизнь. Это является автоматизацией в той или иной сфере, что значительно экономит время как со

стороны заказчика, так и со стороны исполнителя, и безусловно является удобным для обеих сторон. Одним из таких веб-сервисов является заказ справок об обучении в ВУЗе по месту требования.

Принцип работы данного веб-сервиса

Существует несколько веб-страниц, которые предназначены для заказчика, исполнителя и администратора. Страницы для исполнителя и администратора защищены такими данными, как логин и пароль. Страница заказчика является открытой.

Когда пользователь оставляет заявку для выдачи справки, ему на указанную электронную почту отправляется соответствующее сообщение для подтверждения заявки. После подтверждения эта информация заносится в базу данных. Если один и тот же пользователь в один день оставляет более двух одинаковых заявок, то ему высылается уведомление о личной явке в пункт выдачи справок для официального подтверждения.

Каждое заполняемое пользователем поле проходит проверку на корректность. ФИО должны быть только на русском языке. Номер телефона, электронная почта, группа - проверяются на правильность ввода при помощи соответствующих регулярных выражений.

Фоновый процесс через определенные промежутки времени проверяет базу данных на наличие новых заявок, и при их наличии генерирует pdf или word или excel файл, вставляя в определенные места нужные данные, которые ввел заказчик. После успешной генерации такого файла, этот же фоновый процесс отправляет сгенерированный файл на электронную почту исполнителя для ее последующей выдачи. После генерации файла на странице исполнителя будет отображена информация, где он должен будет уведомить заказчика о том, что справка готова к получению.

Также пользователь может сам проверить состояние справки в любой момент на открытой веб-странице, введя в поле поиска соответствующий индивидуальный номер справки, который будет ему выслан на электронную почту после подтверждения заявки.

Реализация веб-сервиса

Каждая веб-страница (для заказчика, исполнителя и администратора) реализована на таких языках программирования, как HTML и PHP. На языке HTML реализован интерфейс, а на языке PHP сам функционал. Фоновый процесс (или demon) реализован на языке Python. Все обращения к базе данных используются при помощи SQL запросов.

Такой веб-сервис значительно упростит способ получения той или иной справки. Большинство операций будут производиться автоматически, которые до этого должен был делать исполнитель вручную, что безусловно будет удобно.



## **О перспективах имитационного моделирования функционирования систем**

Бузов П.А., Жихарев А.Г., Корчагина К.В.

Научный руководитель – Маторин С.И.

НИУ БелГУ, г. Белгород

С понятием «система» человек сталкивается очень часто, так как данное понятие широко используется как в повседневной жизни, так и в различных научных областях. Система представляется как нечто целостное, взаимосвязанное, единое. Фактически, любое сочетание объектов можно назвать системой. Исследованием систем занимается теория систем, научная и методологическая концепция исследования объектов.

При рассмотрении ряда определений системы мы можем выделить общие для всех определений положения:

- Система является совокупностью элементов.
- Элементы системы взаимосвязаны, то есть между элементами существует связь.
- Система является целостной.
- На поведение системы оказывает влияние внешняя среда.
- Система функционирует с определенной целью.

Из рассмотренных понятий системы можно выделить следующие составляющие системы:

Подсистема – компонент, элемент системы. Компоненты системы связаны между собой определенным образом. Структура – строение, порядок системы. Внешняя среда – множество элементов, не входящих в состав системы, но при их изменении изменяется состояние системы. Внешнюю среду можно представить, как входящие (влияние извне) и выходящие (реакция, ответ системы) элементы. Целостность – единство системы, зависимость элементов системы от его свойств, функций и взаимодействия элементов внутри системы.

Связь – объединяет систему в единое целое, связь характеризует строение системы, взаимодействие между элементами, функционирование системы, то есть процесс реализации системой ее функций. Остановимся на определении связи, исходя из которого существует два типа связей, один из которых – связь состояний, когда следующее по времени состояние является функцией от предыдущего. Состояние – совокупность основных параметров и характеристик какого-либо объекта, явления или процесса в определенный момент (или интервал) времени. Таким образом, состояние системы в момент времени  $t_2$  есть функция от состояния системы в момент времени  $t_1$ , или изменение количественных характеристик состояния системы. Так как связь – это свойства объектов, то связь – состояние системы в определенный момент времени, следовательно, связь обладает количественными характеристиками. Такими характеристиками могут быть вес, температура, скорость, численность и т.д.

Сложность понятия «система» не позволяет выделить какое-либо одно определение как основное, базовое. Каждое определение подразумевает, что система является целостной, организованной, комплексной, структурной, состоящей из частей во взаимодействии, целостность системы обеспечивает связь. Анализ существующих понятий «система» и «связь» позволил

определить, что связь обладает количественными характеристиками, изменение которых определяет функционирование системы. Для разработки формального аппарата имитационного моделирования функционирования систем, необходимо разработать средства формального описания количественных характеристик систем.

### **Анализ перспектив развития проекта «Семантический Веб»**

Бурмистров М.О., Поляков Н.А.

Научный руководитель – Фомичев В.А.

МАИ, г. Москва

В современном мире, в условиях интенсивного развития IT технологий и Интернета, а также увеличения количества Интернет-трафика, люди стали все больше времени тратить на поиск информации. В связи с этим возникла необходимость создания инструмента, ускоряющего поиск информации.

Проект «Семантический Веб» создавался, в частности, с целью сделать содержимое веб-страниц доступным для чтения не только человеком, но и, в значительной степени, компьютерными интеллектуальными агентами.

Особенность проекта заключается в том, что он обеспечивает передачу смысла запроса пользователя независимо от используемого приложения и языка, на котором происходит запрос. Это открывает большие перспективы, которые в будущем позволят осуществлять поиск данных на нескольких языках сразу, предоставляя доступ не только к статическим сайтам, но и к динамическим приложениям, сетевым сервисам и другим ресурсам, содержащим полезные данные.

С точки зрения пользователя идея проекта заключается в минимизации действий и выдаче в результате запроса ответа на запрос, введенный пользователем.

Задачи и проблемы Семантического Веба:

- индексация и поиск информации;
- разработка и поддержка метаданных;
- разработка и поддержка методов аннотирования;
- представление Сети в виде большой, интероперабельной базы данных;
- организация машинной добычи данных;
- обнаружение и предоставление веб-ориентированных сервисов;
- исследования в области интеллектуальных программных агентов.

Цель доклада заключается в исследовании существующих решений в данной области и применений проекта «Семантический Веб», а также анализ и прогнозирование возможного будущего развития данного проекта.

## Прогнозирование безотказного функционирования электротехнических устройств

Быбочкин Д.В.

Научный руководитель – Лисов А.А.

МАИ, г. Москва

В последние годы важное значение имеет безотказность технических объектов, поскольку возникающие отказы техники могут привести к значительным последствиям, таким как техногенные катастрофы, требующие огромные затраты на их устранение. Более того, нельзя исключать прямую угрозу человеческой жизни (авиация, личный и общественный транспорт и т.д.). В результате возникла необходимость прогнозирования безотказности техники до её непосредственного выхода из строя.

Для решения данной проблемы автором была поставлена цель – разработать основные методические решения, направленные на устранение отказов электротехнических устройств.

Чтобы достигнуть этой цели, необходимо использовать модель наблюдаемых в объектах процессов, параметры которой служат характеристическими параметрами указанного состояния.

При реализации нахождения неисправностей нужно вести учет показателей каждого устройства в отдельности с помощью базы данных, доступ к которой осуществляется через разрабатываемое клиентское приложение. Такой подход, в отличие от наиболее применимых методов извлечения прецедентов (метод ближайшего соседа, дерево решений, и т.д.) позволяет учесть знания экспертов в конкретной предметной области, что значительно сокращает для данного конкретного объекта время поиска решения в базе данных прецедентов. Поскольку значения характеристических параметров могут иметь различную размерность, для их безразмерного описания используется балльная система оценок.

Экспериментальные методы изучения конкретного устройства, предложенные в разное время разными авторами, преследуют одну цель - по возможности точно зафиксировать какой-либо параметр. Поэтому фиксируются разностные значения, как отклонения от значений параметра модели эталона. Об эталоне имеется достаточно полная априорная информация, поскольку известна его конструкция, технология изготовления и условия эксперимента. То есть, названные параметры объекта, оцениваемые по отклонениям от параметров эталона, по своей сущности служат характеристическими параметрами состояния объектов.

Характеристические параметры независимы друг от друга и способны меняться в процессе отработки объектами их ресурса. В свою очередь, поскольку на величину каждого из параметров оказывают влияние случайные факторы, то предполагается, что распределение плотности вероятности погрешностей в доверительном интервале их измерения подчиняется нормальному закону.

Попадание значения параметра  $x_i$  в тот или иной диапазон выделенного интервала измерений позволяет представить измеряемые параметры в баллах. Каждый балл измеряемой величины характеризует теперь номер поддиапазона в

диапазоне шкалы выбранной системы измерений. Совокупность показателей объекта, выраженных в баллах и образует систему балльных оценок, представленную в виде вариаций баллов параметров.

В свою очередь, набор значений, образующий каждую вариацию  $\{\Lambda\}$  можно задать кодом (k), отвечающим ее порядковому номеру в объеме названного множества (размерностью K). Таким образом, происходит обращение в базу данных по совокупности баллов  $\{\Lambda\}$  или по коду k.

Разрабатываемые методы рассматриваемого направления позволяют повысить уровень безотказности объектов и увеличить срок их активной жизни, а также исключить возможность изъятия из эксплуатации еще годных объектов.

## **Проектирование и разработка программного комплекса распознавания лиц в реальном времени**

Вельможин Г.А.

Научные руководители – Костиков Ю.А., Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

Разработка быстрого и устойчивого алгоритма распознавания лиц на изображениях и видеопотоках в настоящий момент – одна из приоритетных задач компьютерного зрения. Любой алгоритм распознавания лиц, независимо от технологии, можно разделить на несколько связанных блоков, таких как детектирование лиц, нормализация лиц, извлечение ключевых признаков, классификация полученных признаков.

В ходе работы были тщательно подобраны и проанализированы алгоритмы, отвечающие за основные этапы распознавания лиц. Для детектирования лиц на изображении был выбран алгоритм Виолы – Джонса [1]. Данный алгоритм является устоявшимся средством детектирования лиц и основывается на поиске прямоугольных примитивов Хаара на изображении. За счёт использования интегрального представления изображения, количество математических операций, необходимых для работы алгоритма сведено к минимуму. Метод Виолы – Джонса обеспечивает высокую скорость и точность обнаружения лиц на изображении.

Этап нормализации для многих алгоритмов распознавания лиц является уникальным, а в некоторых случаях может вообще отсутствовать. В данном проекте было принято решение использовать алгоритм `ConstrainedLocalModels` [2] для поиска опорных точек на лице. На вход модулю поступает прямоугольный участок исходного изображения с задетектированным лицом. На выходе получаем набор точек, описывающих положение глаз, носа, рта и контур лица. После этого лицо обрезается по контуру и выравнивается по центрам глаз в горизонтальной плоскости.

Для извлечения ключевых признаков используется модифицированный выход специально обученной свёрточной нейронной сети [3]. Архитектура сети была выбрана на основе последних публикаций в области нейронных сетей и модифицирована под имеющуюся задачу. Нейронная сеть была обучена на большом количестве лиц, прошедших обработку алгоритмом `ConstrainedLocalModels`. На выходе сети – вектор регулируемой размерности, который принимаем за характеризующий вектор лица. Полносвязный

классификатор нейронной сети после обучения был отброшен. Использование полностью связанных слоёв нейронной сети невозможно по причине долгого дообучения сети, что не соответствует требованиям к системе.

На заключительном этапе полученные характеризующие вектора используются для обучения классификатора на основе алгоритма k-nn. Обучение классификатора занимает меньше минуты для базы из 1000 человек при 16 изображениях лица на одного человека.

Данный алгоритм прошёл тестирование на базе изображений FaceScrub с параметрами: 250 человек по 32 фотографии на каждого, случайным образом отбираются для обучения классификатора и тестирования коэффициента ложного отказа в доступе (FRR), 250 человек по 16 фотографий отбираются для тестирования коэффициента ложного доступа (FAR).

Литература.

P. Viola and M.J. Jones. – Robust real-time face detection – International Journal of Computer Vision, vol. 57, №2, 2004., 137–154 с.

D. Cristinacce and T.F.Cootes, "Feature Detection and Tracking with Constrained Local Models", Proc. British Machine Vision Conference, Vol. 3, pp.929-938, 2006.

Bengio Y., LeCun Y. Scaling learning algorithms towards AI / Large-scale kernel machines (L.Bottou, O.Chapelle, D.DeCoste, J.Westoneds), MIT Press, 2007.

### **Визуализатор для изучения алгоритма нахождения независимого множества вершин графа**

Волков А.Ю.

Научный руководитель – Опадчий Ю.Ф.

МАИ, г. Москва

Разработанное программное обеспечение предназначено для работы в составе универсального программного комплекса и позволяет облегчить понимание студентами базовых алгоритмов, используемых для исследования графов и применяется при чтении лекций по курсу «Теория графов». Данный алгоритм визуализирует процесс поиска независимого множества вершин графа (НМВ).

Исходными данными для программы является матрица смежности, задаваемая универсальной оболочкой программного комплекса

После задания структуры исследуемого графа матрицей смежности пользователю предлагается выбрать в алгоритме нахождения НМВ один из трех путей решения задачи.

Первый из них основан на построении полного дерева подзадач независимого множества вершин, два других относятся к жадным алгоритмам и базируются на методе удаления выбранной вершины или методе удаления вершин смежных к выбранной.

Если выбран первый алгоритм, то строится полное дерево подзадач, вершинами которого являются подграфы, полученные после промежуточных преобразований исходного графа.

Эти преобразования выполняются по следующему принципу:

- В корне дерева подзадач НМВ находится исходный граф, в котором мы выбираем произвольную вершину;

- Слева от корня строится вершина первого уровня дерева подзадач, содержащая подграф с удаленными выбранной вершиной и всеми инцидентными ей ребрами;
- Справа от корня строится вторая вершина первого уровня дерева подзадач, содержащая подграф в котором удалены все вершины, смежные с заданной и инцидентные им ребра;
- Далее пункты 2 и 3 повторяются до получения НМВ.

В результате выполнения алгоритма на экране построено бинарное дерево подзадач. При необходимости, в этом дереве можно посмотреть содержание каждой его вершины, отображающей подграф, полученный на соответствующем ярусе обработки исходного графа. Если выбран первый жадный алгоритм, программа работает по следующему принципу. В левой части экрана высвечивается исходный граф. В правой части экрана строится часть полного дерева подзадач. При этом используется принцип удаления выбранной вершины. Выбранная вершина для скорейшего завершения поиска должна иметь максимальную степень (то есть наибольшее число инцидентных ребер). Программа сама выбирает такую вершину. Если имеется две или более вершин с одинаковой степенью, то программа спрашивает, какую из этих вершин выбрать. Далее происходит удаления этой вершины и всех инцидентных ей ребер. Затем опять выбирается вершина с максимальной степенью и так далее пока не останется только независимое множество вершин. Эти вершины отображаются в правом нижнем углу экрана.

Если выбран второй жадный алгоритм, то программа строит часть дерева подзадач, удаляя вершины, смежные с выбранной. В левой части экрана у нас опять высвечивается исходный граф, а в правой части экрана строится дерево подзадач. При этом в качестве исходной программа выбирает вершину с минимальной степенью. Если таких вершин две или более, то программа спрашивает, какую из этих вершин выбрать. Вершины, полученные в результате поиска, так же отображаются в правом нижнем углу экрана.

### **Исследование факторов влияния космического мусора на жизнедеятельность человека в космосе с использованием информационных систем управления**

Волкова Д.А.

Научный руководитель – Зенин А.И.

МАИ, г. Москва

Человечество начало задумываться об используемых ресурсах совсем недавно. Однако, именно рассмотрение последствий использования этих ресурсов дало наибольший скачок в развитии технологий. Человек успел оставить «свой след» как на Земле, так и в космосе. Специалисты считают, что космический мусор становится серьезной экологической проблемой. Он представляет угрозу и планете и перспективам пространства за её пределами. Значительную часть космического мусора представляют многочисленные взрывы, произведенные в околоземном пространстве на протяжении последних 50 лет. Это и управляемые взрывы отработанных ракетных ступеней, и ликвидация остатков топлива.

По самым скромным оценкам западных специалистов на орбите Земли плавают около полумиллиона деталей космического мусора, который намного меньше, чем тот, что можно отследить. Космический мусор размером с гайку может повредить космические корабли и создать опасность для людей на орбите. Все, что люди оставляют в пространстве (особенно если это больше не работает), способствует коллекционированию космического мусора. Единственный возможный путь постепенно обезопасить планету и не допустить эскалации проблемы – начать сбор космического мусора.

На данный момент происходят сдвиги по решению данных вопросов. Например, занимаются разработкой методов выведения объектов на орбиту без использования одноразовых элементов, которые и являются основной причиной образования космического мусора.

В этой статье мною были рассмотрены задачи, которые помогут справиться с существующими проблемами.

По итогам моей работы становится очевидной потребность в рациональном использовании ресурсов с целью повышения полезной деятельности и снижения факторов губительных для дальнейшего существования человечества, а также создание различных инстанций и методик для управления и отслеживания объектов в космосе.

### **Современная высокотехнологичная автоматизированная оболочка для проведения самостоятельных и контрольных работ с подключением внешних модулей**

Гаврилов А.В., Гулян К.Г., Морозов К.О.  
Научный руководитель – Романенков А.М.  
МАИ, г. Москва

В наше время информационные технологии охватывают многие сферы жизни. Одно из важных направлений развития – обучение. При организации контрольных и самостоятельных работ для большого количества студентов зачастую возникает проблема в предоставлении каждому студенту индивидуального задания. Очевидно, что преподавателю очень тяжело составлять задачи самостоятельно или работать с каким-то задачником или каким-либо методическим пособием. Также важную роль играет такой момент, что ко многим задачкам существуют сборники решений, что существенно понижает степень эффективности проверки и актуальной оценки знаний у студентов.

Для решения этой задачи была разработана система, с помощью которой преподаватель может без особого труда сгенерировать задачи трёх категорий для проведения контрольных и самостоятельных работ. Данная система состоит из нескольких частей и является расширяемой: реализовано интегрирование внешних модулей, которые реализовывают тот или иной функционал. Помимо всего прочего программный комплекс имеет модуль вычисления коэффициента сложности работ для выявления тех личностей, которые выполняли задания не самостоятельно.

Пользовательский интерфейс состоит из двух частей: преподавательской и студенческой. В преподавательской части реализован удобный и понятный

интерфейс для составления заданий всех трёх категорий. В ученической же части реализован дружелюбный и простой интерфейс, позволяющий тестируемому выполнять составленные задачи.

Для заданий третьей категории реализована возможность вычисления степени схожести двух и более работ. Алгоритм, по которому производится такая операция, описан в подключаемом модуле и может отличаться в зависимости от предмета или тематики теста. В представленной реализации программы для составления тестов по информатике, использовался алгоритм Колмогоровской сложности над сжатым представлением токенизированным представлением строк.

Выбранная архитектура позволяет не только генерировать специальные файлы для тестирующего приложения, но и получать задания в других форматах, таких как PDF и дальнейшей печати с использованием принтера.

Программа была реализована на языке C# с применением технологии .NET, а для реализации графического интерфейса применялась технология Windows Presentation Foundation (WPF). Поддержка внешних модулей реализована за счёт применения современной архитектурной технологии «шаблоны проектирования».

Данная система уже внедрена в процесс тестирования студентов на кафедре «Прикладная математика и информационные технологии». Стоит отметить, поразительный результат, что при проверке случайных работ на похожую тематику система показала, что из 10 работ 7 имеют высокую степень схожести. В дальнейшем планируется улучшение программы архитектуры и поиск наиболее эффективных решений для реализации предстоящих перед нами задач.

## **Разработка веб-приложения на платформе ASP.NET MVC и публикация с использованием платформы Microsoft Azure**

Гладышев Д.В., Трофимушкин А.С.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

Процесс создания современного веб приложения включает в себя следующие подзадачи: проектирование схемы баз данных, разработка серверных компонентов, создание интерактивного и современного пользовательского интерфейса. Решая каждую из них, мы получаем опыт использования различных технологий.

Ядром серверной логики является платформа ASP.NET, которая основывается на общезыковой исполняющей среде CLR, являющейся корнем всех приложений .NET. Несомненным плюсом ASP.NET является то, что, для написания кода может использоваться практически любой язык программирования, входящий в комплект .NET Framework. В данной работе был выбран C#.

С относительно недавних времен появилась технология ASP.NET MVC, которая является расширением стандартной платформы и реализует в себе архитектурный шаблон Model-View-Controller. Основная задача которого состоит в разделении кода на 3 независимые друг от друга компонента - модель,



вид и представление. Каждый из компонентов имеет четко определенные задачи, а именно:

- В модели отражены данные для приложения и вся «бизнес-логика»
- Вид является непосредственным отображением данных.
- Контроллер — это управляющее звено, которое связывает модель и вид.
- Таким образом, технология ASP.NET MVC особенно хорошо подходит для веб-приложений.

Помимо архитектурного шаблона MVC существуют принципы разработки SOLID, которые в последнее время являются де-факто стандартом для создания приложения. Коротко о них:

- *Singleresponsibility* - На каждую сущность должна быть возложена одна-единственная обязанность.
- *Open/closed*- Программные сущности должны быть открыты для расширения, но закрыты для изменения.
- *Liskovsubstitution* - Функции, использующие базовый тип, должны иметь возможность использовать подтипы базового типа, не зная об этом.
- *Interfacesegregation* - Много специализированных интерфейсов лучше, чем один универсальный.
- *DependencyInversion* -Абстракции не должны зависеть от деталей. Детали должны зависеть от абстракций.

Несоблюдение данных принципов влечёт за собой много сложностей, связанных с разработкой проекта и его поддержкой. Чем меньше один компонент связан с другим, тем более гибким и приспособленным к модификациям будет код программы.

Для упрощения нахождения ошибок и уязвимостей приложения использовался принцип *TDD* (*Test-DrivenDevelopment*), то есть «разработка через тестирование», где последнее состояло из серии *Unit* тестов. Помимо тестирования, существенно облегчают разработку приложения системы контроля версий, в данной работе в качестве таковой была использована распределенная система контроля версий *Git*.

В наше время во многих приложениях используются реляционные модели систем управления базами данных и данное приложение не является исключением. Однако, в объектно-ориентированных языках программирования не всегда бывает удобно работать с таблицами *SQL*, в связи с этим, в последнее время набирают популярность *ORM* фреймворки, которые осуществляют отображение реляционных таблиц *SQL* на объектно-ориентированную модель. В данной работе был использован фреймворк, рекомендованный *Microsoft*, *EntityFramework 6.0*.

Последним компонентом, хотя, отнюдь не последним по значению, является проектирование пользовательского интерфейса. Фреймворк *Bootstrap* позволяет создать пользовательский интерфейс, одинаково хорошо подходящий как для мобильных, так и для настольных браузеров. Технологии *jQuery* и *AJAX* (*Asynchronous JavaScript + XML*) позволяют создавать интерактивные элементы.

Конечным результатом является использование облачных сервисов *Microsoft Azure* для хостинга приложения, который бесплатно предоставляется для студентов.

## **Методика мониторинга направлений развития IT-технологий сетевых операций**

Глудкина М.С.

Научный руководитель – Епанешникова И.К.

МАИ, г. Москва

Одной из наиболее сложных задач стратегического анализа является разработка эффективной методики проведения мониторинга научно-технологических направлений с целью построения структурированной базы данных рассматриваемой предметной области.

Мониторинг представляет собой совокупность процедур и способов процесса систематического сбора, обработки, кластеризации и анализа информации. Под процедурой мониторинга главным образом подразумевается совершение трех операций:

- Проведение тематического поиска в сети интернет
- Структуризация в соответствии с информационными объектами
- Построение структуры анализа проекта и привязка информационных объектов к элементам структуры

Методика мониторинга является свидетельством того, что нормативная проблематика активно включается в современную эпистемологию, которая не может быть сведена к набору уже известных методов осмысления реальности.

Разработанная общая процедура проведения мониторинга в сети Интернет и анализа реализуется в сервисе «Навигация мониторинга» в информационно-аналитической системе АРМ АНАЛИТИКА В 2.6. Данный сервис обеспечивает возможность проведения целевого поиска и структуризации информационно-логических моделей на основе заранее сформированных и размещенных в специализированной базе информационных ресурсов.

Проведенный анализ в соответствии с методикой мониторинга направлений исследований и исследовательских программ ДАРПА, Национальных исследовательских лабораторий, Европейского оборонного агентства, а также ведущих мировых радиоэлектронных предприятий позволил определить основные направления в области развития IT технологий для СЦО, основные усилия разработчиков в рамках программ исследований ДАРПА, Национальных исследовательских лабораторий, Европейского оборонного агентства, а также ведущих мировых компаний сосредоточены на следующих направлениях:

- Кибероружие
- Технологии защиты информации
- Программное обеспечение
- Искусственный интеллект
- Технологии ведения РЭБ
- Анализ больших неструктурированных данных
- Технологии стратегического анализа и прогноза
- Мониторинг подозрительной активности в социальных сетях
- Суперсистемы

В рамках названных направлений разрабатываются дорожные карты для обеспечения решения следующих задач:

- Построения самоорганизующихся, само восстанавливающихся и быстродействующих систем
- Защиты информации в процессе обмена информацией
- Разработки надежного интеллектуального программного обеспечения, способного самостоятельно осуществлять контроль за сетями и принимать решения
- Предупреждения и отражения кибератак
- Синхронизации разнородных сетей путем создания шлюзов, универсальных протоколов обмена информацией и т.п.

### **Концептуальная модель системы управления документацией института**

Голик В.М., Черевиченко А.В.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Существует проблема с организацией документооборота в институте. Необходимо создать модель программы, которая позволит организовать работу с документами, будь то хранение, обработка, распространение этой самой документации. Модель программы представлена ниже.

Программа "Деканат" - это автоматизированная система управления высшим учебным заведением, которая предназначена для организации и поддержки рабочего процесса внутри института. Основной целью программы является сокращение времени, которое тратят работники института на решение повседневных задач и упрощение процедуры работы с данными.

Программа построена на клиент-серверной технологии, что позволяет устанавливать её на множество компьютеров, которые объединены в локальную сеть и работают с единой базой данных. Предполагается, что программа будет включать в себя несколько рабочих пакетов для решения различных задач института. Далее рассматривается система управления документацией, которая направлена на решение обозначенной проблемы.

С помощью пакета «Управление документами» работники института могут поднимать из архива необходимые приказы, отчёты и различные другие документы, а также работать с ними.

Этот пакет включает в себя пять модулей, каждый из которых используется для хранения и работы с документацией определённого типа: «Студенты», «Приказы», «Отчёты», «Служебные записки», «Заявления». Данный пакет осуществляет многоуровневый доступ к программе, позволяющий одним пользователям только просматривать документы, а другим добавлять, редактировать и удалять их.

Модуль «Студенты». Подразумевает хранение в базе данных всей информации о студентах (успеваемость, статистика посещений, информация о стипендии и т.д.)

Модуль «Приказы». Осуществляет хранение в базе данных всех приказов, разбитых по типам (приказ на отчисление, приказ на повышение и т.д.). Позволяет получить доступ по времени, номеру, типу и т.д.

Модуль «Отчёты». Содержит в себе все отчёты, которые работники института публикуют в программе «Деканат» после выполнения выданного поручения.

Модуль «Служебные записки» содержит архив служебных записок, написанных когда-либо ранее с указанием авторства, времени и адресата.

Модуль «Заявления» содержит в себе все заявления работников института и студентов, обучающихся в нём.

Предполагается, что наибольший эффект программа «Деканат» произведёт, если будут привлечены все подразделения института: учебная часть, секретариат деканатов и кафедр, диспетчерская, приёмная комиссия и т.д.

## **Концептуальная модель системы управления заданиями института**

Голик В.М., Черевиченко А.В.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Существует задача выдачи поручений внутри института. Обязательно должно быть обозначено: кто выдал поручение, когда выдал, кому выдал, когда задание было выполнено, кто контролировал процесс выполнения. Подразумевается, что руководитель института может добавлять задания с уже назначенным на выполнение работником, а может предложить задание для выполнения любым желающим. Необходимо создать модель программы, которая сможет решить эту задачу и позволит упростить и автоматизировать систему управления заданиями.

Для решения данной задачи предлагается использовать программу "Деканат", модель которой представлена далее. Это автоматизированная система управления высшим учебным заведением, которая предназначена для организации и поддержки рабочего процесса внутри института. Основной целью программы является сокращение времени, которое тратят работники института на решение повседневных задач и упрощение процедуры работы с данными.

Программа построена на клиент-серверной технологии, что позволяет устанавливать её на множество компьютеров, которые объединены в локальную сеть и работают с единой базой данных. Предполагается, что программа будет включать в себя несколько рабочих пакетов для решения различных задач института. Далее рассматривается система управления поручениями, которая направлена на решение поставленной ранее задачи.

Пакет «Управление» включает в себя четыре модуля, каждый из которых используется для решения определенных задач. Данный пакет осуществляет многоуровневый доступ к программе, позволяющий одним пользователям добавлять и редактировать поручения, а другим добавлять отчёты о проделанной работе и т.д.

Модуль «Разделение прав доступа». Выдать задание может любой сотрудник института, причём это возможно при соблюдении иерархии ролей. Так же может быть выдано свободное задание без указания исполнителя. К проверке качества исполненного задания допускаются только пользователи группы «Контроль» и сам автор задания.

Модуль «Выдача заданий». Подразумевает под собой формирование самого задания и его параметров: время выдачи, срок исполнения, исполнителя, а также возможность добавление сторонних приложений.

Модуль «Напоминания». С заданной периодичностью каждому исполнителю должно приходиться сообщение о сроке исполнения задания до тех пор, пока задание не будет помечено флажком «Исполнено». В случае несвоевременного исполнения задания автор получит сообщение, что задание не выполнено в срок.

Модуль «Сбор отчётности». Исполнение каждого задания фиксируется, и появляется возможность просмотра выполненной работы каждого пользователя в заданном промежутке времени.

Предполагается, что наибольший эффект программа «Деканат» произведёт, если будут привлечены все подразделения института: учебная часть, секретариат деканатов и кафедр, диспетчерская, приёмная комиссия и т.д.

### **Основные направления информационно-методического обеспечения задач эксплуатационной надёжности**

Горбунов М.С.

Научный руководитель – Чернова Т.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время информационно-методическое обеспечение задач теории надежности сложных технических объектов при эксплуатации, в основном сводится к техническому обслуживанию. Однако отказы техники происходят и задолго до момента регламентированного вывода объекта из эксплуатации, и тогда, когда уже поздно принимать решения по упреждению отказа. Соответственно, возникает вопрос, каким образом своевременно упредить возможность отказов и обеспечить безотказность объектов в эксплуатации. Ответ на этот вопрос обусловлен требованиями, которые сегодня предъявляют к методам по обеспечению безотказности объектов. Вариантом решения проблемы может стать анализ качества объектов при их эксплуатации в период функционирования.

Изначально заявленное в паспорте качество, установленное на этапе проектирования объектов, в дальнейшей эксплуатации непрерывно снижается. Поэтому автором предложен способ в каждой заданный момент при эксплуатации объектов оценивать их состояние и затем на основе разработанной математической модели прогнозировать остаточное время до предельного момента эксплуатации объектов. При этом упреждение отказов сводится к выявлению очагов зарождения возможных неисправностей и отслеживанию их до момента отказа. Причём индикатором для принятия соответствующих решений по упреждению отказов объектов служит качество этих объектов. Оно характеризует их соответствие своему функциональному назначению и должно оставаться неизменным в диапазоне установленных допусков в течение всего периода отработки объектами своего ресурса.

Особенностью рассматриваемых сложных технических объектов является их многокомпонентность. Между этими компонентами, а также между ними и окружающей средой устанавливаются устойчивые связи. Причем, отдельные компоненты, вследствие их объединения, в процессе самоорганизации под

действием внутренних преобразований, теряют свою индивидуальность, образуя автономную систему с новыми свойствами. В процессе функционирования объекта происходит эволюция этих свойств, связанная с деградацией и другими различными причинами, что приводит к вибрациям, повышению температуры, перенапряжениям в отдельных узлах конструкции и т.д. Кроме того, всегда возможно влияние различных шумов и других энергетических флуктуаций, связанных с динамическими процессами. В результате - износ, старение, усталость и другие явления, даже слабо проявляющиеся, могут привести к непредсказуемым последствиям, как для жизни человека, так и для экологии.

Таким образом, автором в каждый данный момент эксплуатации предложено регистрировать совокупность значений параметров физико-технических свойств характеризующих состояние объектов, отвечающее заданному качеству, используя известные методы оценки состояния объектов, и на основе специально разработанного информационно-методического, алгоритмического и программного обеспечения определить остаточное время до предельного момента эксплуатации объекта.

### **Программные средства подготовки отчётности предприятий на языке XBRL**

Городилов В.А., Темников А.А., Титов А.А.

Научный руководитель – Черкай А.Д.

МАИ, г. Москва

XBRL (англ. eXtensible Business Reporting Language — «расширяемый язык деловой отчётности») — широко используемый в мире открытый стандарт обмена деловой информацией. XBRL позволяет выражать с помощью семантических средств общие для участников рынка и регулирующих органов требования к представлению бизнес-отчетности. Стандарт основан на расширяемом языке разметки XML и использует такие относящиеся к XML технологии, как XML Schema, XLink, XPath и пространство имён. Одной из главных задач XBRL является регламентация обмена финансовой информацией, такой как финансовые отчеты.

Первоначально пользователями XBRL были регулирующие органы, такие, как Федеральная корпорация по страхованию вкладов США (U.S. Federal Deposit Insurance Corporation) и Комитет европейских органов банковского надзора (Committee of European Banking Supervisors, CEBS). В настоящее время XBRL используется во многих странах регуляторами фондовых бирж и рынка ценных бумаг, банковскими регуляторами, регистраторами, налоговыми органами и национальными статистическими агентствами.

В России большинство отчетных форм поступает в ЦБ в формате XML. Но, как считает Борис Рабинович, старший менеджер департамента консалтинга «Делойт» в СНГ, этот формат недостаточен для решения стоящих перед Банком России задач. Для их решения может быть использован формат XBRL.

В 2014 г. в ЦБ было принято решение о переходе на этот формат НФО (Некредитных финансовых организаций). В начале 2015 г. в ЦБ была проведена встреча с представителями наших крупнейших банков для обсуждения

возможности применения формата XBRL после внедрения его в НФО. Предложение было воспринято позитивно.

В настоящий момент все страны G20 и BRICS, кроме России, уже организовали на своей территории национальные «юрисдикции» организации XBRL International, разрабатывающей и предоставляющей доступ к техническим стандартам (спецификациям) данного формата.

Стандарт XBRL ориентирован на использование широким кругом лиц, имеющих дело с подготовкой или анализом финансовой отчетности. Так или иначе XBRL может быть востребован среди государственных агентств, коммерческих компаний, банков, страховых компаний, производителей программного обеспечения, финансовых аналитиков, аудиторов, бухгалтеров.

Возможные сценарии использования этого стандарта включают:

Публикацию (раскрытие) финансовой информации в Интернет, обеспечение свободного/ограниченного доступа для заинтересованных лиц.

Обмен данными между различными приложениями (к примеру, передача информации из транзакционных систем в аналитические системы или генераторы отчетов).

Сбор отчетности в унифицированном формате:

- для государственных структур (ФНС, ФСФР, Росстат, ПФ и др.);
- для бирж, для систем раскрытия информации;
- для целей консолидации материнской компанией отчетности своих дочерних и зависимых обществ.

В настоящее время актуальной задачей является переход к повсеместной подготовке финансовой отчетности в унифицированном формате с помощью языка XBRL.

## **Модель централизованного хранения и обработки расписания и учебных материалов в вузах**

Григорьев А.В.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Раньше, для записывания домашнего задания, в школах использовались дневники, в вузах же большинство студентов записывает задания в тетрадях. Но, если в школах уже давно существуют такие системы, как Электронный дневник, Электронный журнал, то в вузах аналогичной, централизованной системы нет.

Для решения данной задачи была поставлена цель – разработать модель способную централизованно оперировать данными, поступающими из различных источников (преподаватели, студенты, деканат) и представлять обработанные данные в удобной для пользователя форме, веб-странице.

Модель оперирует следующими данными:

- Информация о студентах.
- Информация о дисциплинах.
- Информация о преподавателях.
- Названия и состав учебных групп.
- Расписание: группа – аудитория – дисциплина – преподаватель – день недели – время – периодичность.

- Данные о предмете и формате домашних заданий.
- Сами домашние задания.
- Оценки за домашнее задание (при наличии).

Основные блоки модели:

- База данных, содержащая информации по расписанию и домашним заданиям.
- Модуль доступа к системе.
- Модуль работы с расписанием.
- Модуль работы с домашним заданием.

Данная модель должна будет способна принимать различные данные: данные форм, файлы с лабораторными работами (задания / решения), после чего загружать их на сервер, обрабатывать, записывать в базу данных и затем, по запросу пользователя, выводить конечный результат.

При реализации этой модели были использованы такие языки, как HTML (HyperTextMarkupLanguage), CSS (CascadingStyleSheets) и JS (JavaScript). В качестве серверной части модели используется Meteor (веб-платформа на языке JavaScript). На данный момент реализованы не все планируемые возможности модели, но с ее помощью уже возможен ввод/вывод расписания, заданий, загрузка различных файлов.

Программа проходит тестирование и разработку на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

## **Разработка архитектуры автоматизированной системы формирования отчётности**

Гуров О.А.

Научный руководитель – Востриков А.В.  
НИУ ВШЭ, г. Москва

Работа посвящена вопросу необходимости внедрения информационной системы, задачей которой является автоматизации процесса формирования отчетности в аэрокосмической области. Исследуется проектирование архитектуры системы путем описания функциональных возможностей и предоставления технического описания системы.

Одной из важнейших задач в аэрокосмической области является хранение и обработка информации. Наиболее популярным инструментом для хранения информации является база данных, представляющая собой гибкий механизм обеспечивающий хранение данных. Однако задача дальнейшего сбора и структурирования информации не имеет определенного инструмента для решения. В большинстве случаев производится ручная выгрузка данных из базы данных посредством запросов и дальнейший её импорт в системы автоматизированной обработки. В работе рассмотрено решение проблемы автоматизации формирования данных в заданном виде, для проведения последующей аналитической обработки.

В качестве автоматизирующего механизма выступает система, основной задачей которой является выгрузках информации из базы данных и дальнейшее формирование отчета. Алгоритм, описывающий механизм работы системы:

- В системе создается объект отчета;



- Для объекта отчета задаются настройки, включающие в себя:
  - Тип базы данных. Системой поддерживается работа с базами данных MSSQLServer; Oracle, PostgreSQL, Firebird.
  - SQL запрос. Для обеспечения поддержки вышеописанных баз данных, система имеет в своем составе набор интерпретаторов, позволяющих учитывать специфику sql запроса для каждой из баз данных.
  - Шаблон отчета. Представляет собой механизм для гибкой настройки дизайна генерируемых отчетов.
  - Формат файла отчета. Системой поддерживается работа с форматами Excelxml и csv. Указанные форматы наиболее популярны среди автоматизированных средств обработки информации [1].
- Созданный отчет доступен для выгрузки из системы;

Взаимодействие с системой обеспечивается несколькими способами. Первый способ предполагает работу с пользовательским интерфейсом для выгрузки отчетов. Второй способ обеспечивает автоматическую рассылку заданных отчетов на электронную почту.

В работе раскрыт вопрос актуальности разработки информационной системы на основе анализа процесса обработки информации. Предоставлено решения проблемы в виде описания архитектуры системы, автоматизирующей процесс формирования отчетов.

Литература.

Миронов В. В., Шакирова Г. Р., Яфаев В. Э. Информационная технология персонализации электронных документов MicrosoftOffice в web-среде на основе XML //Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2008. – Т. 10. – №. 2.

## **Разработка приложений для работы с библиотечными ресурсами**

Долгов В.В., Зуева К.С.

Научный руководитель – Чернова Т.А.

МАИ, г. Москва

В век информационных технологий важнейшим ресурсом является время, а именно быстрый обмен данными, важна доступность данных, в связи с этим возникает необходимость представления их в электронном виде, а также организация быстрого доступа к библиотечным ресурсам. Проблема повышения эффективности удобного и непрерывного доступа к различным материалам и информации по ним очень актуальна для современных людей. На сегодняшний день существуют приложения для библиотечного учета, однако множество функций еще не реализованы в этих приложениях.

Решением данной проблемы является создание приложений, функционал которых обеспечивает пользователю доступ к нужным ему сведениям и информации в удобном для него виде, разработка и тестирование модулей на основе реальной библиотеки. Разработанные приложения называются: «Автоматизированная система библиотечного учета» (АСБУ) и «Электронная библиотека для образовательных целей». Они позволяют развить адаптировать библиотечные ресурсы для пользователей и включают в себя:

Кроссплатформенное мобильное приложение «Электронная библиотека для образовательных целей»

- возможность сохранения учебных материалов на конкретном мобильном устройстве
- доступ к материалам в удобное время
- повышение эффективности обучения в рамках учебной программы
- наглядная демонстрация материала по направлениям
- реализация уровней доступа для преподавателей и студентов

Компьютерное приложение для операционной системы Windows «Автоматизированная система библиотечного учета» (АСБУ)

- поиск запрашиваемых ресурсов
- информация о ресурсах
- ведение документооборота и отчетности
- управление ресурсами
- уровни доступа для посетителя и библиотекаря

Для реализации этих приложений использована технология ADO.NET предоставляющая доступ к данным с сервером баз данных MSSQLServer. Используется объектно-ориентированный язык программирования C# и Java, позволяющие реализовать полноценное оконное приложение, которое является частью платформы Microsoft.Net и библиотеки QT и FLTK. Используется среда разработки ApacheCordova и VisualStudio.

Таким образом, главными преимуществами этих приложений являются: доступность, современные технологии, мобильность и сокращение временных затрат на поиск нужного материала. Особенностью является использование кроссплатформенного мобильного приложения и интуитивно-понятного пользовательского интерфейса.

## **Обработка и анализ изображений в задачах видеомониторинга лесных пожаров**

Зайцев С.С.

Научный руководитель – Филимонов А.Б.

МАИ, г. Москва

Лесные пожары справедливо считаются одними из крупнейших по охвату территорий стихийными бедствиями во всем мире. Климатические изменения последних лет показывают, что угрозы лесных пожаров в ближайшем будущем будут только возрастать. В связи с этим актуальной научно-технической проблемой является создание автоматизированных систем активного мониторинга территории лесных массивов, обеспечивающих раннее обнаружение очагов возгорания и оперативное информирование противопожарных служб.

Существуют три вида мониторинга лесных пожаров: наземный, авиационный и спутниковый мониторинг. Для решения задачи раннего обнаружения сравнительно недорогим и эффективным остается **наземный мониторинг**, который дает возможность осуществлять непрерывный контроль за лесными территориями и выявлять пожары на ранней стадии.

В докладе рассматриваются вопросы построения региональных наземных автоматизированных систем видеомониторинга лесных пожаров на базе современных средств видеонаблюдения, телекоммуникационных и информационных технологий. Необходимая оперативная видеoinформация получается посредством видеосенсоров - обзорных и поворотных видеокамер, которые устанавливаются на специальных вышках, на мачтах сотовой связи, а также опорных вышках ЛЭП.

Обсуждается архитектура перспективных автоматизированных систем видеомониторинга лесных пожаров (далее – система видеомониторинга). Здесь сеть видеосенсоров посредством каналов радиосвязи связана с диспетчерским пунктом, который включает необходимое телекоммуникационное оборудование, сервер приложений, видеосервер и АРМ диспетчера. Поступающие в диспетчерский пункт видеопотоки принимаются, обрабатываются и анализируются в реальном масштабе времени и далее сохраняются в видеоархиве. Основное внимание в докладе уделяется вопросам информационного и программного обеспечения системы видеомониторинга.

Задачи анализа видеопотоков направлены на решение задачи автоматического детектирования пожаров. Ее решение основано на цифровой обработке данных видеонаблюдения; поступающих от сети видеосенсоров. Присутствие очага горения в видимом спектре определяется по наличию основного дешифровочного признака лесных пожаров - дымовому шлейфу. Обнаружение и выделение задымленной области осуществляется с помощью цифровой обработки видеозображений. С этой целью в работе используется пакет ImageProcessingToolbox (IPT) системы MATLAB. В разрабатываемых алгоритмах применяются основные инструменты IPT при обработке видеозображений: изменение гистограмм яркости, фильтрация для удаления шумов и помех, морфологический анализ и сегментация.

В системе предполагается использовать геоинформационные технологии (ГИТ), предоставляющие инструментальные средства для работы с координатно-привязанной информацией. На основе ГИТ решаются задачи по определению мест возгорания и контроля развития лесных пожаров.

## **Транспортная модель расходов и доходов автобусов на маршруте**

Иванченко Н.С.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

В работе затронута проблема расходов и доходов маршрутов транспорта. При прокладке маршрута особенно важно понять и оценить его перспективность до его использования

Например, маршрут, на котором пассажиры встречаются не очень часто, проще поставить автобус с малой вместимостью (особенно на непродолжительных маршрутах). Или маршрут, работающий вне населенного квартала, не эффективен. Так же, особый интерес представляет вопрос с обслуживанием автобусов и местом их нахождения- ДЕПО. Очевидно, что ДЕПО под каждый маршрут не делается, но из площади ДЕПО выделяется территория под автобусы, обслуживающие данный маршрут.

В целях удобного представления сводки о доходно-расходной части конкретного маршрута была разработана модель, содержащая такие входные данные, как:

- Заработная плата (персонал)
- Обслуживание транспорта (бензин, чистка, ремонт, покупка нового транспорта)
- ДЕПО (налоги на землю, ремонтная служба)
- Реклама (доход)
- Билеты

Билеты мы понимаем в том смысле, что пассажиры пользуются данным маршрутом. Эти данные получаются в виде сеточной функции распределения пассажира потока для каждого часа и каждой остановки на маршруте, причем при увеличении количества маршрутов дополнительные семантические функции не вводятся. А в случае новых направлений изменяются текущие, причем не очень сильно.

Входные данные разделены на две категории-доходные и расходные. Причем, некоторая зависимость данных неочевидна. При прокладке нового маршрута требуется не только платить заработную плату и обслуживать автобус, но и увеличить место в ДЕПО. Так же заработная плата водителей зависит не только от вида автобусов, который они водят, но и от расстояния и, соответственно, количество рейсов в день.

На основе полученных данных, модель рассчитывает средний доход маршрута.

Модель реализована на языке программирования - C#, с использованием баз данных.

Многократный запуск и тестирование запуска модели показывает ее адекватность.

В данное время программа проходит тестирование на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

## **Транспортная модель адаптивного изменения расписания автобусов на маршруте**

Игнатьев Т.И.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Частое явление, что в случае пробок или каких-либо других затруднений на дороге автобусы выстраиваются в цепочки и приходят на остановки практически один за другим, нарушая график.

Для решения этой проблемы была поставлена задача совершенствования организации движения, путем разработки транспортной модели адаптивного изменения графика движения общественного транспорта. Данная модель реализуется в целях повышения качества обслуживания пассажиров автобусов на одном маршруте.

Модель оперирует следующими данными:

- интенсивность пассажиропотоков в зависимости от времени суток

- длина маршрута, от которой зависит количество автобусов на маршруте
- средняя скорость движения автобусов с учетом пробок
- количество остановок
- типы автобусов по вместимости

Изначально автобусы двигаются по своему маршруту согласно расписанию. В какой-то момент времени маршрут начинает нарушаться по разным причинам: пробки, большой пассажиропоток. Нагнать расписание редко возможно, потому что улицы имеют плотный поток движения. Возникает проблема оптимизации графика опаздывающих автобусов.

Задача состоит в том, чтобы перераспределять временные интервалы в зависимости от того как автобусы дошли до конечной точки. Рассматриваются разные случаи: автобусы могут задерживаться, могут несколько подряд вместе приехать. В зависимости от ситуации можно отправить автобус сразу, можно уменьшить интервал движения и не отпускать все сразу на маршрут. Также если в конечный пункт приехали автобусы разной вместимости, то определяется какой из них лучше отправить на маршрут первым, а какой через определенный промежуток времени. Пассажиропоток на маршруте отличается, в час пик пассажиропоток может быть в разы больше, чем в раннее утреннее или позднее вечернее время. Но даже при малом пассажиропотоке необходимо выполнять рейсы городского пассажирского транспорта, несмотря на низкий коэффициент наполнения подвижного состава [1].

На практике вводят ограничение на максимальный интервал движения городского пассажирского транспорта и максимальный коэффициент наполнения подвижного состава в часы пик и межпиковое время.

В результате была разработана модель, которая позволяет создать изменяемое расписание движения транспортных средств по данному маршруту. В данный момент модель проходит тестирование на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

Литература.

Корягин М.Е. Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов/ М.Е. Корягин. – Новосибирск: Наука, 2011. – 140 с.

### **Имитационное моделирование процессов технической эксплуатации авиационной техники в системах Agena и Anylogic**

Игнатьева М.П.

Научный руководитель – Котлов Ю.В.

Иркутский филиал МГТУ ГА, г. Иркутск

Современные организационно-технические системы эксплуатации авиационной техники обладают высокой степенью сложности (структурной, функционирования, выбора поведения и развития). Исследование и эффективное управление такими системами, как правило, предполагает использование современных методов компьютерного или имитационного моделирования (ИМ).

Основными факторами, ограничивающими применение ИМ, являются нехватка квалифицированных кадров и использование нерациональных методов. Среди частных проблем можно отметить неоптимальную разработку имитационных моделей, отсутствие эффективной машинной реализации, несоблюдение компромисса между универсальностью и прикладной областью. Таким образом, разработка технологий применения ИМ в различных инженерных областях, в том числе, эксплуатации авиационной техники, является актуальной задачей.

Современное поколение сред ИМ (Arena, Extend и др.) позволяет разрабатывать и проводить имитационные эксперименты без знания специализированных языков. Среда имитационного моделирования сложных систем и процессов AnyLogic, разработанная российской компанией XJ Technologies, по заявленным характеристикам не уступает или превосходит зарубежные аналоги по большинству критериев, однако предполагает знание универсального языка программирования Java.

В Иркутском филиале МГТУ ГА активно нарабатывается опыт моделирования в системах Arena и AnyLogic различных производственных процессов на авиапредприятиях. Для моделирования таких систем в AnyLogic обычно применялся набор стандартных библиотек: EnterpriseLibrary, PedestrianLibrary, RailYardLibrary. В системе Arena модели разрабатывались с помощью базовой и расширенной панелей. Рассматривались системы наземного обслуживания (Groundhandling) на уровне дежурных смен, выполнение осмотров авиационной техники, технологические процессы сборки авиационного и радиоэлектронного оборудования на авиационном заводе.

Общая методика подготовки исходных данных для разработки модели состоит в следующем: задание сущностей или транзактов (воздушные суда, группы людей и т.д.) и применимых к ним правил; перечень и характеристики выполняемых работ (время выполнения работы, захватываемые ресурсы, стоимостные характеристики, приоритеты); последовательность и логика выполнения работ. При моделировании наземного обслуживания воздушных судов всю необходимую информацию можно получить из системы «Аэропортовое и наземное обслуживание ВС», которая предназначена для автоматизации деятельности аэропортов.

Результаты моделирования оказывались полезными практически во всех исследованиях. В отдельных случаях были выявлены неэффективная работа систем, формальность планирования, невозможность решения поставленных задач при заданных условиях. Модели могут успешно применяться для анализа нештатных ситуаций, например, задержки рейсов, ограничения в ресурсах, разработка новых технологий обслуживания и ремонта воздушных судов и т.п.

## **Разработка приложения по автоматизации системы учёта и контроля факторов, инициирующих угрозы экономической безопасности контрагентов**

Кижватова Н.В., Коваленко И.С.

Научные руководители – Коваленко О.А., Мокряков А.В.

ВИЭПП (Волгоградский филиал Института управления),

МАИ, г. Москва

В современных экономических условиях важную роль для стабильной деятельности субъектов малого предпринимательства играет оценка факторов, инициирующих угрозы экономической безопасности при планировании экономических отношений с контрагентами. Разработанное нами приложение позволит пользователю, субъекту малого предпринимательства, автоматизировать систему учета и контроля указанных факторов.

Методика оценки контрагентов, которую мы используем, базируется на модели, представленной в статье О.А. Коваленко [1].

Данная модель зависит двух основных параметров:

- бухгалтерского баланса;
- информации, содержащаяся в государственных реестрах (налоговая служба, служба судебных приставов и т.д.).

Основной параметр оценки угроз экономической безопасности при планировании экономических отношений субъекта малого предпринимательства с контрагентами – это бухгалтерский баланс, позволяющий оценить финансовую надежность анализируемого предполагаемого контрагента. Бухгалтерский баланс – это вид бухгалтерской отчетности, который содержит в себе свод информации о стоимости имущества и обязательствах организации.

Для того чтобы определить степень добросовестности предполагаемого контрагента, используется информация, содержащаяся в государственных реестрах. Например, на Web-сайте службы судебных приставов есть возможность проверить наличие долгов - фактора, который увеличивает степень риска недобросовестности.

После учета всех факторов, инициирующих угрозы экономической безопасности субъекта малого предпринимательства при планировании экономических отношений с контрагентами, рассчитывается индивидуальный рейтинг контрагента. Затем список контрагентов сортируется по рейтингу.

Результатом нашей работы является приложение, которое автоматически накапливает, систематизирует и производит рейтинговую оценку контрагентов по каждому из параметров, описанных в методике оценки факторов, инициирующих угрозы экономической безопасности субъекта малого предпринимательства при планировании экономических отношений с контрагентами.

Литература.

1. Коваленко О.А. Учет факторов, инициирующих угрозы экономической безопасности субъектов малого предпринимательства при возникновении обязательств // Аудит и финансовый анализ, № 5, 2015, с. 428-433.

## **Моделирование и оптимизация движения грузов по транспортной сети**

Ким Л.Е.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

Транспортная инфраструктура - одна из важнейших инфраструктур, обеспечивающих жизнь городов и регионов. В последние десятилетия во многих крупных городах исчерпаны или близки к исчерпанию возможности экстенсивного развития транспортных сетей. Поэтому особую важность приобретает оптимальное планирование сетей, достижения минимума затрат на перевозку.

В данной работе проведено моделирование с использованием примитивов межпроцессного взаимодействия логистической сети с фиксированным числом потребителей и производителей одного типа груза (товара). В построенной модели учитывается тот факт, что обеспечить потребности потребителей мгновенно нельзя. В реальной жизни необходимо потратить некоторое количество времени на загрузку/разгрузку транспортных единиц, на преодоление расстояния между пунктами назначения и некоторые форс-мажорные обстоятельства. Иными словами, мало того, что груз не может быть доставлен немедленно, так время пути, к тому же, оказывается случайной величиной. В разработанной модели и в программном комплексе предусмотрена возможность задавать необходимые ограничения на каждую транспортную единицу, на каждые пункты потребителей и производителей. Для получения оценки на стоимость перевозок была использована классическая транспортная задача. Показан результат минимизации цен на перевозку однородного груза. Стоит отметить, что без построения оптимального плана перевозок возникает значительный проигрыш по стоимости перевозок.

Основным вычислительным алгоритмом в моделирующей программе является метод потенциалов для транспортной задачи, который позволяет, отправляясь от некоторого начального решения, получить оптимальное решение за конечное число шагов. Для определения начального допустимого плана перевозок был использован метод северо-западного угла.

В построенной модели перевозчики интерпретируются как процессы, а пункты потребления и производства как разделяемые ресурсы. Для избегания ситуаций, связанных с некорректным доступом к данным, используются классические примитивы межпроцессного взаимодействия: семафоры, разделяемая память, очереди сообщений. Разработанное программное решение позволяет визуализировать транспортную сеть, построить план перевозок по заданным данным, улучшить этот план и показать выигрыш в стоимости перевозок. Программа является классическим оконным приложением, которое реализовано на C#.



## Применение эффекта параллакса

Кишкель М.Л.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

Параллакс – изменение видимого положения объекта относительно удаленного фона в зависимости от положения наблюдателя. Одним из применений эффекта параллакса является Parallaxscrolling. Parallaxscrolling – это техника, применяемая в компьютерной графике и веб-дизайне. Суть техники заключается в том, что фоновые изображения следуют за камерой медленнее, чем изображения переднего плана, создавая тем самым искусственный трехмерный эффект.

Существует четыре основных метода работы с технологией parallaxscrolling. Одним из самых популярных методов, используемых в веб-дизайне, является Layermethod. В таком подходе используется набор слоев и/или изображение, разбитое на слои. Слои могут прокручиваться в вертикальном и горизонтальном направлениях. Параллакс достигается за счет изменения позиции каждого слоя на разные величины в одном и том же направлении. Слои, что передвигаются быстрее (их позиция изменяется на большую величину относительно других слоев), располагаются ближе к виртуальной камере. Некоторые слои могут оставаться статичными, а также находиться поверх всех остальных, к примеру, панель меню или инструментов, с которыми может взаимодействовать пользователь.

Применение parallaxscrolling в веб-дизайне стало очень популярным. Эта технология позволяет создать, так называемое, 2.5D изображение без использования трехмерной графики. Использование эффекта параллакса позволяет выделить сайт на фоне аналогичных ему, помогает визуально сконцентрировать внимание пользователя на нужной информации, что делает такие сайты куда более яркими и запоминающимися.

Но у реализации данной техники есть свои нюансы. К сожалению, могут возникнуть проблемы с производительностью сайта: вычисления на JS/jQuery, с помощью которых и достигается этот эффект, создают нагрузки на сайт, увеличивают объем загружаемой страницы и замедляют скорость ее чтения. Но использование CSS3 частично решает эту проблему. Также проблемой могут стать кроссбраузерность, кроссплатформенность и чрезмерное использование параллакса, приводящее к потере нужной информации на фоне красивых визуальных решений.

Результатом реализации эффекта параллакса в веб-дизайне использованием алгоритма parallaxscrolling и методики слоев (Layermethod), является улучшенная визуальная составляющая веб-страницы и, как следствие, привлечение большего внимания пользователей, также выделение соответствующей информации на веб-странице с помощью визуальных эффектов, имитирующих трехмерный эффект.

## **Интеграция сервисов цифровой медицины в экипировку пилота ЛА**

Клёнов Е.А., Кухтичев А.А.

Научный руководитель – Скородумов С.В.

МАИ, г. Москва

Целью данной работы является интеграция сервисов медицинской информационно-аналитической системы (МИАС) «ЦифроМед» в экипировку пилота летательного аппарата (ЛА) для обеспечения непрерывного контроля физических показателей жизнедеятельности человека, как биологического объекта. МИАС «ЦифроМед» позволяет в режиме реального времени контролировать показатели жизнедеятельности пользователей, используя носимые – НУМ – и вживляемые – ВУМ – устройства микроэлектроники в составе информационной системы на базе технологий биологической обратной связи (БОС).

МИАС «ЦифроМед» состоит из следующих компонент:

- Носимые и вживляемые устройства микроэлектроники, которые измеряют основные показатели жизнедеятельности пользователя и отправляют их в центр обработки данных (ЦОД).
- Центр обработки данных принимает физические показатели, измеряемые НУМ и ВУМ, обрабатывает их и заносит в базу данных МИАС «ЦифроМед».
- В электронной медицинской карте (ЭМК) содержатся зашифрованные данные от НУМ и ВУМ, накапливаемые и хранимые в БД ЦОД. Лечащий врач по специальному протоколу получает возможность для контроля физических показателей жизнедеятельности пилота ЛА в любой момент времени.
- Экспертная система (ЭС) в случае отклонения одного или нескольких физических показателей от нормы, даёт рекомендации лечащему врачу (эксперту) на основе показателей жизнедеятельности и патологий пользователя.
- Система мониторинга физического состояния пользователя при отклонении показателей жизнедеятельности от нормы информирует как лечащего врача, так и пользователя системы с помощью технологии БОС.

Таким образом, новая экипировка пилота, в которую будут интегрированы НУМ и ВУМ в составе МИАС «ЦифроМед», позволит оперативно реагировать на изменения показателей здоровья пилота ЛА на всех этапах подготовки и полёта, а также свести к минимуму вероятность возникновения аварий и авиакатастроф, вызванных человеческим фактором, а также исключить разнообразные риски, связанные, например, с большими перегрузками.

Система «ЦифроМед» накапливает и анализирует полученные данные, и предоставляет команде аналитиков и экспертов широкий спектр возможностей для осуществления контроля, взаимодействия и коммуникации с авиаспециалистами: оказание экстренной медицинской помощи, оповещение других членов экипажа о физическом состоянии (ФС) авиаспециалиста, отслеживание изменений ФС в процессе длительной работы и пр.

## **Поиск оптимального маршрута для пассажирского авиатранспорта с учётом критериев, установленных пользователем**

Косолапов А.В.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

В настоящее время существует проблема, связанная с авиаперелетами, которая заключается в поиске дешевых и выгодных предложений для путешествий между городами, областями и странами. Пользователю необходимо переправиться из пункта А в пункт В, при этом должна быть возможность выбора количества желаемых пересадок, времени полета, учет минимальной стоимости билета, возможность выбора между пересадками, возможность выбора города, в котором пользователь собирается осуществить пересадку, если рейсы не прямые. На данный момент существует множество решений данной проблемы, которые, в той или иной степени, решают задачу транспортировки пассажиров из точки А в точку В. Решение сводится к поиску кратчайшего пути в графе, применяя тот или иной алгоритм поиска.

У всех этих решений схожий функционал, позволяющий решить простую проблему перелетов из пункта А в пункт В, однако, если усложнить задачу перелета, то ни одно из существующих решений не сможет предоставить оптимальный ответ.

Усложнить задачу можно несколькими способами:

- Совершая перелет, мы хотим выбрать промежуточные города, в которых хотели бы отдохнуть в течении нескольких часов.
- Учитывать реальные погодные условия, которые могут повлиять на маршрут, тем самым закрыв некоторые пути или аэропорты - снегопад, сильный ветер, туман и т.д.
- Наличие нескольких аэропортов в больших городах, следовательно, можно сделать выбор в какой аэропорт прилететь и из какого вылететь.

Для модернизации современных сервисов по поиску оптимального авиамаршрута предлагается следующее решение.

Внедрение модернизированной модели авиаперелетов, которая сможет учитывать указанные выше условия. Для решения будут использоваться соответствующие алгоритмы поиска пути во взвешенном графе. Для того чтобы ускорить процесс поиска, будут применяться следующие решения по оптимизации алгоритмов, а это:

- Выбор наиболее приемлемого алгоритма для данной области.
- Оптимизация существующего алгоритма.
- Распределение вычислений участков поиска в алгоритме, для увеличения скорости подсчета результатов.

В данный момент модель проходит тестирование на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

## **Программный комплекс выдачи заданий по линейной алгебре и аналитической геометрии**

Кохановский А.А., Сидоров А.Э.

Научный руководитель – Егорова Е.К., Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Одной из задач в образовании – это получение адекватной оценки полученных знаний. Сложность оценки знаний состоит в том, что её нужно производить часто и желательно с уникальными наборами тестов.

Для решения поставленной задачи был разработан программный комплекс выдачи заданий. Основное достоинство данного комплекса состоит в том, что он позволяет составить контрольные с уникальными вариантами для произвольного числа студентов (проверялось на 300 вариантах).

Принцип работы программы состоит в следующем:

- Комплекс использует заранее составленные опытными преподавателями шаблоны заданий по линейной алгебре и аналитической геометрии.

- Данные шаблоны (в окончательном варианте) должны быть составлены на языке LaTeX.

- Реализация данных шаблонов может быть написана на любом языке программирования высоко уровня – в частности используются языки C, C++ и LaTeX.

- Составляется текстовый файл со списком обучающихся.

- Этот файл обрабатывается скриптами, с помощью которых формируются шаблоны для каждого из задания контрольной.

- Полученные шаблоны имплементируются в два документа LaTeX с собранной контрольной: с задачами и с ответами.

- Каждый из полученных документов обрабатывается LaTeX'ом с получением PDF файла на выходе.

- Файлы группируются по двум папкам: задания и ответы по выбранной контрольной для указанной группы.

- По желанию файлы могут быть сразу же заархивированы и отосланы по электронной почте.

В данном комплексе могут быть сгенерированы контрольные по 20 разделам линейной алгебры и аналитической геометрии. В каждом из разделов по несколько различных типов задач.

В дальнейшем планируется расширить функционал системы следующим образом:

- Использование базы данных для хранения шаблонов задач и готовых вариантов.

- Создание Web-сервиса для предоставления доступа к системе из любой точки мира.

- Создание варианта индивидуально для каждого студента.

- Хранение результатов проверки по каждому студенту.

Оболочка разработанного программного комплекса написана на языке ObjectPascal с использованием библиотеки Lazarus. В настоящее время комплекс

используется в учебном процессе кафедры «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

## **Использование гетерогенных вычислительных систем для ускорения алгоритма сжатия разреженных графов**

Крашенинников К.Г.

Научный руководитель – Зайцев В.Е.

МАИ, г. Москва

В настоящее время задачи, связанные с обработкой больших графов, возникают в различных сферах, начиная от IT, и заканчивая прикладными задачами геномики, логистики, физики. Основной проблемой при этом является большой размер обрабатываемых графов. В данной работе рассматривается алгоритм сжатия ориентированных невзвешенных разреженных графов. Такие графы отражают топологию отношений без учёта весов. Их также используют в случае, когда решение задачи со взвешенным графом является алгоритмически сложным. Примерами задач, приводящих к использованию таких графов, могут служить: моделирование физических процессов (например, задачи теории протекания), карта дорог, web-граф, социальный граф и т.д.

В работе исследуется и разрабатывается параллельная версия алгоритма сжатия Boldi-Vigni. Алгоритм заключается в последовательном применении ссылочного сжатия, компрессии RLE и битового кодирования. Под ссылочным сжатием подразумевается поиск в окне просмотра наиболее схожих вершин и представление общих частей в виде ссылок. Данный алгоритм эффективно распараллеливается из-за наличия большого количества независимых по обращению к памяти операций в окне просмотра. Главной особенностью описываемого метода является то, что для обработки требуется лишь локальная распаковка графа, однако изменение в графе может привести к локальной переупаковке или ухудшению степени сжатия. Локальность обработки графа напрямую зависит от размеров окна: чем оно больше, тем дольше сжатие и дороже локальная декомпрессия, но тем лучше степень упаковки.

Для решения поставленной задачи используется гетерогенная архитектура, основанная на CPU (процессорах общего назначения) и GPU (графических процессорах) с использованием технологии CUDA. Данная архитектура позволяет эффективно производить массивно-параллельные вычисления, не требуя при этом больших кластеров. Для тестирования используются разреженные ориентированные графы, сгенерированные при помощи алгоритмов R-MAT и SSCA2. R-MAT-графы хорошо моделируют реальные графы из социальных сетей, в то время как SSCA2-графы представляют собой большой набор независимых компонент, соединённых друг с другом ребрами.

В работе приводятся временные показатели различных алгоритмов: реализация однопоточного алгоритма на CPU, многопоточная реализация на CPU на основе технологии OpenMP, и комбинированная реализация с использованием как CPU, так и GPU. В последнем случае также учитывается время передачи данных из оперативной памяти в память GPU.

Вычислительный эксперимент проводился на рабочих станциях с процессорами IntelCorei5/i7, с памятью 16 Гб и с видеоускорителями NVIDIA GTX 660/GTX 960.

В результате проведённых экспериментов установлено:

- реализация алгоритма на OpenMP более эффективна по времени чем последовательная реализация;
- передача данных из памяти CPU в память GPU занимает существенное время;
- начиная с некоторого размера, скорость сжатия графа с использованием GPU оказывается выше скорости параллельной реализации на CPU.

Таким образом, технология CUDA и использование GPU как сопроцессора даёт существенный прирост производительности при обработке больших графов на ординарном оборудовании, что позволяет значительно увеличить размерности решаемых задач обработки реальных графов.

### **Задача обучения персонала авиастроительного предприятия с использованием современных информационных систем**

Купреев Ю.Ю., Мусиянц Д.М.

Научный руководитель – Ефимова Н.С.

МАИ, г. Москва

Процесс управления кадрами многие начинающие руководители считают, как второстепенный процесс на предприятии, не входящий в основной бизнес процесс предприятия, а опытные не видят необходимость автоматизировать данный процесс. По этой причине многими он воспринимается как незначительный. Такое восприятие может быть губительно для организации, особенно если оно преобладает среди управляющего персонала.

От качества управления кадрами зависит, появятся ли на предприятии следующие проблемы:

- нехватка, или переизбыток трудовых ресурсов;
- привлечение неквалифицированных специалистов;
- необоснованные повышения некомпетентных членов организации (так называемый принцип Питера);

Решение этих проблем убержёт организацию от финансовых, производственных, кадровых и репутационных потерь.

В последние годы ситуация с автоматизацией этой сферы деятельности на российских авиастроительных и авиаконструкторских предприятиях несомненно улучшилась, но неготовность выделять на информационно - технологическую поддержку кадрового управления финансовые ресурсы приводит к серьёзной потере конкурентоспособности. Зачастую автоматизация ограничивается исключительно кадровым учётом.

В это же время такие вещи как контроль над аттестацией, переквалификацией и обучением персонала остаются областью личных инициатив и любительских экспериментов. А ведь правильная организация образования своих сотрудников с использованием ИС приводит к уменьшению затрат по времени, что значит меньшее отвлечение персонала от его основных задач, и повышению качества полученных знаний и навыков.

Рынок информационных продуктов, которые выполняют такие функции, сейчас находится в процессе быстрого роста. Такие системы реализованы как модули и подсистемы современных ERP систем, или как автономные программные продукты. Большинство из них уже способно вовлекать в процесс своей работы планшетные компьютеры и современные средства мобильной связи.

Ресурсы, потраченные на внедрение этих систем, окупаются полученной выгодой от повышения работоспособности предприятия. Благодаря данным системам снизится количество ошибок из-за человеческого фактора. Сегодня необходимо переводить обучение персонала на непрерывный процесс, что бы его квалификация морально не устаревала. Сейчас важно не только создавать такие системы, но и активно продвигать их среди предприятий. Необходимо сделать привычным данную подсистему в наборе ERP системы.

### **Задача разгрузки самолётов с использованием современных информационных систем**

Купреев Ю.Ю., Мусинянц Д.М.

Научный руководитель – Ефимова Н.С.

МАИ, г. Москва

В настоящее время основная задача программы «Развитие авиационной промышленности на 2013 – 2025 годы» - создание высококонкурентной авиационной промышленности и закрепление ее позиции на мировом рынке в качестве третьего производителя по объемам выпуска авиационной техники.

Опыт автоматизированного управления предприятием авиастроения насчитывает уже пятидесятилетнюю историю. За этот период в России были накоплены огромные знания в разработки информационных систем. Наибольшие результаты были достигнуты в области постановки отдельных задач планирования, учета, контроля и анализа, системного анализа информационных систем, построения замкнутых циклов управления отдельными процессами на предприятиях пассажирских авиаперевозок.

Каждая сфера деятельности на таких предприятиях нуждается в высоком уровне автоматизации.

Сейчас, в мире современных технологий, осуществить покупку билета для пассажира не составит труда. Для этого достаточно зайти на сайт и забронировать его. И в последнее время люди сталкиваются с проблемой нехватки места на борту. Но с помощью информационных систем эту проблему можно решить следующими способами:

- Разработать регламентные бизнес-процессы для рационального управления пассажирами, сделать доступными места бизнес-класса для пассажиров эконом-класса в случае, если места остались свободными (вакантными).
- Заняться балансом загрузки самолетов, не допуская переполненных или полупустых рейсов.
- Регулярная переквалификация персонала с целью грамотного планирования рейсов и расчетов пропускной способности самолетов.

- Проводить на постоянной основе курсы по повышению квалификации персонала для создания новых самолетов с новой планировкой мест.

Даже самый совершенный менеджмент не способен справиться с существующим на данный момент потоком клиентов пассажирских авиакомпаний, если он не использует современные системы автоматизации. Недооценка важности этой проблемы приводит к постоянным убыткам из-за невозможности удовлетворить клиента, или же из-за содержания нерентабельного рейса.

Благодаря использованию информационных систем для таких целей, авиация перестанет нести убытки из-за нехватки мест для пассажиров, не будет перегруженности потоков самолетов.

## **Визуализатор для изучения алгоритма нахождения Эйлеровых циклов и путей графа**

Лошкарев А.А.

Научный руководитель – Опадчий Ю.Ф.

МАИ, г. Москва

Разработанное программное обеспечение предназначено для использования в составе универсального программного комплекса, предназначенного для визуализации стандартных алгоритмов, применяющихся при исследовании графов. Разработанный продукт позволяет ответить на вопрос о существовании Эйлерова цикла или пути, и при их наличии найти последовательность вершин, отвечающих требованиям Эйлера. Напомним, что Эйлеровым называется цикл, проходящий по всем ребрам графа только один раз.

При разработке программного продукта был применен язык программирования C# с привлечением технологии WindowsPresentationFoundation в среде разработки VisualStudio.

Исходными данными для программы является матрица смежности, синтезируемая универсальной оболочкой программного комплекса. Первоначально к этой матрице применяется теорема Эйлера о существовании Эйлерова пути или цикла. Если условия теоремы не выполнены, то программа сообщает об отсутствии в данном графе искомого пути или цикла. Если условия для цикла выполнены, программа приступает к нахождению соответствующей последовательности вершин графа, начиная поиск с произвольной вершины. При наличии Эйлерова пути программа сообщает о его начальной и конечной вершинах и также приступает к нахождению соответствующей последовательности вершин.

Алгоритм нахождения Эйлерова пути или цикла, базируется на доказательстве теоремы Эйлера и может быть описан следующей последовательностью действий:

- задать исходную вершину «а» и записать ее номер в память;
- считать из памяти номер последней записанной вершины;
- по матрице смежности найти вершину «b», смежную вершине «а»;
- если найденная смежная вершина равна исходной («а» = «b»), вернуться к п. 3;
- если смежная вершина отсутствует – конец поиска;



- удалить из матрицы ребро  $\{a, b\}$ ;
- записать номер вершины «b» в память;
- вернуться к п. 2.

Описанный алгоритм позволяет однозначно найти либо Эйлера цикл, либо путь. В результате его работы в памяти будет записана искомая последовательность вершин графа.

Разработанное программное обеспечение предназначено для использования в курсе лекций по основам теории графов. Поэтому для улучшения восприятия студентами данного алгоритма каждый шаг программы сопровождается дополнительными комментариями, поясняющими суть выполняемых действий. Кроме лекций разработанное программное обеспечение может использоваться и при самостоятельной работе студента в качестве тестовой системы.

## **Дифференциация изображения на основе движения**

Лясковский С.С.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

Представленная работа является частью комплексного исследования технологий Искусственного Интеллекта, а именно технологий, связанных с обработкой видеоизображений в реальном времени - «Машинное зрение».

В настоящее время наблюдается рост вычислительных способностей компьютеров, смартфонов, растет качество камер, алгоритмы распознавания изображений улучшаются и развивается такое направление в информационных технологиях, как машинное зрение. Выбранная тема непосредственно связана с терминологией «Машинное зрение» и тесно с ней взаимодействует.

Нахождение и отслеживание движущихся объектов в видеопотоке является важной задачей для таких приложений, как охранные системы, системы анализа потока машин на автомагистрали и т.д.

Цель работы - разработать алгоритм, позволяющий производить сегментацию видеоизображения в реальном времени на основе движения объектов.

Основными инструментами являются:

Среда разработки QTcreator и библиотека OpenCV (OpenCV – это набор типов данных, функций и классов для обработки изображений алгоритмами компьютерного зрения.)

Принцип работы данного алгоритма:

- Захват видеоизображения из камеры \ видеофайла
- Разбиение видеоизображения на кадры
- Преобразование кадров в пиксельную матрицу
- Нахождение пиксельного отличия между n-кадром и n+1 - кадром
- Выделение объекта от фона

Основная трудность работы заключается в правильном детектировании объекта в движении и отделить его от «фона».

Экспериментальной частью работы является разработка технологии, позволяющая анализировать видеопоток и дифференцировать объекты по условию движения.

Результатом данной работы является реализация алгоритма сегментации изображения, разработанное оконное приложение, реализующее алгоритм «выделение движущегося объекта» и позволяющее сравнивать 2 видео потока одновременно – оригинальный и обработанный с помощью библиотеки OpenCv.

## **Оптимизация хранения и обработки ведомостей с помощью методов распознавания**

Малиновский И.В., Нефёдов М.Е.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Одна из проблем, с которой неминуемо сталкиваются работники деканатов – правильная организация и хранение экзаменационных / зачётных / курсовых ведомостей. Для этого желательно использование электронного учёта внесённых оценок.

При переносе оценок из бумажных ведомостей в электронное хранилище возникает проблема корректности данных: оценки могут быть внесены медленно и точно или быстро и с большой вероятностью ошибки.

Для решения данной проблемы предполагается использовать следующую методику работы с ведомостями:

- К ведомости прилагается лист, в котором вместо оценок можно отметить соответствующие оценкам пункты.
- Данный лист работник деканата сканирует.
- Предлагаемый программный комплекс обрабатывает отсканированный файл и распознаёт помеченные оценки студентов.
- Далее эти оценки передаются в централизованное хранилище оценок всех студентов института.

Данная методика без больших изменений применима и к промежуточным аттестациям студентов.

Централизованная система хранения оценок представляет из себя взаимосвязанный комплекс модулей, отвечающих за оптимальную обработку и хранение информации о ведомости, её содержанием. Программный комплекс включает в себя следующие технологии: C#, OpenCV, MySQL, PHP.

Возможности комплекса:

- Автоматическое распознавание ведомости и аттестаций
- Удобное структурированное хранение данных
- Генерация копий ведомостей
- Логирование действий пользователя системы
- Различные статистические отчёты
- Возможность распределённого доступа к системе

Основным достоинством системы является быстрая обработки большого количества ведомостей. В целом реализованная автоматическая система контроля и учёта ведомостей помогает работникам деканата ускорить темп и уменьшить масштаб работы во время сессии.

Данный программный комплекс проходит тестирование на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника» и дирекции Института №3.

## **Интерактивная система прокладывания траектории движения исследовательских спутников в солнечной системе**

Маркова К.Ю., Романенко Е.В.

Научные руководители – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Жизнь человечества сильно изменилась благодаря появлению спутников. Люди стали интересоваться полетами в дальний космос. 4 октября 1957 года начало исследований положил запуск первого искусственного спутника Земли – «Спутник-1». Следующие совершали полеты к Луне, затем продолжилось изучение других планет нашей солнечной системы. Даже современные мощные телескопы не дают возможности рассмотреть мельчайшие детали поверхностей отдаленных планет. В этом помогают космические аппараты, зондирующие планеты, производящие исследование грунта и проб атмосферы.

Например, космический аппарат NASA «NewHorizons», запущенный в рамках программы «NewHorizons» и предназначенный для изучения Плутона и его спутника Харона. «NewHorizons» первым в истории передал цветные снимки карликовой планеты и первым занялся тщательным ее изучением. Окрестности Земли аппарат покинул с самой высокой скоростью среди известных аппаратов. Аппарат был запущен в январе 2006 года и почти через десять лет, к лету 2015 года, добрался до Плутона. Это связано с тем, что он летел не по прямой траектории, а использовал гравитационные поля планет для разгона. Этот путь требует наименьших топливных и денежных затрат. Всего миссия рассчитана до 2026 года. Изучение дальнего космоса необходимо для добычи гелия-3 и производства на орбите каких-либо экзотических материалов, что когда-нибудь будет реализовано в заметных масштабах и станет экономически выгодным.

Задача данной программы – привлечь подрастающее поколение к освоению космических просторов и появлению у них интереса к точным наукам. Акцент делается на выборе самой оптимальной по затрате топлива траектории полета спутников. Рассчитывается количество топлива и время, которые необходимо затратить. При построении пути могут возникнуть препятствия в виде других планет или астероидов.

При разработке данной модели мы принимаем во внимание несколько факторов, влияющих на полёт спутника. Такие, как:

- гравитационные поля планет,
- масса,
- начальная скорость,
- угол запуска,
- запас топлива,
- время запуска.

Данная программа обладает следующими возможностями: строит траекторию полета космического аппарата, учитывая описанные параметры модели, также рассчитывает время в пути. Она показывает, как начальные данные могут повлиять на результат и рассчитывает необходимые издержки.

Комплекс «Интерактивная система прокладывания траектории движения исследовательских спутников в солнечной системе» реализован на Delphi с

помощью технологии Lazarus, разрабатывается и тестируется на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

## **Разработка алгоритмов и программного обеспечения системы тестирования обучающихся**

Масляева В.В.

Научный руководитель – Чумакова Е.В.

МАИ, г. Москва

В настоящее время контроль знаний учащихся все чаще осуществляется при помощи различных систем тестирования.

Существующие системы тестирования имеют ряд значительных недостатков: необходимость значительного времени для изменения вопросов тестирования, не ведётся статистика сложности вопросов, требуется устанавливать специальное программное обеспечение, наличие больших вычислительных мощностей у компьютера пользователя, а также не удобный интерфейс.

В качестве решения перечисленных проблем предложено создание системы тестирования на web-платформе с сервисом баз данных. Доступ к системе должен осуществляться с любого устройства, подсоединенного к сети интернет и имеющего браузер.

В программе предусмотрен статистический учёт, который отслеживает статистику успешного или ошибочного решения тех или иных вопросов при тестировании. Тесты формируются с использованием автоматического подбора вопросов в зависимости от сложности и темы, что исключает возможность получения одним учащимся только сложных вопросов, только легких или вопросов на одну тему.

Благодаря статистическому учёту можно отслеживать сложность в усвоении вопросов и выявлять пробелы в знаниях учащихся по конкретным темам. Например, выявить, что многие учащиеся не знают ответ на конкретный вопрос или группу вопросов.

Удобный и приятный для глаза интерфейс обеспечивает лёгкую и простую работу с тестами, журналом оценок, вопросами к тестам, и другой информацией. Позволяя быстро и удобно редактировать, и добавлять данные.

Система тестирования не требует установки никакого программного обеспечения, и все мощные вычисления происходят на самом сервере через интернет. Отсюда пропадает необходимость приобретения пользователем специального оборудования, а также не требует значительного времени.

Для разработки алгоритмов и программного обеспечения системы тестирования обучающихся выбрана web-платформа с сервером баз данных MySQL, и для создания веб-приложения выбран программный каркас Yiiframework. Как основной язык программирования использовался PHP.

## **Разработка комплекса программ анализа динамики пиков R ЭКГ человека**

Мельников А.С.

Научный руководитель – Черкай А.Д.

МАИ, г. Москва

Сердце - это уникальный мышечный орган, который перекачивает кровь по всему организму, насыщая клетки кислородом и питательными веществами.

Электрический, магнитный и гидродинамический импульсы, генерируемые сердцем во время его работы, являются источником важной информации о состоянии сердца и системы регуляции его функций.

Электрофизиологические методы исследования, в первую очередь, электрокардиография, играют важнейшую роль в современной кардиологии, в научной и практической медицине.

Данные обработки электрокардиограмм (ЭКГ) широко используются для оценки состояния миокарда, функций сердца и его ритма [1], но, как недавно выяснилось, с их помощью возможно [2] тестирование состояния и других органов человека.

С целью изучения этих новых возможностей в электрокардиографии в настоящей работе разрабатывается комплекс программ, позволяющий вести анализ последовательностей значений высоты пиков R ЭКГ и интервалов RR - временных промежутков между пиками R.

При этом используются общедоступные данные, полученные из баз данных PhysioNet, которая предлагает бесплатный доступ к большой коллекции записанных физиологических сигналов (ЭКГ, ЭЭГ, RR интервалы и т.д.) и соответствующее программное обеспечение с открытым исходным кодом для извлечения данных из нее.

Получение с помощью WaveFormDataBase из пакета PhysioToolkit базы данных PhysioNet последовательных значений ЭКГ с последующим выделением последовательностей значений высот пиков R и интервалов RR обеспечивает обработку этих последовательностей, используя подходы, описанные в работах [2] и [3].

Литература.

Зудбинов Ю.И. Азбука ЭКГ. — Ростов-на-Дону: «Феникс», 2003. — 160 с.

Успенский В.М. Информационная функция сердца. Теория и практика диагностики заболеваний внутренних органов методом информационного анализа электрокардиосигналов. - М.: «Экономика и информатика», 2008. - 151 с.

Черкай А.Д., Власов Ю.А. Лингвистический анализ ритма сердца // Проблемы временной организации живых систем. Отделение физиологии Академии наук СССР. М., Наука, 1979, с. 62 – 70

## **Предпосылки создания системы автоматизированного расчёта взлетно-посадочных характеристик воздушного судна**

Мельничук А.В.

Научный руководитель – Судаков В.А.

МАИ, г. Москва

Большое значение в обеспечении высокого уровня безопасности полетов и эффективности летной эксплуатации имеет расчет взлетно-посадочных характеристик (ВПХ). К ним относятся: максимально допустимая взлетная и посадочная массы, калиброванные скорости на взлете и посадке. Их расчёт производится с использованием специальных таблиц RunwayAnalyse или номограмм зависимостей ВПХ в соответствии с руководством по лётной эксплуатации (РЛЭ) воздушного судна (ВС). Учитывая, что выполнение расчетов ВПХ с использованием вышеуказанных методов – длительный процесс, требующий повышенного внимания, он имеет следующие недостатки:

- возникновение риска совершения ошибки при расчетах, обусловленным человеческим фактором, что может привести к таким авиационным инцидентам, как выкатывание ВС за пределы взлётно-посадочной полосы (ВПП), касанию самолётным хвостом ВПП и т.д.;
- затруднение выбора оптимальных параметров конфигурации ВС, режима тяги двигателя на взлете, режима работы тормозов при выполнении посадки.

В связи с этим, возникает необходимость в разработке системы для проведения расчетов ВПХ в автоматическом режиме. Данная система, за счет повышения скорости и точности расчетов, позволит выполнять расчеты для всех возможных вариантов конфигурации ВС с целью выбора их оптимальных значений. Таким образом, при гарантированном обеспечении безопасности полета она позволит увеличить экономическую эффективность эксплуатации ВС, выраженную в экономии ресурсов двигателей, тормозных устройств и увеличении коммерческой загрузки.

Решения для подобных систем имеются у иностранных производителей самолетов Boeing и Airbus, они успешно используются многими авиакомпаниями мира. В настоящее время существует необходимость в создании аналогичной системы и для ВС российского производства. В целях ее создания поставлены следующие задачи:

- 1) Разработать типовой алгоритм расчета взлетно-посадочных характеристик с возможностью определения оптимальных значений конфигурации ВС. В связи с тем, что для разных типов ВС в РЛЭ могут быть указаны различающиеся наборы критериев, используемых для расчета значений ВПХ, необходимо обеспечить адаптивность и расширяемость типового алгоритма для конкретного типа ВС с целью учета его специфики.
- 2) Разработать метод аппроксимации номограмм зависимостей ВПХ.
- 3) Создать на основании вышеуказанного метода математическую модель зависимостей ВПХ конкретного ВС для выполнения с ее помощью расчетов.
- 4) Разработать программное обеспечение для конкретного типа ВС на основе разработанных алгоритма и математической модели.

Система автоматизированного расчета ВПХ позволит снизить нагрузку на пилотов, повысить безопасность выполнения взлета и посадки и обеспечить: выявление возможности взлета на пониженной тяге для экономии ресурса двигателя и снижения затрат на его техобслуживание, определение оптимального режима торможения для экономии ресурса тормозных устройств, возможность более быстрого и точного определения максимально допустимой взлетной массы ВС для увеличения коммерческой загрузки.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 16-01-00571-а.

## **Создание программной системы моделирования режущих инструментов**

**Михрютин А.В.**

Научный руководитель – Михрютин В.В.

РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск

Режущий инструмент используется для обработки заготовок из различных материалов. В настоящее время в связи с широким распространением станков с ЧПУ важное значение приобретают задачи разработки эффективных управляющих программ и настройки режущего инструмента вне станка.

Эффективность управляющих программ для станков с ЧПУ в значительной степени обусловлена выбором рациональных параметров режущих инструментов и режимов обработки в процессе технологической подготовки производства. В настоящее время данная задача решается путем выбора данных параметров по достаточно нечетким рекомендациям изготовителей режущих инструментов и расчета по упрощенным зависимостям. Широко распространенные средства САЕ-систем позволяют производить весьма упрощенное моделирование процессов обработки. Известные системы разработки и верификации управляющих программ весьма абстрактно представляют геометрическую форму режущего инструмента и совершенно не рассматривают физические процессы, происходящие при резании.

Данное обстоятельство делает актуальным проведение работ по созданию специализированных компьютерных систем моделирования процессов механической обработки.

Решение данной задачи целесообразно производить на основе известных геометрических ядер твердотельного моделирования. Среди них наибольший интерес представляет геометрическое ядро OpenCASCADE, имеющее открытый исходный код и лицензию, позволяющую строить на его основе как коммерческие, так и свободно распространяемые приложения.

В данной работе на основе известного геометрического ядра разработаны подсистемы создания геометрических моделей сменных многогранных пластин (СМП) и сборного режущего инструмента.

Для создания моделей геометрического образа пластин СМП используются рациональные кривые Безье, позволяющие воспроизводить отрезки прямых и конические сечения, включая дуги окружностей. В качестве исходных данных для построения геометрического образа пластины задается буквенно-цифровой код, соответствующий действующим стандартам на формы и размеры СМП.

Программа анализирует данный код, рассчитывает координаты узловых точек кривых, задающих режущие кромки, строит модель пластины и отображает ее на экране. По заданным параметрам главного угла в плане, угла наклона главной режущей кромки, а также переднего или заднего углов производится создание трехмерной геометрической модели сборного режущего инструмента определенного вида.

На основе модели производится расчет статических и кинематических передних и задних углов вдоль всей режущей кромки пластины. Для удобства программа использует такие элементы управления как списки, переключатели и кнопки для выбора стандартных параметров и управления расчетом. Программа обладает высокой наглядностью, поскольку позволяет визуальное контролировать результат вычисления и отображает используемые расчетные зависимости. Создание трехмерной модели режущих пластин позволяет визуальное оценивать правильность принятых проектных решений и улучшает понимание конструкции инструмента.

Проведенная работа показала целесообразность использования геометрического ядра OpenCASCADE при создании подсистем геометрического моделирования инструментов и металлорежущих станков. На основе данной программы возможна разработка специализированных программных систем моделирования процесса резания, конструирования режущих инструментов и измерения геометрических параметров существующего инструмента.

## **Разработка программного комплекса для обеспечения функционирования системы «Умный дом»**

Морозов К.О.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

С недавнего времени технология «умный дом» набирает обороты, становится очень популярной, правда, в основном за рубежом. На данный момент можно насчитать десятки (а то и больше) готовых решений, которые можно приобрести уже сейчас в различных магазинах или же на заказ. Более того, многие разработчики объединяются в команды и разрабатывают свои системы домашней автоматизации, также есть те, кто занимается этим в качестве хобби. Целью данной работы является разработка программного комплекса для системы домашней автоматизации «умный дом», который будет отвечать следующим критериям:

- Дешевизна – система должна быть конкурентоспособна на рынке аналогов
- Простота в использовании – ни с точки зрения пользовательского интерфейса, ни с точки зрения технической части пользователь не должен сталкиваться с какими-либо проблемами, всё должно работать по принципу «plugandplay» (дословный перевод «подключи и играй»)
- Открытое API – необходимо предоставить разработчикам функционал для создания собственных интерфейсов, которые с лёгкостью можно будет интегрировать в уже имеющийся комплекс



- Интеграция готовых решений – система должна уметь работать с устройствами сторонних разработчиков
- Возможность получить доступ к домашней системе из любой точки мира с любого устройства

Для разработки данного комплекса были поставлены следующие задачи:

- Спроектировать и разработать библиотеку (API) и на её основе реализовать интерфейс для демонстрации работы прототипа комплекса
- Спроектировать облачный сервис
- Спроектировать и разработать web-интерфейс для общения пользователя с системой (локально и удалённо), для администрирования данных в облаке

Структура системы представляет собой набор устройств (датчиков), главное устройство с web-интерфейсом и облачный сервис для хранения/восстановления резервных копий пользователей. Устройства подразделяются на активные (поддерживают управление) и пассивные (только оперирование с показаниями). Главное устройство осуществляет управление всеми датчиками и общение с облачным сервисом, отвечающим за создание резервных копий. Новое устройство добавляется в систему посредством NFC peer-to-peer технологии. Перед отправкой происходит упаковка данных, вычисляется хеш-пакета, шифруется и передается на принимающее устройство. Отправка копии данных осуществляется при помощи SSL сертификации.

В ходе работы над данной темой была разработана библиотека на языке C++ с использованием библиотеки boost с минимальным необходимым функционалом для демонстрации работы прототипов датчиков и локальной станции. Управлять системой пользователь может через веб-интерфейс, написанный с использованием современных технологий, framework'ов (Nginx, GoogleAngularJS, TwitterBootstrap, DjangoFramework и т.д.) и с применением RESTFUL технологии (DjangoRESTFramework). Также был реализован облачный сервис для хранения/восстановления данных пользовательских локальных станций. В качестве базы данных как локальной, так и работающей в облачном сервисе, было принято решение использовать PostgreSQL.

В перспективах развития проекта прослеживается расширение библиотеки с добавлением нового функционала, реализация мобильных клиентов, проектирование интеграции сторонних устройств и внедрение меш-сети для увеличения радиуса работы системы и повышения отказоустойчивости. Также в планах есть написание алгоритмов для оптимизации домашних процессов, чтобы система была действительно «умной».

## **Разработка программного обеспечения для работы с электронными словарями на мобильной платформе iOS**

Нанасян К.Л.

Научный руководитель – Чумакова Е.В.

МАИ, г. Москва

В эру цифровых технологий для улучшения качества образования необходимо использовать преимущества и доступность гаджетов. В качестве вспомогательного инструмента разработано приложение-словарь, позволяющее

упростить процесс запоминания новых слов при изучении иностранного языка, а также увеличить плотность взаимодействия преподавателям и ученикам. Целью разработки является создание инфраструктуры для последующего её внедрения в процесс изучения иностранных языков.

На сегодняшний день существуют приложения для работы с электронными словарями и все они имеют идентичный друг другу функционал. Однако одна функция реализована слабо, или не реализована вовсе для iOS-приложений – возможность создание собственного словаря с последующим его редактированием.

Создаваемое приложение даёт возможность пользователю работать с собственными словарями в известном формате словарей компании АBBYY. Пользователь может самостоятельно добавлять слова, необходимые для изучения, а описание слов можно дополнять комментариями или изображениями.

В качестве платформы выбрана мобильная операционная система iOS. Языком программирования выбран Swift – открытый мультипарадигменный объектно-ориентированный язык. Для сетевых возможностей приложения использовано облачное хранилище iCloudDrive. Это позволяет максимально интегрировать функционал приложения с операционной системой и не расходовать ресурсы на собственное хранилище.

Приложение даёт возможность постоянно изучать слова из имеющихся словарей. Для изучения можно выбрать 3 варианта обучения: выбор правильного ответа, перевод слова, слово по его переводу. Пользователь может самостоятельно настраивать количество изученных и не изученных слов в тесте, в процентном соотношении. На данный момент доступно 2 варианта тестирования: тест на время и тест на количество слов. В одном тесте можно комбинировать все варианты обучения.

## **Формирование мобильного приложения «Справочник города Пушино» на базе Android**

Наumenko Ф.К.

Научный руководитель – Чернова Т.А.

МАИ, г. Москва

С развитием информационных технологий, позволяющих почти каждому человеку иметь при себе персональные мобильные устройства и различные гаджеты, появляется возможность оперативно получать нужную информацию, касающуюся местных организаций, общественного транспорта и др. в каждом конкретном регионе. Такая информация всегда актуальна и всегда необходима жителям города. На сегодняшний день мобильные приложения, которые могут предоставлять такую информацию, существуют только в густонаселенных регионах (например, г. Москва, г. Санкт – Петербург и др.), а малонаселенные регионы остаются без должного внимания. В большинстве случаев такие регионы представляют справочную информацию либо в печатном виде, либо в виде справочной службы. Чтобы получить нужную информацию из таких видов источников информации нужно потратить намного больше времени, чем при использовании мобильного приложения.

Решением данной проблемы является создание приложения, функционал которого обеспечивает пользователю доступ к нужным ему сведениям и информации, касающейся местных организаций и общественного транспорта (на примере г. Пушкино). Разработанное приложение называется: «Справочник города Пушкино». Оно позволяет оперативно получить нужную информацию в удобном и информативном виде. Возможности приложения:

- Работа офлайн: вся нужная информация хранится в приложении в виде базы данных. Таким образом информация доступна в любое время.
- Отображение нужной информации по организациям, услугам и общественному транспорту.
- Распределение организаций и услуг по категориям.
- Поиск организаций по определенным критериям (название, местонахождение, график работы и др.).
- Возможность моментально использовать информацию из приложения (набор номера, переход на веб–страницу и др.)
- Навигация по офлайн карте, способной всегда показать точное местоположение всех организаций и услуг.

Для реализации этого приложения была использована мобильная платформа на базе операционной системы Android, AndroidStudio в качестве интегрированной среды разработки (IDE) для работы с платформой Android, SQLite в качестве встраиваемой реляционной базы данных. Основной язык программирования на платформе Android – Java, который и будет использоваться для реализации приложения.

Таким образом, основными преимуществами этого приложения являются: мобильность, доступность, независимость от глобальной сети Интернет и сокращение времени на получение нужной информации. Ключевой особенностью является использование интуитивно – понятного пользовательского интерфейса, офлайн – карты и локальной базы данных, которая доступна в любое время.

## **Разработка программного обеспечения мониторинга состояния электротехнических объектов**

Павлюхин А.В.

Научный руководитель – Лисов А.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время, для сложных электротехнических объектов часто приходится решать проблему вероятности возникновения ошибок и обеспечения безотказности функционирования техники, для чего требуется вести мониторинг технических объектов. Механизм реализации такого подхода сводится к своевременному выводу объектов из эксплуатации до наступления их отказа и выхода состояния за допустимый предел использования.

Решение данной задачи основано на использовании современных информационных технологий, системного анализа и математического моделирования. Цель работы сводится к разработке и реализации методических решений, связанных с накоплением информации о состоянии сложных технических объектов в ходе их многократного использования, определению

показателя состояния объектов и предотвращения неполадок при функционировании данных объектов.

Проведение анализа состояния электротехнических объектов осуществляется через клиентское приложение. Исходная информация об объекте, его состояние, наличие ошибок, их предельный анализ, а также балльная оценка поступает в приложение. Данные обрабатываются в аналитическом блоке, где идет сравнение объекта с эталоном. Поступающие данные об объекте позволяют производить сравнение по нескольким параметрам, не только выявляя возможные неполадки, но также указывая на конкретные части и характеристики объекта, которые работают недопустимым образом. Результаты измерений оцениваются по балльной системе, они по своей сущности служат характеристическими параметрами состояния объектов. Эти данные поступают в базу данных.

Остановимся подробнее на процессе накопления информации. В базу записывается каждая ранее не встречавшаяся вариация параметров. Разброс многократно повторяющихся параметров позволяет оценить качество технологического процесса изготовления объектов, а также этот разброс дает возможность выявить наиболее критичные операции технологического процесса.

Состояние объектов можно рассматривать как совокупность их свойств, заданных определенным кодом  $k$ , который представляет собой «физическую метку» состояния (ФМ), характеризующую определенный признак каждого из объектов. ФМ предопределяется, в частности, деградацией свойств объекта и возникновением сопутствующих этому явлений.

Самообучение экспертной системы происходит по следующему алгоритму: в ходе непрерывного контроля определяется ФМ состояния изделия, по ФМ проводится обращение в базу данных прецедентов для получения записи. В соответствии с содержимым записи изделие аттестуется, генерируется команда на исполнительный орган объекта управления и формируется информация на пополнение статистики. Контролируемые объекты, для которых нет информации в базе, направляются на диагностические испытания по полной программе для формирования записи, помещаемой затем в базу данных.

Таким образом, предложен подход к установлению комплекса характеристических параметров необходимых для определения состояния рассматриваемых объектов, разработана методика выставления балльных оценок этим параметрам для представления и извлечения информации об объектах из базы прецедентов. Установлена взаимосвязь состояния объектов с их консолидированной информацией.

## **Алгоритм распознавания речи на основе MFCC**

Перепечко С.В.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

Существуют множество методов распознавания речи, в подавляющем большинстве случаев они основаны на методах статистического анализа и теории вероятности. Как известно, компания Google предоставляет бесплатный

сервис по распознаванию коротких речевых сообщений. Однако возникает вопрос: есть ли возможность сделать свою систему распознавания речи, пусть даже на довольно ограниченном по размеру словаре, без использования «внешних» сервисов, при этом чтобы она работала быстро и с приемлемым качеством? Безусловно, это возможно. Для распознавания речи будем использовать мел-кепстральные коэффициенты (MFCC). Целью данной работы является реализация алгоритма распознавания речи на основе MFCC.

Алгоритм заключается в следующем:

- В качестве базы обучения используется множество файлов, каждый из которых представляет собой набор MFCC-векторов, полученных из фонограммы с записью того или иного слова. При этом файлы с записью одного и того же слова объединены в одну группу.

- Находим супервектор средних для всей базы обучения при помощи алгоритма K-средних.

- Для каждого файла базы находим собственные средние значения по формуле:  $Mk = a \cdot Mk_0 + (1 - a) \cdot Mk'$ .

- Имея теперь вместо исходных фонограмм адаптированные супервектора средних, проводим латентное размещение Дирихле (LDA) для  $N$  классов (каждый класс соответствует одному слову). В результате получаем матрицу, состоящую из векторов нового базиса, при проекции на который исходные адаптированные супервектора средних должны достаточно хорошо разделяться.

- Проецируем все адаптированные супервектора средних на новый базис и находим средние значения и среднее квадратичное отклонение проекций для каждого класса.

- Для определения принадлежности тестовой фонограммы тому или иному классу, т.е. распознавания, выполняем для неё п. 3 и п. 5, далее находим расстояния полученной проекции до средних значений всех классов. Минимальное расстояние и будет соответствовать классу, к которому принадлежит тестовая фонограмма.

Реализация:

- Произвели запись фонограмм для обучения и тестирования в WAVE формате в моно-режиме с частотой дискретизации 16000 с помощью программы Audacity.

- Построили MFCC-векторы на основе библиотеки SPro 5.0.

- Для обучения и тестирования системы была написана программа на языке C#. Реализация алгоритма LDA была позаимствована из библиотеки ALGLIB.

Использование системы распознавания речи намного упростит возможность взаимодействия человека с машиной на языке, максимально приближенном к естественному языку человека, поскольку общение на естественном языке позволяет организовать эффективное и удобное взаимодействие оператора с системой.

## **Система организации текущей информации об учащихся «Электронный деканат»**

Поваляев П.П., Шариковт Д.В.

Научный руководитель – Костиков Ю.А.

МАИ, г. Москва

Функцией Электронного деканата является хранение и обработка информации о ходе учебного процесса и его участниках, а также автоматизация взаимодействия между тремя участниками учебного процесса: администрация — преподаватель — студент. Электронный деканат позволяет выполнять ряд функций традиционного деканата на более технологичном уровне, значительно сокращая время выполнения определенной работы традиционного деканата.

Для каждого студента заводятся запись в книге Excel, которая содержит разрешенную личную информацию, которая накапливается в процессе прохождения обучения (текущая аттестация, оценки за сессию, учебный план и др.).

Присутствует генерация ведомостей, бланков аттестаций для печати, а также генерация электронных бланков аттестаций для быстрого анализа результатов и выявления отстающих, генерация электронных кондуитов в которых хранятся оценки, название предметов и имена преподавателей за определенный период с последующим анализом и генерации списка задолжников в удобной для дирекции форме, указанные списки рассылаются заведующим кафедрами для проведения воспитательных работ.

Важным преимуществом данной системы является возможность отслеживания движения контингента (перевод в другую группу, уход в академический отпуск, отчисления, восстановление и др.) с помощью уникальных идентификаторов студентов.

Для разработки отчетов используется язык программирования VisualBasicforApplication, входящий в состав пакета MicrosoftOffice, отчеты предоставляются в формате Word, Excel.

Постепенно развиваясь, этот программный продукт внедряется в работу деканата Института информационных систем и технологий более года, за это время существенно расширился функционал программы, который обеспечивает все большие потребности кафедр, преподавателей и студентов, разработка проекта и ее реализация ведется студентами кафедры «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника» под руководством ее преподавателей. В настоящее время разрабатываются утилиты для прямой связи с учебно-методическим ресурсом Университета.

## **Модель системы автоматизированной почтовой рассылки**

Посконин Р.В.

Научный руководитель – Чернова Т.А.

МАИ, г. Москва

Автоматизированная система - система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций [из п. 1.1 ГОСТ 34.003-90], т.е.

это организованная совокупность средств, методов и мероприятий, используемых для регулярной обработки информации для решения задачи.

Главной целью создания АС является стандартизация автоматизируемого процесса, что позволяет обеспечивать стабильность работы системы, прозрачность её контроля и анализа слабых мест и основания для её развития либо свёртывания.

В период всеобщей информатизации задача создания автоматизированных информационных систем становится всё более актуальной. Настолько же остро необходима и комплексная автоматизация системы оповещения клиентов, посредством организации массовых автоматизированных почтовых рассылок, что и является целью данной разработки.

Сервисы, решающие проблему автоматизации оповещения клиентов, уже существуют, но они ограничены уровнем внедрения в функционирующую структуру организации.

Для реализации системы автоматизированной почтовой рассылки автор решает следующие задачи:

- создание структуры данных;
- реализация структуры и хранение данных в СУБД;
- реализация программных методов автоматизированной рассылки;
- создание системы конструирования рассылок;
- анализ результатов выполнения рассылок.

Для реализации данной разработки под ОС Windows автором используется:

- программная платформа .NET Framework;
- утилита для администрирования MsSQL Server – SQL Server Management Studio;
- почтовые протоколы SMTP/POP3/IMAP;
- язык структурированных запросов – SQL;
- объектно-ориентированный язык программирования - C#.

Результат разработки - комплексное программное обеспечение, решающее проблему автоматизированного оповещения клиентов. Данная разработка будет пользоваться спросом в малых кампаниях с небольшим количеством клиентов. В отличие от прототипов, она полностью локальна и имеет возможность внедрения уже в имеющуюся структуру данных компании. В перспективе развития предложенной разработки - возможность создания единой платформы для e-mail-рассылок, SMS, push-уведомлений.

## **Создание портируемых приложений для архитектуры VLIW**

Приходько Д.И.

Научный руководитель – Терновсков В.Б.

ГКА им. Маймонида, г. Москва

Архитектура VLIW представляет собой одну из реализаций концепции внутреннего параллелизма в микропроцессорах. Она имеет несколько недостатков.

Есть 3 способа компенсации недостатков архитектуры VLIW:

Эмуляция аппаратным методом нужной архитектуры.

За счет специальной аппаратной поддержки в режиме совместимости эффективно исполняются многопоточные двоичные приложения с соблюдением моделей памяти исходной аппаратной платформы (порядок обращений в память), и обеспечивается реализация точных и асинхронных аппаратных прерываний. (на примере процессора Эльбрус).

Плюсы:

- Максимальная масштабируемость

Минусы:

- Более низкая производительность.
- Создание интерпретируемых приложений

Это самое элементарное решение, которое в отличие от предыдущего предполагает тот факт, что ОС пишется под заданную архитектуру, также пишется интерпретатор и он выполняет программу (яркий пример пакетные файлы.).

Плюс:

- Простота разработки приложений

Минус:

- Меньшее быстродействие интерпретатора по сравнению с готовой программой.

Создание программной оболочки. Является самым идеальным вариантом, по сравнению с предыдущими, т.к. позволяет реализовать нужные функции в виде обёрток.

Например, платформы: Windows 9x, 32s и NT – реализация api позволяет создать для них приложения, которые легко перенести на другие приложения.

Для реализации был придуман формат исполняемого файла.

FORMAT VP - структура формата должна быть похожа на ELF, но я думаю, что отличие должно быть – специальная таблица импорта, которая содержит обёртки над прерываниями или командами – т.е. будет выглядеть так:

```
Importaddress,\
_cmdcmp,'_cmp', add, '_add' – где address – адрес виртуальной машины или сервера команд или сообщений, который обеспечивает доступ к командам процессора с минимальной задержкой.
```

```
Importlib library,\
```

```
func, 'func1' – импорт функций.
```

## **Анализ методики перехода предприятия на процессный подход к управлению**

Разбаш Р.В.

Научный руководитель – Епанешникова И.К.

МАИ, г. Москва

В настоящее время процессный подход к управлению является основной концепцией управления компанией и средством улучшения деятельности организации. Основой реализации процессного подхода являются CALS-технологии - информационная поддержка изделия на всех стадиях жизненного цикла.



Реализация CALS-технологий основана на применении принципов и технологий информационной поддержки на всех стадиях жизненного цикла продукции, с применением интегрированной информационной среды, обеспечивающей единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков продукции (включая государственные учреждения и ведомства), поставщиков (производителей) продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала. Эти принципы и технологии реализуются в соответствии с требованиями международных стандартов, регламентирующих правила управления и взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными.

Переход предприятия на процессное управление предполагает проведение подготовительного этапа, который включает в себя:

- Анализ иерархической структуры подразделений и всего предприятия
- Анализ существующих процессов (как есть)
- Построение модели бизнес процессов
- Анализ информационных потоков
- Реорганизация бизнес процессов (как надо)

Построения модели бизнес процессов реализуется на основе создания опросников для отдельных подразделений предприятия. В результате опроса должна быть выяснена следующая информация:

- Вход процесса
- Выход процесса
- Функциональное назначение процесса
- Ресурсы
- Владелец процесса
- Потребители и поставщики процесса
- Показатели процесса

Анализ информационных потоков проводится аналогично, результатом анализа должна быть структура обмена данными между сотрудниками с указанием способа передачи и вида информации.

После построения модели бизнес процесса будут определены: участники процесса, входы процесса, выходы процесса, функции процесса, и появится возможность оптимизации процесса, и возможность сделать обмен информацией между участниками процесса максимально полным, достоверным и управляемым в ходе производственной деятельности, а также быстрым и удобным. Оптимизация предполагает разработку структуры распределенной базы данных, и определение структуры и функционального назначения автоматизированных рабочих мест. После проведения подготовительного этапа можно перейти к разработке программного обеспечения и внедрению процессного подхода на предприятии.

## **Разработка информационной системы формирования и обработки заказов на выполнение проектной документации для проектных организаций**

Резников А.А.

Научный руководитель – Сазонова А.С.

БГТУ, г. Брянск

На настоящий момент на многих предприятиях отсутствует современная автоматизированная система в области формирования и обработки заказов на выполнение проектной документации, поэтому система, предназначенная для внедрение в проектно-изыскательские институты, является актуальной, так же актуальность разработки данной информационной системы (ИС) обусловлена тем, что рынок строительной индустрии диктует свои требования, и это в первую очередь оперативность и качественность разработки проектной документации.

Целями и задачами информационной системы является:

- упорядочивание информационных процессов, используемых на предприятии;
- сокращение времени, требуемого для обработки и получения той или иной информации в рассматриваемой области.

Информационная система предназначается для решения ряда задач, направленных на повышение уровня автоматизации информационных процессов на предприятии.

Разрабатываемая информационная система не имеет полных аналогов на рынке программных средств.

В качестве аналогов, имеющих похожие функциональные возможности, было рассмотрено две крупных системы: «1С: Документооборот» и «Галактика». «DIRECTUM».

Рассмотренные системы не полностью отвечают всем необходимым требованиям, основным недостатком в случае приобретения ПС «1С» или «Directum» является то, что многие их функциональные возможности являются излишними и не будут востребованы в автоматизируемой области деятельности предприятия, что может привести к нерациональному вложению средств и неоправданным временным затратам.

В качестве среды разработки и языка программирования были выбраны VisualStudio и C# соответственно. VisualStudio позволяет разрабатывать программное обеспечение, которое использует возможности многопроцессорных платформ, распределяя вычислительную нагрузку между множеством процессоров. Функциональность языка C# позволяет выполнить все требования к проектируемой ИС.

Для работы с базами данных использовался SQL. В качестве СУБД было выбрано программное средство Microsoft SQL Server.

Для более полного представления о пользователях системы и их функциональных возможностях была разработана диаграмма прецедентов и диаграмма классов. Диаграмма классов показывает зависимости, которые описывают существующие между классами отношения использования. Так же

данные диаграммы позволяют определить типы объектов и систем, и различного рода связи между ними.

В результате проведенных экономических исследований была доказана экономическая целесообразность разработки информационной системы формирования и обработки заказов на выполнение проектной документации для проектных организаций.

Автоматизация рассматриваемой области деятельности проектных предприятий, дает возможность упорядочить информационные процессы, используемые на предприятии, сократить время, требуемое для обработки и получения той или иной информации по заказам, и, тем самым, обеспечить повышение производительности труда в целом.

Так же, разрабатываемая информационная система имеет возможности совершенствования в дальнейшем при необходимости. В целом, данная система является удобной и доступной для использования на предприятиях, работающих в аналогичной сфере деятельности.

## **Программное обеспечение для освоения стандартных алгоритмов языка С**

Скляров Н.А.

Научный руководитель – Костиков Ю.А.

МАИ, г. Москва

Для улучшения качества усвоения стандартных алгоритмов языкаС была разработана программа, позволяющая самостоятельно тренировать использование этих алгоритмов.

Программное обеспечение имеет:

- функционал для удобного просмотра описаний алгоритмов языка С;
- возможность принудительного шифрования выполненной работы при отправке ее результатов на проверку.

Программа обеспечивает возможность просматривать описание алгоритма, созданное с использованием языка HTML, пример его использования и задачи для самостоятельного решения. Данное приложение может быть использовано при дистанционном обучении.

Подразумевается разделение пользователей приложения на две роли: обычный пользователь – человек обучающийся при помощи данной программы, а также пользователь инструктор – осуществляющий анализ и проверку изученного. Программное обеспечение предоставляет возможность обычному пользователю, изучить изложенные в файлах материалы. Используемый язык разметки пособий позволяет создавать гиперссылки, которые позволяют обращаться к пояснениям различных фрагментов текста. При наличии задач для самостоятельного выполнения, обеспечивается возможность произвести запись своего решения задачи в специальном поле, а также своих личных данных для идентификации проверяющим. После сохранения данных, файл с решением зашифровывается с помощью алгоритма RSA. Для инструктора предоставлен специальный раздел программы, где потребуется ввод секретного ключа, который открывает возможность просмотра зашифрованных файлов, для оценивания выполненных заданий.

В качестве примера использован алгоритм поиска вхождения подстроки из заданного массива в некоторой строке. Программный продукт обеспечивает подробную информацию о работе алгоритма и реализации, а также даны советы по использованию дополнительных печатных материалов по темам, расширяющим область данной работы. В нем же содержатся задачи разной сложности для самоподготовки и контроля знаний.

Алгоритм основан на работе с массивом подстрок, где происходит детектирование при помощи стандартной функции языка Cstrsr вхождения лексемы в строку. После нахождения нужного элемента массива в буфере, сохраняется его номер, который можно использовать в дальнейшем. Такой алгоритм поиска можно применить при написании программ, где используются технологии интерпретатора.

Программное обеспечение для освоения стандартных алгоритмов языка C реализовано на ObjectPascalпри помощи среды разработки Lazarus. Тестируется на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

## **Решение транспортных задач, с помощью интерактивных карт**

Советников В.А.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Очень часто, организациям необходимо перевозить грузы со склада, потребителям. Координация чаще всего происходит по телефону или e-mail, что не эффективно так как оператор не имеет реального представления о местонахождении автомобиля, относительно груза. Для решения данной задачи, разрабатывается программный комплекс для автоматизации транспортно-экспедиционных компаний, а также логистических отделов предприятий, чья деятельность, так или иначе, связана с перевозками: грузоперевозки, автоперевозки, доставка и т.п.

Разрабатываемый программный комплекс позволит быстро и качественно выбирать оптимальный способ перевозки грузов.

Для удобной визуализации информации о перевозках используются интерактивные карты. Каждая машина компании оснащена специальной программой, которая будет передавать данные о своем местоположении на сервер и по этим данным, на интерактивных картах автомобиль будет отмечаться маркером. Цвет маркера будет зависеть от того, занята ли машина или нет.

Помимо этого, на сервере будет указано:

- время в пути каждого автомобиля
- начальная и конечная точки следования
- промежуточные точки проложенного маршрута

На сервер поступает задания о грузе, после чего координаты вводятся в приложение на сервере и автоматически определяется оптимальная машина, находящаяся ближе всего к грузу. После чего задание отправляется определенной машине, и цвет маркера данной машины меняется на «ЗАНЯТ», данное авто заносится в список занятых.

Работать приложение будет с интерактивными картами, такими как:

- Яндекс.Карты
- 2ГИС
- GoogleMaps
- OpenStreet
- BingMap

Так как, эти карты имеют хорошую детализацию, и все необходимые функции для работы с приложением они поддерживают.

Альтернативой использования интерактивных карт, является создание своих карт, но это будет не выгодно для компании в финансовом плане. Так как работа связи автомобиля с сервером, будет осуществляться по интернету, то работа с уже готовыми интернет картами значительно упростит передачу данных и их обработку.

В данный момент модель проходит тестирование на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

### **Имитационное моделирование транспортного движения**

Соломон Т.А., Якушин Р.Р.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

В современном мире пробки и неправильная организация автобусных маршрутов являются основной проблемой несвоевременного прибытия общественного транспорта (ОТ). Для решения этих проблем необходимо провести анализ дорог, пешеходов, машин, автобусов и других участников движения. Самый простой и эффективный способ изучения таких проблем является имитационное моделирование. Существует, множество программ с помощью, которых можно моделировать, оценивать и анализировать транспортное движение и пешеходов. Одной из программ, которая помогает реализовывать транспортные модели является PTVVISSIM[1] - необходимый инструмент при анализе проектных и организационных решений.

Основные задачи, которые может выполнять VISSIM:

- Рассмотрение и оценивание различных типов дорог на пропускную способность.

К примеру: регулируемые и нерегулируемые перекрёстки, круговое движение, многоуровневые развязки и т.д.

- Контроль направлениями движения на отдельных полосах, а также и на всей проезжей части. Детальная имитация движения каждого участника движения.

- Проектирование, тестирование и оценка влияния режима работы светофора на характер транспортного потока.

- Анализ управления дорожным движением на автострадах и городских улицах.

- Анализ возможности предоставления приоритета общественному транспорту и мероприятия, направленные на приоритетный пропуск трамваев

- Анализ влияния управления движением на ситуацию в транспортной сети (регулирование притока транспорта, изменение расстояния между

вынужденными остановками транспорта, проверка подъездов, организация одностороннего движения и полос для движения общественного транспорта).

- Анализ пропускной способности больших транспортных сетей (например, сети автомагистралей или городской улично-дорожной сети) при динамическом перераспределении транспортных потоков (это необходимо, например, при планировании перехватывающих парковок).

- Анализ мер по регулированию движения в железнодорожном транспорте и при организации стоянок ожидания (например, таможенных пунктов).

- Моделирование остановок общественного транспорта и станций метрополитена, причём учитывается их взаимное влияние.

На данный момент большинство моделей реализуются авторами самостоятельно, т.е. создаётся свой программный комплекс, описывающий и реализующий конкретную транспортную модель, что повышает затраты на моделирование и проектирование. Предлагается использовать для моделирования один продукт в частности PTVVISSIM. На текущий момент часть моделей переводится в эту среду.

Разработка и тестирование соответствующих моделей проводятся на кафедре «Прикладная математика и информационные технологии и электротехника».

Библиографический список:

1. L. Bloomberg and J. Dale, Comparison of VISSIM and CORSIM Traffic Simulation Models on a Congested Network. Transportation Research Record 1727:52-60, 2000.

## **Построение и анализ потоков на автодорожных перекрестках и развязках**

Соломон Т.А., Якушин Р.Р.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Наши города содержат огромное количество автомобильных перекрестков и транспортных развязок. И зачастую мы сталкиваемся с такой проблемой, как большая загруженность дороги.

Причиной этой проблемы может быть неоптимальное построение или распределение времени разгрузки потоков. Например, на Х-образном перекрестке возможна вероятность возникновения взаимной блокировки, не учитывающая ситуации затруднения движения, такие как вынужденные остановки и дорожно-транспортные происшествия.

Один из способов решения этой задачи является анализ движения транспортных потоков на определенном участке дороги.

В данной работе построение моделей происходит с помощью программного продукта PTVVISSIM[1]. Благодаря этому приложению возможно моделировать необходимые пути с потенциальными особенностями (дорожные знаки, светофоры и т.д.), имитировать движение транспортных, пешеходных, и даже воздушных и морских потоков. Анализ пропускной способности осуществляется за счет вводимых нами данных на определенной области движения.

Рассматривая ту или иную модель, мы можем понять, оптимизирует ли задачу регуляция дорожного движения с помощью светофоров; замена Х-образных перекрестков кольцевыми дорогами, использование мостов и туннелей, увеличение полос в определенном направлении и т.д.

На базе кафедры МАИ «Прикладная математика и информационные технологии и электротехника» проходят тестирование модели двухуровневой турбиной, накопительной четырехуровневой и круговой развязок.

Библиографический список:

1. L. Bloomberg and J. Dale, Comparison of VISSIM and CORSIM Traffic Simulation Models on a Congested Network. Transportation Research Record 1727:52-60, 2000.

## **Среда для визуализации алгоритмов теории графов**

Стрекаловский А.А.

Научный руководитель – Опадчий Ю.Ф.

МАИ, г. Москва

Введение новых стандартов образования ФГОС ВПО предполагает перераспределение объема часов, отведенных на изучение конкретной дисциплины, в пользу самостоятельной работы студента. Это ведет к сокращению времени лекционных занятий и остро ставит вопрос об их интенсификации. Одним из путей решения данной задачи является задействование в процессе обучения всех систем восприятия информации студента. Этой цели могут служить специальные компьютерные программы, предназначенные для визуализации конкретных понятий и положений изучаемого курса. Особенно такой подход эффективен при изучении стандартных алгоритмов. Целью данной работы является создание учебных программ, предназначенных для визуализации стандартных алгоритмов, изучаемых в курсе «Теория графов».

Разработанное программное обеспечение состоит из универсальной оболочки, в которую встроены визуализаторы конкретных алгоритмов, позволяющие в пошаговом или автоматическом режимах иллюстрировать работу изучаемого алгоритма. Разработанный интерфейс с использованием матрицы смежности позволяет задать структуру графа. При необходимости данная структура может быть отредактирована и сохранена в файле как стандартная. Далее выбирается один из иллюстрируемых алгоритмов и вводятся дополнительные условия для их визуализации, такие как используемый тип анимации (автоматический и пошаговый), скорость смены изображений, начальные условия анимации.

Для реализации поставленной задачи используется язык программирования C#, технология Windows Presentation Foundation для реализации интерфейса и среда разработки Microsoft Visual Studio. Основное преимущество C# заключается в том, что с его помощью можно достаточно быстро реализовывать оконные приложения. Также используя C# удобно работать в связке с технологией WPF, которая предоставляет средства для создания визуального интерфейса, включая графику, анимацию и элементы управления. Основное преимущество WPF заключается в том, что для отрисовки графики используется DirectX, который содержит много штатных средств для реализации сложной

графики. Вместо рисования пикселей, в WPF мы имеем дело с графическими ингредиентами. Среда разработки Microsoft Visual Studio была выбрана благодаря удобству работы в ней, интуитивно понятному интерфейсу и функционалу.

В качестве примера рассмотрим работу визуализатора алгоритма Дейкстры, предназначенного для нахождения кратчайшего пути в графе.

Данный алгоритм позволяет найти кратчайший путь от заданной вершины, до всех остальных. После того, как мы задали граф через матрицу смежности и выбрали данный алгоритм, пользователю предлагается задать стартовую вершину, а затем вручную задать длину каждого из ребер, после этого происходит пошаговая визуализация алгоритма. В процессе работы алгоритма исследуемая вершина, исследованные вершины и неисследованные вершины отображаются разными цветами. В результате получен исходный граф с указанием длин всех ребер и над каждой из вершин указан кратчайший путь до стартовой вершины.

В результате работы разработана уникальная среда для визуализации алгоритмов исследования графов и определения их основных характеристик, у которой, на данный момент, не существует адекватных аналогов в плане удобства и работоспособности. Еще одной немаловажной особенностью разработанной среды является ее открытость, что в перспективе позволяет дополнять ее другими алгоритмами, что несомненно расширяет ее возможности в плане интенсификации учебного процесса и повышения его эффективности.

## **Автоматизация процессов бизнес-планирования**

Струнина Ю.Ф.

Научный руководитель – Сырейщикова Н.В.

ЮУрГУ, г. Челябинск

Современная бизнес-среда предъявляет к компаниям всё более высокие требования, «заставляя» постоянно работать над повышением конкурентоспособности и эффективности. Очевидно, что эффективным может быть только прозрачный и четко управляемый бизнес.

Планирование вообще и планирование на предприятиях в частности является основой функции управления (план – исполнение – контроль отклонений – корректировка плана). Таким образом, эффективное планирование, как долгосрочное, так и оперативное, является необходимым и основополагающим элементом эффективного управления.

Важность системы планирования многократно возрастает для производственных компаний ввиду того, что производство является наиболее сложным бизнес-процессом в деятельности компании. Эффективность, а значит, конкурентоспособность производственной компании практически напрямую определяется эффективностью используемой системы планирования и управления производством.

Таким образом, автоматизация процесса планирования – актуальный вопрос и важнейший элемент в прогнозе развития организации и ее экономической стабильности.



На кафедре технологии машиностроения ЮУрГУ совместно с промышленной группой «КОНАР» реализован проект по автоматизации процесса планирования.

Основу деятельности ПГ «КОНАР», как и любого предприятия, составляют следующие укрупненные бизнес-процессы, подлежащие планированию: закупки; производство; продажи. Основные виды ограниченных ресурсов, требующие планирования и управления это: материальные ресурсы; производственные ресурсы; финансовые ресурсы.

Автоматизация планирования производства ПГ «КОНАР» является необходимой по следующим причинам: 1 производство работает с постоянной корректировкой производственной программы в соответствии с изменяющимся спросом и очевидна необходимость прогноза сбыта (плана продаж), а также планов производства и закупок, как их обеспечивающих; 2 номенклатура готовой продукции и полуфабрикатов достаточно объемная; 3 производство многоэтапное, с большой «вложенностью» спецификаций; 4 присутствующая «унификация» узлов и комплектующих не позволяет планировать изготовление каждого вида продукции по всем этапам независимо от других видов продукции; 5 длительные сроки поставок сырья и материалов, длительные сроки производства, требующие «перспективного» планирования закупок и производства, обеспечивающего приемлемые сроки отгрузки; 6 необходимость осуществлять финансовое планирование – формировать бюджеты продаж, закупок, производства.

Автоматизация процесса планирования производства предприятия решит приведенные проблемы и даст следующие преимущества: сокращение времени планирования и перепланирования; уменьшение трудоемкости процесса; минимизацию влияния человеческого фактора на процесс планирования; оптимизацию планирования.

Таким образом, автоматизация процесса планирования производства предприятия позволяет достичь следующих факторов экономии: увеличение маневренности действий предприятия за счет быстрого реагирования на изменения условий рынка; обеспечение поставок продукции в срок, как следствие сокращение претензий, следовательно, уменьшение издержек по срыву поставок и выплаты штрафных санкций; уменьшение документооборота; достижение устойчивого успеха предприятия на базе предотвращения появления несоответствий на ранних этапах, снижения количества внешних и внутренних отказов, сокращения трудоемкости управления процессами на 20%, повышения стабильности выполнения процессов на 25%.

## **Модель структурной оптимизации транспортной автобусной сети**

Суворова А.А.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Геоинформационные системы - важная часть современного мира. Все больше людей для выбора маршрутов проезда пользуются не классическими бумажными картами, а их электронными аналогами с функцией автоматического выбора наиболее удобного пути. Разработка

автоматизированных систем оказала также большое влияние на логистику транспортных компаний, будь то предприятия общественного транспорта или отделы доставки промышленных корпораций.

Рассмотрим подробнее частный случай ГИС на примере автобусной сети. Перед её руководством стоят следующие задачи:

- сократить время движения по каждому маршруту
- собрать наибольшее количество пассажиров
- оптимизировать использование различных видов транспортных средств (автобусы разной вместимости)
- оптимизировать график работы сотрудников компании

Для решения данных задач был разработан программный комплекс, моделирующий автобусную сеть. В программу вносятся сведения об автобусном парке (количество транспортных средств по категориям), сотрудниках (число и время работы водителей и обслуживающего транспорт персонала), количестве пассажиров для каждого остановочного пункта в соответствии со временем дня, уже используемые маршруты следования транспорта (в виде остановок и автодорог между ними) и карта местности представленная как направленный взвешенный граф, где вершины это остановочные пункты и перекрестки, а ребра - отрезки дорог между ними с двумя видами весов: протяженностью и максимальной скоростью по времени суток. В начале работы оператор выбирает нужные настройки (один из готовых маршрутов, необходимые для нового маршрута остановки или его начальную и конечную точки). Как результат действия программы будет получена информация об оптимальности данного маршрута в соответствии с количеством перевозимых пассажиров или со временем нахождения транспортного средства в пути. Если заданный оператором вариант признан нерациональным, программный комплекс предложит новый маршрут через заданные остановки.

Также необходимо отметить, что общие издержки могут быть снижены за счёт использования менее вместительного и дорогого транспорта, чем выбранный заказчиком. Эти варианты также будут ему предложены.

При разработке программы был использован язык C# со стандартными библиотеками, а также библиотека для работы с графами QuickGraph.

В данный момент система оптимизации работы транспортной сети проходит тестирование.

## **Система нагрузочного тестирования телекоммуникационных систем на основе имитационной модели**

Сухарев А.С.

Научный руководитель – Дзюба Д.В.

МАИ, г. Москва

Операторы мобильной связи стремительно развиваются. Из-за большой конкуренции с другими региональными операторами требуется внедрять новые тарифы и услуги с нестандартным изменением параметров системы, а также модернизировать аппаратное обеспечение. Для этого требуется модифицировать программное обеспечение целого комплекса систем таких классов, как CRM (система управления взаимоотношения с клиентами), ERP (планирование

ресурсов предприятия), Billing (учёт использования услуг), ResourceInventory (управление ресурсами предприятия), CustomerSelfcare, Mediation (преобразование данных для использования в биллинговой системе), Real-timeRating (оценка стоимости использования услуг) и других. Этот комплекс состоит из сотен серверов, которые взаимодействуют между собой через огромное количество интерфейсов. Принципы построения таких систем описаны в [1].

Из-за необходимости проводить различные виды тестирования от готовности новой версии до вывода в эксплуатацию проходит много месяцев. Тестирование проводится на случайно сгенерированных данных об абонентах: с какой частотой и в какой последовательности абоненты выполняют различные операции (звонят, совершают платежи, подключают услуги, меняют тарифные планы и т.д.). Только на реальной системе можно понять, какую нагрузку создают настоящие абоненты на систему, и как взаимодействуют между собой сотни параллельных процессов. Поэтому для полномасштабного тестирования необходимо иметь ещё один дата центр, который нельзя использовать вне тестирования, что очень накладно.

В данной работе была спроектирована модель данных телекоммуникационной системы на основе референтной модели SID InformationFramework. Приведено описание имитационной модели и создана упрощённая система, при помощи которой можно симулировать работу оператора мобильной связи, а также активность его абонентов с использованием параметров, определяемых дискретными распределениями случайных величин. Была симулирована активность абонентов, имеющих разные профили использования услуг, в течение некоторого промежутка времени. Путём анализа полученных данных, абоненты были разделены на группы по активности при помощи предложенного метода анализа абонентов, основанного на последовательной кластеризации следующих данных: информация об устройствах, информация об учётных записях и информация о самих абонентах. Используя полученную информацию о разделении абонентов, нагрузка части абонентов была проецирована с основной системы на тестовую, что позволило уменьшить требования к последней.

Проведён анализ эффективности алгоритмов кластеризации K-Means [2], DBSCAN, BIRCH [3], и лучше всего себя проявили K-Means и BIRCH. Несмотря на то, что BIRCH может показывать лучшие результаты, чем K-Means, последний уже сейчас легко масштабируется при помощи модели MapReduce, позволяющей обрабатывать колоссальный объём данных, которыми оперируют операторы мобильной связи.

Литература.

1. Муссель К. М. Предоставление и биллинг услуг связи. Системная интеграция. – 2003.

2. Kanungo T. et al. An efficient k-means clustering algorithm: Analysis and implementation // Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on. – 2002. – Т. 24. – №. 7.

3. Zhang T., Ramakrishnan R., Livny M. BIRCH: an efficient data clustering method for very large databases // ACM SIGMOD Record. – ACM, 1996. – Т. 25. – №. 2.

## **Разработка клиентского мобильного приложения для интернет-магазина с использованием FirebaseBaaS**

Сухов Д.Ю.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

В последнее время большую популярность при разработке мобильных и веб-приложений набирают сервисы, предоставляемые такими компаниями как Google, Yandex и другие. В частности, большое внимание уделяется облачным вычислениям и облачным сервисам. Облачные сервисы предоставляют возможности удаленного доступа к данным, организации совместной работы с данными, синхронизации данных и многие другие.

В данной работе рассматривается разработка клиентского мобильного приложения для интернет-магазина спортивного питания. В качестве платформы для разработки была выбрана операционная система Android – одна из самых популярных платформ для мобильных устройств. Вся разработка велась в интегрированной среде AndroidStudio. Для реализации серверной логики была использована облачная технология от Google под названием Firebase. Firebase – это облачная база данных для real-time приложений. Firebase позволяет хранить все данные в облаке, которое готово почти к любым нагрузкам. Данные в NoSQL базе данных Firebase хранятся в формате JSON и моментально обновляются на всех клиентах, которые в данный момент подключены к Firebase. Также данный сервис берет на себя все проблемы, которые могут возникнуть при масштабировании приложения – производит автоматическое управление серверными ресурсами, и поддерживает возможность работы при отсутствии Интернет-соединения (worksoffline).

В данном приложении выделены две основные группы пользователей: клиент и администратор.

Для группы пользователей «клиент» предоставлены следующие функциональные возможности: оформление заказа, просмотр истории заказов, просмотр категорий/подкатегорий/товаров в виде дерева, просмотр подробной информации о товаре, сортировка имеющихся товаров, просмотр и изменение личной информации, регистрация, авторизация. Аутентификация пользователя производится при помощи встроенного функционала Firebase, присутствует возможность авторизации через социальные сети (ВКонтакте, Facebook).

Для группы пользователей «администратор» предоставлены следующие функциональные возможности: изменение каталога товаров, изменение цен на товары, количества товаров, добавление каталога акций, просмотр различной статистики (самые популярные товары, самые популярные фирмы-производители, самые популярные категории товаров и др.), просмотр активных заказов, просмотр информации обо всех пользователях.

В результате было разработано мобильное приложение для интернет-магазина на базе облачного хранилища Firebase. В дальнейшем планируется расширить функционал данного приложения и разработка клиентского веб-приложения. В настоящее время программа проходит тестирование на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

## **Разработка библиотеки алгебраических операций над полиномами сверхбольших степеней в полях Галуа**

Сылко С.С.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

В наше время конфиденциальность данных имеет большое значение. На сегодняшний день существует множество алгоритмов шифрования данных. У каждого из них есть свои плюсы и минусы. Главным критерием, по мнению специалистов, является быстрдействие шифрования и расшифровки данных. Целью данной работы является разработка библиотеки для работы с бинарными полиномами, которая могла бы повысить скорость работы алгоритмов шифрования.

Для разработки данной системы были поставлены следующие задачи:

- Спроектировать библиотеку
- Произвести анализ сложности операций в зависимости от способа и структуры хранения данных
  - На основе анализа выбрать оптимальные способы хранения данных и выполнения операций на каждом этапе
  - На основе библиотеки реализовать графический интерфейс пользователя для демонстрации работы

В ходе работы над данной темой была разработана библиотека и проведён анализ быстрдействия выполнения операций. Самыми важными операциями при шифровании и самыми дорогими с точки зрения производительности являются умножение и деление полиномов. В зависимости от степени и длины полиномов используются 3 различных вида умножения: классическое умножение «столбиком», умножение методом Карацубы и быстрое преобразование Фурье. С помощью анализа быстрдействия была выбрана оптимальная структура хранения полиномов (сбалансированное дерево, вектор, список, стек). Для демонстрации возможностей библиотеки она была использована в алгоритме шифрования RSA и шифровании на эллиптических кривых.

Данная система тестируется на кафедре «Прикладная математика и информационные технологии». Стоит отметить, поразительный результат, что при шифровании данных с помощью алгоритма RSA скорость работы программы значительно выросла. В дальнейшем планируется улучшение программной архитектуры и поиск наиболее эффективных решений для реализации предстоящих задач.

## **Стеганографическое скрытие данных в файлах формата GIF**

Травников М.В.

Научный руководитель – Пронин А.С.

МАИ, г. Москва

На данный момент всё острее встает вопрос о надёжной защите передаваемого информационного сообщения. Для данной защиты используются

различные способы, выбор которых зависит от типа сообщения и условий при которых осуществляется передача.

Стеганография - раздел криптологии, задача которого в том, чтобы скрыть сам факт передачи или хранения информации.

Для графических файлов чаще всего применяют метод LSB (или замены младших бит). Этот метод основан на том, что человеческий глаз не способен различить незначительные цветовые изменения в модифицируемом файле, поэтому один или два младших бита можно заменить на биты сообщения без потерь качества.

Среди графических форматов определенный интерес представляет формат - ".gif".

Этот тип изображений распространен в веб - дизайне и прекрасно подходит для передачи картинок. Анимированные ".gif" файлы часто применяют в оформлении сайтов. Имея возможность делать свои пиксели прозрачными идеально вписываются среди прочих картинок.

Файлы данного формата имеют сложную блочную структуру. Это означает, что они состоят из блоков, которые чаще всего не связаны друг с другом. Идущие друг за другом сменяющиеся блоки графики составляют анимацию. До, после или между ними в файле могут располагаться другие блоки, которые можно увидеть только с помощью специальных программ.

Сложность структуры данного формата и неиспользуемые блоки дают широкие возможности для сокрытия данных. В настоящее время он используется в некоторых программах для защиты информации. А популярность данного формата также упрощает скрытую передачу информации через сеть интернет.

Анализ структуры рассматриваемого формата файлов позволяет предложить следующие способы сокрытия информации:

- Способ замены младших бит пикселей.
- Способ сокрытия сообщения между слоями.
- Способ нижнего слоя.
- Метод расширения глобальной палитры.
- Метод расширения локальной палитры.
- Скрытие сообщения в комментариях.
- 7. Скрытие данных с помощью расширения P1anYgif.

## **Разработка иерархической системы пользовательских подписок на товарные каталоги**

Трунов Е.А.

Научный руководитель – Костиков Ю.А.

МАИ, г. Москва

Задачей данной работы является разработка иерархической системы пользовательских подписок на товарные каталоги, выдерживающей высокие нагрузки при обработке большого количества данных и состоящей из двух частей: отображение подписок клиента на определенные разделы товаров в зависимости от того, на каком уровне навигации они располагаются, и

использование получившейся структуры дерева для быстрой рассылки писем с новинками всем подписавшимся.

Для работы с объектами, имеющими иерархическую структуру, используются связанные графы без циклов, называемые также деревьями. Одним из преимуществ представления данных в виде деревьев является то, что это позволяет очень быстро осуществлять по ним поиск, и, как следствие, такой способ хранения информации может использоваться в том числе и для ускорения её обработки.

Для оформления подписки пользователь заходит в интересующий его товарный раздел, выбирает уточняющие параметры (цена, бренд, рейтинг и т.д.) и кликает на кнопку, чтобы подписаться. Информация об этой подписке в компактном виде попадает в базу данных. Далее каждые сутки запускается приложение, которое на основе этих компактных данных, вызывая внутренние сервисы, формирует полную информацию о каждой подписке. Затем, используя специальные шаблоны, эта информация преобразуется в письмо с новинками и бестселлерами, которое отправляется пользователю по почте.

Перед рассылкой мы проверяем новинки во всех разделах верхнего уровня и, если в каком-либо из них таковые отсутствуют, то они также отсутствуют в его дочерних товарных группах. Это позволяет значительно сократить время преобразования компактных данных в полные, ведь по подпискам на такие разделы нет необходимости отправлять письма и, соответственно, формировать для них полную информацию.

Данные о выбранных товарных каталогах с указанными параметрами хранятся в базе данных отдельно для каждого пользователя, а общее дерево всех каталогов сайта располагается в виде денормализованной структуры, для которой количество подписок на каждый конкретный узел, отдельно для каждого пользователя, хранится в специальной таблице. Эта величина является суммой подписок на конкретный каталог и подписок на все дочерние каталоги. Такая структура хранения данных позволяет получать их без каких-либо временных задержек и осуществлять быстрый обход дерева, что обеспечивает плавную работу интерфейса, используемого для иерархического отображения подписок.

Таким образом, использование данной структуры обеспечивает:

- Компактное представление данных.
- Быструю загрузку страницы.
- Однозначность названий товарных групп, обусловленную полным соответствием структуры и навигации по сайту.
- Высокую скорость работы системы.
- Быструю рассылку писем с новинками.

Система разработана на платформе.NET 4.5, где в качестве СУБД была использована MSSQL 2014. На данный момент она проходит тестирование в структуре крупного интернет-магазина при использовании реальных данных.

## **Построение свёрточных нейронных сетей для распознавания сегментов изображений**

Тышов Н.В.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Свёрточная нейронная сеть (convolutional neural network - CNN) – это особый тип искусственных нейронных сетей прямого распространения, предложенный Яном Лекуном. Этот тип сетей использует биологические особенности зрительной коры головного мозга, где простые клетки реагируют на прямые линии под разными углами, а сложные клетки активируются только при активации определенного набора простых клеток.

Обучение происходит с учителем, поэтому каждому изображению ставится в соответствие его принадлежность к определенному классу. Но на практике довольно редко встречаются изображения, на которых изображен только один объект конкретного класса. Объектов может быть несколько, как принадлежащих одному классу, так и разным. Все это вносит большую погрешность в распознавание, на выходе нейронной сети вероятность того или иного исхода распределяется по классам и не дает однозначного результата. Для решения этой проблемы поставлена задача сегментации изображения. Каждый объект на изображении должен быть выделен (при условии, что он входит в набор классов распознавания) и распознан отдельно.

Первым подходом к задаче распознавания сегментов является выборочный поиск. Изображение разделяется алгоритмом сегментации (например, сегментации по водоразделам - watershed). Далее сегменты передаются для вычисления в свёрточную нейронную сеть на выходе которой определяется принадлежность каждого сегмента определенному классу. Такой подход прост в реализации и не требует затрат на подготовку данных и переобучение сети. Мы можем взять сеть, обученную на обычных изображениях где, присутствует только по одному объекту, и использовать ее для распознавания сегментов. Простота реализации сильно отражается на качестве результата. Выявлены следующие влияющие факторы: линейные размеры объекта, разрешение сегмента, расположение сегмента. Также сильное влияние оказывают алгоритмы сегментации, так как они чувствительны к освещению и областям со сходными цветами. В ходе исследования свёрточных слоев был обнаружен второй подход. При обучении свёрточные фильтры начинают распознавать определенные структуры. Если найти фильтр, отвечающий за нужный объект, то на основании отклика возможно локализовать объект и определить его количество на снимке. Недостатками является то, что фильтр нужно искать, и то, что не всегда такой фильтр найдется.



## **Создание 3D моделей сложных объектов методом маршрутирующих кубов с использованием технологии WPF**

Хасаева Д.З.

Научный руководитель – Демин А.Ю.

НИ ТПУ, г. Томск

Одним из самых первых разработанных ячеечных алгоритмов построения триангуляции поверхности является алгоритм «маршрутирующие кубы». Данный алгоритм был реализован на некоторых платформах, в число которых не входит платформа WPF. WPF является стабильной технологией, находящейся в зените своего развития.

WindowsPresentationFoundation (WPF) — это система нового поколения для построения клиентских приложений Windows с визуально привлекательными возможностями взаимодействия с пользователем. В основе WPF лежит векторная система визуализации, не зависящая от разрешения и созданная с расчетом на возможности современного графического оборудования [3].

Алгоритм «маршрутирующие кубы» производит разбиение области пространства, содержащей исходную поверхность, на кубические ячейки и аппроксимирует пересечение исходной поверхности и каждой кубической ячейки разбиения треугольниками. Для случая синтеза изображения по плоским сечениям вершинами каждого куба будут по четыре точки на паре соседних сечений. Алгоритм можно разбить на два этапа:

- Разбиение области  $G$  пространства  $R^3$  на конечное множество ячеек, поиск ячеек, пересекаемых искомой поверхностью.
- Аппроксимация поверхности в найденных ячейках [1].

Наиболее оптимальный способ аппроксимации - триангуляция. Параллелепипед имеет 256 разных типов триангуляции. Используя совпадение способа триангуляции с индексом (I) со способом триангуляции с индексом (not I), все способы можно свести к 128, а используя также симметрию и вращение, 128 способов можно свести к 14.

Получив способ триангуляции, можно уже аппроксимировать поверхность в ячейке. К этому моменту уже известно количество треугольников, а для каждого треугольника известны ребра ячеек, на которых лежат его вершины. Остается найти точку на ребре ячейки, в которой поверхность ее пересекает [2].

В результате данной работы был реализован алгоритм маршрутирующих кубов на платформе WPF. Для визуализации примера работы алгоритма был спроектирован 3D элемент, схематично изображающий 3D модель молекулы воды.

Алгоритм маршрутирующих кубов генерирует значительно меньшее количество треугольников, чем другие алгоритмы, например, Канейро, МТ6 и Скалы, но имеет существенный недостаток: на достаточно простых участках поверхности он выполняет слишком большое количество разделений. Алгоритм широко используется в медицине, например, в компьютерной и магнитно-резонансной томографии, а также для трёхмерного моделирования метасфер или других метаповерхностей.

Литература.

1. Обзор алгоритмов триангуляции неявно заданной поверхности / Н.В. Бугров, В.И. Голубев, А.Ю. Дижевский, Д.Г. Какауридзе, А.С. Клименко, А.С. Обоймов, П.В. Фролов. - MEDIAS2012 Труды Международной научной конференции, 07-14 мая 2012 г. - Лимассол, Республика Кипр, Изд. ИФТИ. - С. 151-173. - ISBN 978-5-88835-023-2

2. Андрей Семенихин. Сравнительный анализ методов интерактивной триангуляции сеточных функций [Электронный ресурс] / Компьютерная графика и мультимедиа. Сетевой журнал. - Выпуск №2(2)/2004. URL:

<http://cgm.computergraphics.ru/content/view/63>, свободный. Дата обращения: 04.03.2016 г.

3. Введение в WPF [Электронный ресурс] / MicrosoftDeveloperNetwork. URL: [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/aa970268\(v=vs.100\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/aa970268(v=vs.100).aspx), свободный. Дата обращения: 04.03.2016 г.

### **Разработка интеллектуальной автоматической системы проверки уникальности отчётных работ**

Шаврин К.А.

Научный руководитель – Романенков А.М.

МАИ, г. Москва

В наши дни, автоматизация рутинных процессов выходит на предпочтительный уровень, иначе говоря, для сокращения времени работы, требуются приложения, выполняющие некоторые функции за человека. В большинстве образовательных учреждений, преподаватели лично вынуждены проверять все работы, которые выполнены учениками. Опираясь на данный факт, была поставлена задача, разработать программное обеспечение, позволяющее выполнять эту работу за человека, а именно, выполнять элементарную проверку ученических работ. В связи с этим, был реализован алгоритм для детектирования работ, которые были выполнены учениками самостоятельно.

При разработке приложения были сформулированы критерии, которые необходимо должны быть удовлетворены:

- Максимально точно и правдоподобно определять уникальность отчетных работ.
- Выдавать статистику заимствований по проверенным работам.
- Иметь удобный и дружелюбный интерфейс общения с пользователем.

Программный комплекс представляет собой web- desktopверсии, визуально идентичные, что позволяет иметь доступ к программе с любого устройства с выходом в интернет. Решение представляет собой систему авторизации пользователей, с последующей работой в отдельных рабочих пространствах для каждого пользователя. Для проверки работ на уникальность были использованы алгоритмы сравнения текста, такие как: алгоритм Левенштейна, а также были интегрированы API крупнейших поисковых систем, в частности GoogleSearchAPI.

Разработанное приложение позволяет преподавателям учебных заведений, мгновенно проверять уникальность работы, а также генерировать подробный

отчет, с конкретным указанием проблемных мест, из-за которых нельзя достоверно утверждать об уникальности работы.

Для реализации приложения были использованы современные методы и языки программирования, такие как: C# 5.0.netframework 4.5 в связке сPHP и MySQL в качестве системы управления базы данных.

## **Использование ячеистой топологии в системе управления малыми летательными аппаратами**

Шевкунов М.А.

Научный руководитель – Бурый А.С.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», г. Москва

На настоящем этапе развития информационных технологий большая роль отводится интеллектуализации систем управления, человеко-машинному интерфейсу. Объединение методов и средств обеспечения взаимодействия между технической системой и оператором позволяет последнему сместить акцент с исполнительных действий на планирование, принятие решений и в большей мере выполнять функции контроля.

Для реализации решаемых беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) задач применяются современные методы адаптивного и интеллектуального управления [1] на основе идей децентрализации сетевого взаимодействия, путем распределения между отдельными подсистемами задач обработки сенсорной информации, формирования моделей среды, операций коммуникаций, диагностики и т.д., что позволяет существенно расширить сферу применения автономных комплексов и систем. При этом в условиях массогабаритных ограничений, когда обеспечение отказоустойчивости за счет резервирования отдельных узлов и подсистем проблематично, переходят к технологиям управления производительностью системы за счет создания самоорганизующихся сетей с ячеистой топологией.

Высокая отказоустойчивость системы проявляется в том, что изменение в составе узлов сети (отдельных БПЛА) и в маршрутизации сети не выводят ее из строя. Мобильные устройства могут включаться и выключаться, сенсоры сети могут выходить из строя и прекращать работу из-за истощения источников энергии БПЛА, а данные будут перенаправляться через рабочие узлы сети [2].

Исходя из разрешающей способности видеокамеры, используемых кодеков сжатия, выбранной частоты кадров, интенсивности движения в поле зрения камеры проведена оценка значения потока от каждого узла сети, определена пропускная способность mesh-сети и рассчитано количество узлов в ячеистой сети при котором скорости потоков видеоизображения соответствуют интенсивности движения в кадре выше среднего значения при степени сжатия, не создающего видимые артефакты на изображении.

Полученные значения позволили сделать вывод, что минимальное конфигурирование самоорганизующихся сетей позволяет применять до десяти БПЛА видеонаблюдения с достаточно хорошим качеством видеотрансляции в чрезвычайных ситуациях, при боевых действиях и в других ситуациях, когда отсутствует какая-либо заранее развернутая инфраструктура связи или ее наличие не предусматривается.

Основываясь на идеях сетецентрического управления развития когнитивного подхода, предлагается модель сетевого взаимодействия подвижных объектов, на примере групп БПЛА, функционирующих по принципам ячеистой топологии. За счет использования децентрализованных сетей, толерантных к возможным структурным изменениям, а также на основе идей самоорганизации и динамической организации информационного взаимодействия, удастся парировать различные нештатные ситуации в процессе функционирования группы БПЛА.

Литература.

1. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Интеллектуализация процессов принятия решений в эргатических системах // Транспортное дело России. 2015. № 4(119). – С. 48-50.

2. Technologies: MeshRouting [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meraki.cisco.com/technologies/mesh-routing> (Дата обращения: 22.02.2016).

## **Обучающая и тестирующая программа по основам алгебры логики**

Штанников Е.П.

Научный руководитель – Костиков Ю.А.

МАИ, г. Москва

Для успешного освоения основных концепций и глубокого понимания алгебры логики необходимо проработать основные задачи и усвоить алгоритмы их решения. В помощь студентам была спроектирована и реализована обучающая программная утилита.

Приложение предлагает самостоятельное изучение элементов курса алгебры логики в объеме, достаточном для работы со сложными выражениями. Таким образом, оно решает ряд важных задач, а именно:

- тренирует пользователя в составлении таблиц истинности;
- закрепляет правила вычисления основных операций;
- приучает обращать внимание на приоритеты операций.

Разработанное программное решение обладает интуитивно понятным интерфейсом и предлагает широкий спектр функциональных возможностей:

- работа с полным набором логических операций;
- вычисление вводимых выражений с произвольным количеством переменных;
- автоматическая генерация проверочных испытаний;
- регулировка сложности заданий;
- предоставление справочного материала;
- пошаговая проверка вычислений пользователя.

Протокол взаимодействия пользователя с программой реализован следующим образом: строится подробная таблица истинности с зарезервированным местом под результат каждого действия, пользователь поэтапно вводит все промежуточные данные, программа их анализирует и в случае обнаружения ошибки, надлежащим образом информирует пользователя.

Проект «Основы алгебры логики» реализован на языке C++11 с применением технологии оконного программирования WinAPI, разрабатывается и тестируется

на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

Литература.

1. Петзолд Ч. Программирование для Windows 95. Том I / М.: BHV – Санкт-Петербург, 1997 – 752 стр.;

2. Яблонский С. В. Введение в дискретную математику: Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит, 1986 – 384 стр.

## **Моделирование обработки и анализа данных в системе**

**«Умный дом»**

Шумаков И.Ю.

Научный руководитель – Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва

Многие люди в современном мире хотели бы улучшить контроль и безопасность своей среды обитания, в том числе своего собственного дома или квартиры. Для этого люди оснащают свои дома видеокамерами, охранными или другими, более современными системами, такими как «Умный дом», но у большинства «Умный дом» ассоциируется с чем-то дорогим и не доступным, что является главной проблемой данной системы. Для решения данной проблемы предлагается модель, на базе которой в дальнейшем возможна разработка универсальной платформы.

Представляемая модель умного дома призвана решить проблему дороговизны и жестко заданных производителем функциональных возможностей системы. Таким образом, данная модель позволяет пользователю не переплачивать за не нужный ему функционал системы и конфигурировать ее по мере необходимости и финансовых возможностей.

Для реализации модели необходимы следующие компоненты и технологии:

Главный модуль управления системой (микроконтроллер, соединенный с передатчиком ZigBee), сервер для хранения персональных данных и оповещения клиентов, произвольный набор датчиков, взаимодействующих с главным модулем посредством беспроводной технологии ZigBee. Компоненты описанной модели взаимодействуют согласно разработанной схемы.

Использование беспроводной технологии ZigBee обеспечивает самовосстановление и гарантированную доставку пакетов в случаях обрыва связи между отдельными узлами, а также обладает низким электропотреблением. Устройства ZigBee компактны и имеют относительно невысокую стоимость. Беспроводная сеть ZigBee является самоорганизующейся, благодаря чему, при добавлении пользователем нового датчика в систему, он подключается к общей беспроводной сети датчиков автоматически, что делает систему легко расширяемой. При дальнейшем развитии аппаратной реализации данной модели возможно получение коммерческой версии системы с низкой себестоимостью.

На данный момент модель проходит тестирование на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

## **Магнитострикционный преобразователь с улучшенными метрологическими характеристиками**

Юсупова Л.И.

Научный руководитель – Мукаев Р.Ю.

УГАТУ, г. Уфа

Информация о контролируемых процессах в системах управления поступает с первичных преобразователей, от метрологических характеристик которых, зависит качество функционирования систем в целом.

Измерительные преобразователи перемещений широко используются в системах автоматического управления, для определения параметров технологических процессов. По мере совершенствования технических устройств, требования к преобразователям непрерывно возрастают. Наиболее жесткие требования предъявляются к приборам, работающим в системах управления силовыми установками изделий авиакосмической техники.

Целью настоящей статьи является анализ вопросов выбора оптимальных, с точки зрения достижимой точности и быстродействия, алгоритмов организации вычислительного процесса в наиболее перспективных микропроцессорных рециркуляционных измерителях.

Конструктивно устройство представляет собой магнитострикционный преобразователь с излучателем, приемником и стержень из нержавеющей стали с расположенными поплавком. Внутри стержня проходит звукопровод, состоящий из струны никелевого сплава. В поплавке находятся кольцевые магниты, предназначенные для приема акустического сигнала, распространяющегося по струне.

На звукопроводе находятся 2 канала: опорный канал с приемником 1 для коррекции случайной погрешности от изменения скорости звука в звукопроводе (включает в себя излучатель и неподвижную обмотку); измерительный канал с приемником 2 и распределенной обмоткой с постоянным магнитом, расположенным на поплавке. К обоим концам звукопровода подсоединены демпферы, служащие для исключения отраженных сигналов.

Выходным сигналом является временная задержка между импульсом возбуждения и импульсом приема, период следования которых, функционально связан со скоростью звука в звукопроводе.

Изменение температуры окружающей среды и натяжения струны приводит к изменению скорости звука, соответственно возникновению погрешности. Для устранения погрешности используется логотрический метод, т.е. время задержки в измерительном канале делится на время задержки в опорном канале.

Оцениваемый выигрыш по быстродействию, может быть получен при использовании многократного измерения сигнала методом рециркуляции. В данном случае дополнительным объектом измерения является не интервал времени, а скорость звука в звукопроводе. Для определения перемещения время задержки импульсов в измерительном канале умножается на измеренную скорость с использованием микроконтроллера AVR фирмы Atmel.

При решении данной технической задачи перспективно использовать магнитострикционный преобразователь с подвижным магнитом и многократным измерением сигнала методом рециркуляции, для повышения точности измерения.

## **СЕКЦИЯ № 12. Математические методы в аэрокосмической науке и технике**

Руководитель секции: д.ф.-м.н, профессор Пантелеев А.В.

---

### **Применение метода линеаризации для решения задач квантильной оптимизации с функциями потерь, зависящими от вектора малых случайных параметров**

Васильева С.Н.

Научный руководитель – Кан Ю.С.

МАИ, г. Москва

В данной работе рассматривается задача минимизация квантильного критерия в случае, когда функция потерь зависит от вектора малых случайных параметров. Малые случайные параметры моделируются вектором компоненты которого представляют собой произведения малых детерминированных параметров и случайных величин с заданным совместным законом распределения. Задачи оптимизации квантильного критерия являются предметом изучения специального раздела теории стохастического программирования с вероятностными ограничениями. В инженерных приложениях задачи с квантильным критерием возникают при учете инвестиционного риска (в финансовой проблематике) и при учете надежностных ограничений (в аэрокосмической сфере). Ранее для решения задач такого класса был предложен доверительный метод, который заключается в построении семейства доверительных множеств и оптимизации по ним. В результате применения доверительного метода квантильная задача заменяется эквивалентной ей обобщенной минимаксной задачей, имеющей довольно сложную структуру.

В данном докладе вместо перехода к указанной выше обобщенной минимаксной задаче предлагается заменять исходную нелинейную функцию потерь линеаризованной моделью, которая получается усечением тейлоровского разложения исходной нелинейной функции. Обосновывается, что в случае ограниченного носителя вектора случайных параметров точность квантили при такой замене пропорциональна квадрату нормы вектора малых детерминированных параметров. Для оценки квантильного критерия в случае линеаризованной функции потерь применяется математический аппарат, основанный на понятии ядра вероятностной меры. Ядро представляет собой пересечение всех замкнутых доверительных полупространств. Исследуются новые свойства ядра (непустота, теорема о внутренней точке). Приводятся примеры ядер для типовых распределений. Используя ядро, удается показать, что квантильная задача оптимизации может быть аппроксимирована минимаксной (в обычном смысле) задачей для нелинейной функции потерь. Если использовать ядро для вычисления квантили линеаризованной функции потерь, то соответствующая квантильная задача эквивалентна указанной выше минимаксной задаче. Внутренний максимум в этой задаче берется по реализациям случайных параметров на ядре, а внешний минимум – по

оптимизируемым переменным. Такой переход возможен только для регулярного ядра. Показано, что точность такой аппроксимации также пропорциональна квадрату нормы вектора малых параметров.

Зачастую, в практических задачах распределение вектора случайных параметров не имеет ограниченный носитель. При исследовании этого вопроса была сформулирована и доказана теорема о сходимости квантили усеченной случайной величины (с ограниченным носителем) к квантили исходной случайной величины. Таким образом, вне зависимости от закона распределения, при переходе от функции потерь к её линеаризованной модели погрешность при вычислении квантили пропорциональна квадрату нормы малых детерминированных параметров.

## **Исследование метаэвристического метода фейерверков поиска условного глобального экстремума**

Крючков А.Ю.

Научный руководитель – Пантелеев А.В.

МАИ, г. Москва

Во многих практических приложениях возникает необходимость сделать что - то как можно лучше, причём существуют ограничения на свободу выбора. Для решения таких задач нужно понять, что означает как можно лучше и что означает существуют ограничения. Например, требуется найти параметры детали, которая имела бы максимальный объём, при заданных ограничениях на площадь его поверхности. Такие задачи приводят к проблеме поиска максимального или минимального значения функции на заданном множестве допустимых решений, которая называется условной оптимизацией.

Решение таких задач в общем случае представляет собой большую проблему: функция может не достигать максимума или минимума, максимум или минимум может быть не единственным, в результате поиска находится локальный максимум или минимум, что приводит к неоптимальному решению.

Оптимизируемая функция и ограничения, как правило, описываются нелинейными зависимостями, поэтому не всегда возможно использование точных методов оптимизации. В некоторых задачах точное решение известно, но его получение связано с большими вычислительными затратами, что приводит к невозможности его получения.

Применение классических численных методов поиска локального и глобального экстремума многоэкстремальных функций со сложным рельефом поверхностей уровня становится малоэффективным. Большое внимание уделяется приближённым методам глобальной оптимизации, которые позволяют получить приближённое решение за приемлемое время.

Среди них широкое распространение получили метаэвристические методы оптимизации. Эти методы относятся к методам нулевого порядка, т. е. используют только информацию о значении функции в точке. Как правило, они состоят из последовательных итераций создания точек возможных решений (популяции), в которых новая популяция создаётся на основе информации собранной предыдущими поколениями. Такие методы не гарантируют обнаружения глобального экстремума, но могут использоваться для поиска



приближённого решения многоэкстремальных функций с небольшими вычислительными затратами. Они могут быть востребованы при решении задач машинного обучения, оптимизации портфеля ценных бумаг, распределения ресурсов, и др.

В работе исследуется один из таких методов - метод фейерверков. В основе этого метода лежит процесс создания салюта из фейерверков. На каждой итерации происходят взрывы зарядов фейерверка из которых образуются облака светящихся осколков, заполняющих окрестности точек взрыва. Среди возможных решений, соответствующих точкам взрыва и полученным осколкам, выбирается наилучшее по величине оптимизируемой функции. Эти точки определяют положения новых залпов. Процедура поиска заканчивается при достижении заданного числа итераций.

В конце работы приводится анализ параметров метода и статистическая информация по результатам работы на конкретных примерах.

## **Об одном методе выполнения одномерных и двумерных сеточных функций**

Филиппова И.О.

Научный руководитель – Михайлов И.Е.

МАИ, г. Москва

В докладе рассматривается метод выполнения одномерных и двумерных сеточных функций с помощью параболических уравнений. Пусть на опорной сетке  $\{X_j\}_{j=0}^M$  задана функция  $\{f(X_j)\}_{j=0}^M$ . Требуется найти интерполирующую сеточную функцию (интерполянт)  $g(x_i)$ , определённую на сетке  $\{x_i\}_{i=0}^m, m > M$ , такую что множество точек  $\{X_j\} \subset \{x_i\}$ .

Значения интерполянта  $\{g(x_i)\}_{i=0}^m$  будем искать с помощью уравнения в частных производных параболического типа. Рассмотрим параболическое уравнение теплопроводности с начально-краевыми условиями:

$$\begin{cases} u_t = u_{xx}, \\ u(0, x) = \phi(x), \\ u(t, 0) = f(0); u(t, X_M) = f(X_M). \end{cases} \quad (1)$$

Решение этого уравнения имеет непрерывную вторую производную и, кроме того, оно сглаживает начальное возмущение  $\phi(x)$ . Для нахождения его численного решения выписываем неявную конечно-разностную схему:

$$\begin{cases} \frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} = \frac{u_{i+1}^{n+1} - 2u_i^{n+1} + u_{i-1}^{n+1}}{h^2}; \tau = kh^2; \\ u_m^0 = \phi_m. \end{cases} \quad (2)$$

Параметром  $k$  можно регулировать гладкость интерполянта. Алгоритм метода состоит из шести шагов:

Полагаем  $F(X_j) = f(X_j)$ , задаём  $\{x_i\}_{i=0}^m \supset \{X_j\}_{j=0}^M$  и число  $\varepsilon$ .

С помощью линейной интерполяции через точки  $(X_j, F(X_j))$ ,  $j = 0, \dots, M$ , задаём значения  $\phi(x_i) = u_i^0$ ,  $i = 0, \dots, m$ .

Считаем методом прогонки уравнения (2) для  $n = 0$ , получаем  $u_i^1$ .

Вычисляем невязку:  $F(X_j) = F(X_j) - u^1(X_j)$ ,  $j = 0, \dots, M$ .

Если все значения функции  $\{F(X_j)\}_{j=0}^M$  по модулю меньше  $\varepsilon$ , переходим к шагу 6, иначе полагаем  $t_1 = t_0 + \tau$  и переходим к шагу 2.

Искомое значение интерполянта находим по формуле  $g(x_i) = u_i^0 + \dots + u_i^{s-1}$ , где  $s$  – количество итераций, за которое сошёлся метод.

Результаты расчётов сравниваются с восполнением функций с помощью кубических сплайнов.

Для восполнения двумерной сеточной функции аналогично используется двумерное уравнение параболического типа  $u_x = u_{xx} + u_{yy}$ , которое решается как методом переменных направлений, так и методом дробных шагов.

Алгоритм нахождения интерполянта практически аналогичен изложенному выше. В ходе расчётов было установлено, что точность метода дробных шагов несколько выше. Управляя коэффициентами  $k_1, k_2$  в направлениях  $x$  и  $y$ , можно добиться более точных результатов по сравнению с восполнением функций бикубическими сплайнами.

### **Бортовая система предупреждения неисправностей ЛА, основанная на методах нечёткой логики**

Руснак В.И.

Научный руководитель – Лунева С.Ю.

МАИ, г. Москва

Выдвигаемые потребителями требования по обеспечению авиационной безопасности неуклонно растут, следовательно, должны расти гарантии безотказной работы всех систем воздушного судна. С другой стороны, каждый современный тип ЛА представляет собой все более сложную высокотехнологичную систему, а, следовательно, возрастает вероятность отказов и сбоев в ее функционировании. Ряд таких сбоев вызывает наибольшее беспокойство, а именно:

- сбой системы, отвечающей за управление воздушным судном, приводящее к неконтролируемости снижения и торможения;
- неполадки, скрытые в течение технического обслуживания на земле и обнаруженные во время полета;
- технические проблемы в приводах, датчиках и других системах летательного аппарата, которые проявляют себя в неблагоприятных погодных условиях;
- ухудшение производительности систем контроля над выбросами загрязняющих веществ.

Подобные проблемы в небольшой части системы могут вызвать катастрофические отказы всех составляющих ЛА. Таким образом, существует острая необходимость создания системы бортового предупреждения о неисправностях на воздушном судне, которая будет обнаруживать, идентифицировать и предоставлять соответствующие сообщения о сбоях, которые в дальнейшем могут быть устранимы до момента нанесения вреда системам ЛА, особенно в части обеспечения сохранности жизни и здоровья экипажа и пассажиров.

Целостный подход к решению задачи предупреждения о неисправностях ЛА могут обеспечить нечеткие системы принятия решения, основанные на нечеткой логике, согласно которой:

- вместо числовых переменных или в дополнение к ним используются «лингвистические» переменные;
- простые зависимости между переменными описываются с помощью нечетких высказываний;
- сложные зависимости описываются нечеткими алгоритмами.

Приемы, основанные на использовании нечеткой логики, позволяют формализовать разнообразные конструкции в трудно моделируемых математических процессах.

Предлагаемый доклад посвящен разработке методов и алгоритмов работы нечеткой системы предупреждения неисправностей ЛА на основании использования измеримых входов и выходов. В задаче рассматриваются четыре режима сбоя в работе систем ЛА. Для системы определены входы и выходы, разработаны правила, определяющие каждый из режимов отказа.

### **Численный метод расчёта эффективной теплопроводности гетерогенной среды с помощью «действия»**

Гарибян Б.А., Меркулов Г.А.

Научный руководитель – Спирин Г.Г.

МАИ, г. Москва

Развитие возможностей теоретического изучения и оценивания теплофизических характеристик (ТФХ) гетерогенных сред (неоднородных материалов) – важная задача теплофизики. Одним из направлений исследований тепловых процессов в гетерогенных средах является представление их квазигомогенными и прогнозирование эффективных ТФХ, в частности эффективного коэффициента теплопроводности (ЭКТ). Современный подход к прогнозированию ЭКТ гетерогенных сред базируется на теории обобщенной проводимости в сочетании с моделированием структуры представительных элементов среды, исходя из феноменологических представлений о ней [1]. В работе рассмотрен метод численного расчета ЭКТ гетерогенной среды с помощью интегральной характеристики температурного поля – функционала «действие» [2, 3].

Сформулирована модельная начально-краевая задача отыскания распределения температурного поля в рамках элементарной ячейки (ЭЯ) гетерогенной среды. Методом баланса построена разностная схема и сформирован алгоритм численного решения поставленной задачи с учетом установившегося по уровневому критерию. Предложены также методика и алгоритм расчета ЭКТ, где «размывание» тепловых свойств представительного элемента среды проводится через «действие» [4]. Данный алгоритм достаточно объемный по вычислениям, однако обладает достоинствами: предоставляет информацию о времени установления квазиоднородности исследуемой среды, и позволяет уточнять ее ЭКТ при последующих прогонах вычислительной процедуры.

По предложенной методике численным методом дробных шагов проведены расчеты ЭКТ бинарных гетерогенных сред со структурами разной геометрии при различных концентрациях составляющих компонентов [4]. Результаты численных экспериментов соответствовали известным в литературе приближенно-аналитическим формулам [1], полученным линеаризацией температурного поля в ЭЯ методом сечений Релея, и оказались наиболее близки формулам с комбинированной, преимущественно адиабатической схемой сечений. На основе полученных сеточных зависимостей рассчитаны ЭКТ некоторых неоднородных материалов: углепластиков, пенополиуретанов (с ячейками закрытого и открытого типов), монодисперсных порошков при сдвливании и прочее. Расчеты хорошо согласовывались с имеющимися экспериментальными и справочными данными.

Литература.

1. Дульнев Г.Н., Новиков В.В. Процессы переноса в неоднородных средах. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1991. – 248 с: ил.

2. Гарибян Б.А., Спириин Г.Г. Принцип минимума «действия» в задачах стационарного теплообмена. – Научное обозрение, 2013, № 7, с. 92–98.

3. Гарибян Б.А., Спириин Г.Г. Вариационный метод поиска приближенно-аналитических решений стационарных задач теплопроводности с нелинейностью 1-го рода. – Информационные и телекоммуникационные технологии, 2014, № 21, с. 36–42.

4. Гарибян Б.А., Спириин Г.Г. Расчет эффективной теплопроводности авиационных материалов с помощью функционала «действие» // Вестник Московского авиационного института. – 2014. – Т.21. – №4. – С.168–180.

### **Задача управления беспилотным самолётом методом динамического программирования в теории графов**

Горбунова Ю.А., Пегачкова Е.А.

МАИ, г. Москва

Рассматривается задача управления беспилотным самолетом, которому необходимо выполнить заданный маневр с минимальными затратами топлива. Используя математическую модель полета, описывающую движение самолета в канале тангажа, был составлен оргграф, в котором в качестве длины дуги выступают затраты топлива на выполнение одного из двух маневров: увеличение скорости при постоянной высоте или набор высоты при фиксированной скорости. Вершины графа определяются парой координат, равных количеству шагов от вершины, отвечающей начальным значениям, по осям скорости и высоты до рассматриваемой вершины. Обобщением сформулированной задачи является одновременное увеличение скорости беспилотного самолета и набора им высоты, что приближает задачу к реальному полету, тогда перемещение по графу происходит по восходящей диагонали графа. В обобщенной задаче узловые точки можно нумеровать, например, по остатку скорости, которую необходимо добрать за оставшееся время. К рассматриваемой задаче применяется обобщение классического принципа оптимальности и метода динамического программирования в терминах теории графов, то есть минимальный расход топлива является кратчайшим путем на

ориентированном графе. При этом подходе в обеих постановках задачи расход топлива практически одинаковый и оба управления практически равноценны, несмотря на то, что в обобщенной постановке множество допустимых управлений значительно шире и в ней невозможен простой перебор узловых точек, который можно применять к упрощенной постановке, что, естественно, приводит к более сложной процедуре решения.

Для решения задачи была составлена программа, позволяющая для различных моделей и параметров беспилотных самолетов производить моделирование полета для получения данных о затратах топлива, далее производится оптимизация с целью минимизации затрат топлива, производится анализ полученных результатов. Также программа позволяет решать аналогичную задачу об управлении самолетом, в которой в качестве критерия оптимизации выступает минимальное время на выполнение заданного маневра по набору высоты и требуемой скорости, а не расход топлива.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 16-38-00079мол\_а.

Литература.

Вентцель Е.С. Элементы динамического программирования. – М.: Наука, 1964. – 175 с.

Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. – М.: Наука, 1965. – 458 с.

Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. – М.: Оборонгиз, 1973. – 615.

### **Применение метода итерационного динамического программирования в задаче синтеза оптимального управления с полной обратной связью**

Родионова Д.А.

Научный руководитель – Пантелеев А.В.

МАИ, г. Москва

Разработано применение метода итерационного динамического программирования (итерационной процедуры Лууса) к решению задачи синтеза оптимального управления нелинейными непрерывными детерминированными динамическими системами с полной обратной связью по вектору состояния. Итерационная процедура Лууса уже успешно применялась при нахождении оптимального программного управления в различных прикладных задачах управления.

Задача синтеза оптимального управления с полной обратной связью была сведена к проблеме поиска коэффициентов закона управления, представленного в виде функции насыщения, учитывающей ограничения на величину управления и содержащей в качестве аргумента сумму произведений ортонормированных функций, образующих базисную систему. При этом каждая базисная система содержит функции, зависящие от одной из координат вектора состояния. В качестве базисных систем при решении поставленной задачи использовались многочлены Лежандра и нестационарные косинусоиды. Была реализована процедура мультитраекторного попятного движения с аппроксимацией законов

управления на каждой итерации. В результате получилась задача параметрической оптимизации, которая была решена методом случайного поиска глобального условного экстремума с последовательной редукцией области исследования.

Метод случайного поиска с последовательной редукцией области исследования (метод Luus-Jakola) относится к метаэвристическим методам глобальной оптимизации. На практике он оказался применимым не только для стандартных задач, но и для невыпуклых или даже недифференцируемых функций. При его применении строится последовательность итераций из заданной начальной точки так, что в некоторой окрестности текущей точки с использованием равномерного распределения генерируется определенное количество случайных точек с учетом размеров множества допустимых решений. Среди полученных точек выбирается наилучшая, и из нее процесс продолжается. При этом размер множества поиска сокращается от итерации к итерации вплоть до достижения их заданного числа. Как только заданное число итераций выполнено, завершается «проход». При переходе к следующему проходу размер множества поиска восстанавливается, а далее снова выполняется заданное число итераций. На каждой итерации размеры исследуемой области сокращаются, что обеспечивает сходимость последовательности полученных таким образом приближенных решений к искомой точке глобального экстремума. Ранее уже была показана эффективность применения метода Luus-Jakola с использованием метода итерационного динамического программирования для нахождения оптимального программного управления нелинейными детерминированными динамическими системами при фиксированном начальном состоянии.

На основе описанного подхода сформирован пошаговый алгоритм синтеза оптимального управления и создано соответствующее программное обеспечение, реализующее применение итерационного динамического программирования и метода Luus-Jakola в задаче нахождения оптимального управления с полной обратной связью. Среда разработки Microsoft Visual Studio 2010, язык программирования C#. Получено решение несколько модельных задач, демонстрирующих эффективность предложенного метода.

### **Оптимальное подавление случайных возмущений при управлении по выходу в квазилинейных стохастических системах на неограниченном интервале времени**

Онегин Е.Е.

Научный руководитель – Хрусталёв М.М.  
МАИ, ИПУ РАН, г. Москва

Теория оптимального управления стохастическими динамическими системами возникла в начале прошлого столетия и до сих пор претерпевает бурное развитие. Актуальность исследований в данном направлении заключается в необходимости точного решения различных задач оптимального управления системами, которые подвержены воздействию случайных возмущений.

Рассматривается задача оптимального подавления случайных возмущений при управлении по выходу на неограниченном интервале времени в стохастической динамической системе, которая описывается стационарным квазилинейным стохастическим дифференциальным уравнением Ито. Стохастическое дифференциальное уравнение Ито называется квазилинейным, если его коэффициенты сноса и диффузии являются линейными функциями состояния и управления. В том случае, когда коэффициент диффузии не содержит постоянного слагаемого, приобретает содержательный смысл задача об оптимальном управлении такой системой на бесконечном интервале времени с классическим квадратичным критерием качества управления. Данная задача названа задачей оптимального подавления случайных возмущений.

Основным методом исследования в данной работе является метод Ляпунова–Лагранжа, разработанный Хрусталёвым М.М. и являющийся обобщением метода функций Кротова на стохастические динамические системы. Прежде рассматривалась задача оптимального подавления случайных возмущений в системах указанного типа с полной обратной связью. При помощи указанного метода, были получены необходимые и достаточные условия оптимальности стационарного линейного регулятора. Полученные результаты применялись для синтеза оптимальных стратегий управления механическим роботоманипулятором и гибким спутником. В данной работе выведены необходимые условия оптимальности линейного по выходу стационарного регулятора. При этом вектор выхода системы может иметь размерность меньше, чем размерность вектора состояния. На основе выведенных условий оптимальности разработан алгоритм синтеза оптимального стационарного линейного регулятора.

Работа разработанного алгоритма демонстрируется на модельном примере. Производится синтез оптимального линейного регулятора и проводится численное моделирование поведения замкнутой по управлению системы при воздействии случайных возмущений.

Полученные теоретические результаты могут найти своё применение для решения прикладных задач в аэрокосмической и других областях.

## **Численное моделирование взаимодействия водокапельной фазы со сверхзвуковыми горячими струями**

Рухлов Н.А.

Научные руководители – Кудимов Н.Ф., Пунтус А.А.

МАИ, г. Москва

Предлагается методика численного моделирования водяных завес при взаимодействии со сверхзвуковыми струями. Вычисления проводились в пакете AnsysFluent.

Для численного моделирования двухфазных течений существует несколько подходов построения моделей многофазных сред. В случае моделирования распыляющихся водяных струй требуется учитывать картину распыла водяной фазы, дисперсность и размеры капель [1,3]. Данную задачу позволяет решить подход с использованием в сплошной фазе частиц Лагранжа. Такой подход на данный момент является одним из наиболее экономичных и подробных для численного моделирования жидкой капельной фазы, что позволит эффективно

использовать его для моделей систем подачи воды под донную область ракеты и в струи ракетных двигателей.

Проведено численное исследование достоверности используемой модели на имеющихся экспериментальных данных [2]. Подтверждена картина распыления многофазной среды. Проверены модели движения, дробления, коалесценции жидких частиц.

Проведено исследование модели взаимодействия водокапельной фазы с горячей сверхзвуковой химически реагирующей струей. Обнаружено влияние водоподачи на газодинамические параметры струи, а именно уменьшение температуры струи и турбулентных пульсаций. Также в данной постановке использовалась модель химических реакций догорания компонент струи по модели Магнуссена [3], показан эффект ингибитора реакции горения. Определено количественное влияние расхода инжектируемой водокапельной фазы и диаметра капель на газодинамические характеристики сверхзвуковой струи.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №16-38-00907.

Литература.

Baumgarten C. Mixture Formation in Internal Combustion Engines // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

Kim S. Modeling of binary droplet collisions for application to inter-impingement sprays [Text] / S. Kim, D.J. Lee, C.S. Lee // International Journal of Multiphase Flow. – 2009. – V. 35. – P. 533 – 549.]

Юн А.А. Моделирование турбулентных течений // МАИ, Москва. 2010.

Пунтус А.А. Дифференциальные уравнения//МАИ-ПРИНТ. Москва. 2014.

## **Необходимые условия оптимальности в задаче оптимизации квазилинейных динамических стохастических систем,**

**нелинейных по управлению**

**Царьков К.А., Румянцев Д.С.**

**Научный руководитель – Хрусталёв М.М.**

**МАИ, г. Москва**

Рассматривается задача оптимального управления квазилинейными динамическими стохастическими системами, коэффициенты которых нелинейно зависят от управления. В качестве функционала качества используется квадратичный по состоянию функционал, коэффициенты которого также являются нелинейными по управлению функциями. В рамках этой задачи формулируются необходимые условия оптимальности в классе программных стратегий управления.

Необходимые условия получены на основе градиентного метода оптимизации, изначально разработанного авторами для синтеза оптимальных стратегий управления обыкновенными (с линейно входящим управлением) квазилинейными динамическими стохастическими системами с информационными ограничениями. Здесь для построения условий использовано обобщение метода на рассматриваемый класс задач. Формулируемые необходимые условия имеют смысл условий неухудшаемости процесса управления в смысле указанного градиентного метода.



Устанавливается связь между хорошо изученными обыкновенными квазилинейными динамическими стохастическими системами и изучаемыми здесь квазилинейными динамическими системами с нелинейными по управлению коэффициентами. Задача синтеза оптимальной стратегии управления с информационными ограничениями для обыкновенной системы формулируется в виде частного случая задачи для системы с нелинейными коэффициентами. Таким образом, полученные необходимые условия распространяются на указанный частный случай.

Условия оптимальности используются для отыскания оптимального программного управления в модельном примере. Дополнительно приводятся результаты использования разработанного авторами градиентного метода синтеза оптимального управления в рамках данного модельного примера. Производится сравнение приближений численного метода с полученным аналитически оптимальным решением, удовлетворяющим необходимым условиям. Отмечаются отличительные особенности нелинейных по управлению постановок задач, которые проявляются как в процессе использования градиентного метода, так и в синтезированных решениях, в том числе полученных в результате применения необходимых условий оптимальности.

Анализ полученных теоретических результатов позволяет оценить их возможности использования и эффективность для решения прикладных задач в аэрокосмической области и других практических задач.

### **Метод, имитирующий спиральную динамику**

Евдокимова М.Д.

Научный руководитель – Пантелеев А.В.

МАИ, г. Москва

В докладе описано алгоритмическое и программное обеспечение метода, имитирующего спиральную динамику. Данный алгоритм используется для поиска глобального условного минимума многоэкстремальных функций.

В настоящее время уделяется большое внимание задачам глобальной оптимизации и методам их решения. На практике классические методы поиска глобального экстремума зачастую неприменимы из-за сложности исследуемых функций, а также сложной структуры поверхностей уровня. Поэтому возникает необходимость разработки новых методов, позволяющих находить приближенные решения задач оптимизации с достаточно высокой точностью. Один из таких методов – метод спиральной динамики.

Метод спиральной динамики (SpiralDynamicsAlgorithm), имитирует движение частиц по логарифмической спирали. Такое движение широко распространено в природе. Его можно наблюдать, например, в вихревых потоках, в атмосферных фронтах или при движении галактик.

В начале работы метода случайным образом генерируется некоторый набор начальных точек (частиц), называемый популяцией. Каждая частица является возможным решением оптимизационной задачи и задает начало спирали, из которого затем начнется движение к ее центру.

В методе спиральной динамики значение целевой функции определяет положение частицы на спирали. Чем меньше значение целевой функции, тем ближе частица к центру спирали.

Метод спиральной динамики представляет собой итерационный процесс, на каждой итерации которого реализуется процедура улучшения текущей популяции путем движения каждой частицы по спирали. Каждая спираль при этом характеризуется постоянным углом поворота и переменным радиусом. Величина радиуса спирали выбирается из заданного отрезка и зависит от величины целевой функции – чем меньше ее значение, тем меньше радиус спирали. Угол поворота определяет вид матриц вращения и оператора изменения текущего положения частицы.

Каждое новое положение частицы на спирали вычисляется с использованием информации о старом положении частицы, параметрах спирали и положении наилучшей частицы в популяции.

На основе изложенного алгоритма была разработана программа поиска глобального экстремума функций. Для ее создания использовалась среда разработки Microsoft Visual Studio, язык программирования C#.

Возможности программы позволяют изучить алгоритм метода, а также влияние параметров метода на результат его работы. В список выбираемых функций включены стандартные многоэкстремальные тестовые функции двух переменных, для которых известно точное решение. С помощью разработанного программного обеспечения был проведен анализ эффективности метода для разных значений параметров.

## **О некоторых инвариантных решениях уравнений магнитной гидродинамики**

Антипов А.А.

Научный руководитель – Медведев С.В.

МАИ, г. Москва

Рассматривается задача групповой классификации одной системы дифференциальных уравнений, описывающих в приближении мелкой воды движение несжимаемой жидкости при постоянной температуре в магнитном поле и поле силы тяжести. Уравнения мелкой воды представляют собой упрощение полных уравнений Навье-Стокса[1].

Предполагается, что глубина слоя жидкости много меньше горизонтальных размеров, при этом будем считать, что вертикальной составляющей скорости в слое можно пренебречь. Продольные компоненты скорости считаются постоянными вдоль вертикальной оси.

Использование уравнений движения сплошной среды в приближении мелкой воды в магнитном поле встречается в некоторых задачах астрофизики, в частности, при описании глобальной неустойчивости в солнечном тахоклине. При описании внутренних солнечных звездных слоев также используется система гидродинамических уравнений в магнитном поле в приближении мелкой воды. Кроме того, уравнения мелкой воды применяются при моделировании при перемещении крупных атмосферных масс.

Методом Ли-Овсянникова исследованы симметричные свойства уравнений движения[2]. С помощью разработанной автором программы, реализованной в системе аналитических вычислений Maple 18, найдены определяющие уравнения, множество инфинитезимальных операторов симметрии. Найдены группы симметрий и их инварианты, а также частично инвариантные решения уравнения движения.

Для данных дифференциальных уравнений найдена алгебра Ли и изучено её строение, получены в отдельных случаях редуцированные дифференциальные уравнения, соответствующие частным случаям движения жидкости. Исследованы свойства частных решений редуцированных дифференциальных уравнений.

Литература.

Елизарова Т.Г., Устюгов С.Д., Истомина М.А. Квазигазодинамический алгоритм решения уравнений мелкой воды для магнитной гидродинамики // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2012. № 64.

Ладно В.И., Спичак С.В., Стогний В.И. Симметричный анализ уравнений эволюционного типа // Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований 2004.

## **Прямое численное решение кинетических уравнений при исследовании в парогазовом потоке**

Сидоров А.А.

Научный руководитель – Ястребов А.К.

МЭИ, г. Москва

Основной целью данной работы является комплексное исследование объемной конденсации при сверхзвуковом истечении парогазовой смеси через сопло. В рамках этой задачи рассматривается влияние параметров сопла на истечение, дается оценка влияния распределения капель по температурам [1], а также приводится качественное и количественное сравнение с результатами экспериментов.

Перспективным результатом данного исследования является получение сверхтвердых, высокотемпературных композиционных материалов для авиационной промышленности.

Исследование объемной конденсации осуществляется с помощью решения кинетических уравнений методом прямого численного моделирования. Существуют различные методы решения, в частности, к ним относятся моментный метод и метод прямого численного решения.

Для решения модифицированных кинетических уравнений адаптирован метод прямого численного решения кинетических уравнений для функции распределения капель [1]. Использована схема расщепления по физическим процессам: каждый шаг по времени состоит из трех этапов, на первом из которых изменение функции распределения происходит только за счет нуклеации, а на втором – только за счет роста капель, на третьем – за счет их нагрева или охлаждения. При этом последовательно решаются три уравнения, соответствующих каждому этапу. Для численного решения уравнений расчетная область по радиусу и температуре капель ограничивалась следующим образом:

по радиусу – от критического радиуса до достаточно большого значения, при котором функция распределения всегда остается равной нулю, по температуре – от минимальной температуры газовой фазы до максимальной температуры насыщения при парциальном давлении пара, значения которых определяются при расчете в предположении об одинаковой температуре всех капель. При численном решении уравнения заменяются конечно-разностными схемами первого порядка точности по времени, радиусу и температуре.

Из допущений стоит отметить, что рассматривается одномерное стационарное течение парогазовой смеси (вода - воздух, тяжелая вода - азот) в сверхзвуковой части сопла. Для описания течения используются методы механики сплошной среды. Скорости жидкой и газообразной фаз одинаковы. Во входном сечении заданы температура смеси и парциальные давления компонентов, при этом пар является насыщенным, а скорость равна скорости звука.

В ходе работы получены зависимости температур, степени пересыщения, числовой плотности и массовой доли капель от координаты для различных моментов времени. Показано, что угол раскрытия сопла определяет скорость расширения парогазовой смеси - при увеличении угла раскрытия снижение температуры и рост степени пересыщения ускоряются. Также было выявлено, что чем меньше давление газа, тем температура капли ближе к температуре насыщения, и чем больше давление газа, тем температура капли ближе к температуре газовой фазы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-08-00182).

Литература.

Корценштейн Н.М., Самуйлов Е.В., Ястребов А.К. Новый метод моделирования объемной конденсации пересыщенного пара. //Теплофизика высоких температур. 2009. Т. 47. № 1. С. 89 – 100.

## **Приближенный синтез переключающих систем**

Урюпин И.В.

Научный руководитель – Бортаковский А.С.

МАИ, г. Москва

Переключающая система (ПС) описываются рекуррентными уравнениями или включениями и служат математическими моделями устройств управления в форме автомата с памятью [1]. ПС является одной из составляющих в динамических системах с автоматной частью, логико-динамических и гибридных системах. В отличие от классических моделей дискретных систем, изменения состояний (переключения) которых происходят в заданные (тактовые) моменты времени, изменение состояния ПС могут происходить в произвольные, заранее не заданные моменты времени. Выбор тактовых моментов является одним из ресурсов управления и подлежит оптимизации. Широкое применение ПС находят в гибридных системах управления в авиационной и космической технике.

Рассмотрена задача синтеза оптимальной траектории ПС, аппроксимирующей заданную непрерывную траекторию. Траектория ПС является кусочно-

постоянной функцией и не может в общем случае совпадать с непрерывной кривой. Поэтому решается задача поиска кусочно-постоянной траектории, которая наилучшим образом аппроксимирует заданную непрерывную кривую. Однако, в отличие от обычной аппроксимации, здесь учитывается также и количество скачков аппроксимирующей функции. Каждое переключение состояния ПС требует определенных затрат, которые суммируются в функционале качества. Требуется найти оптимальную позиционную конструкцию переключающей системы и оптимальную траекторию, минимизирующую функционал при наилучшем выборе начального состояния. Множество точек разрыва траектории заранее не задано и определяется в процессе оптимизации.

Для реализации поставленной задачи был модифицирован алгоритм синтеза дискретной системы автоматного типа, выполняющий кусочно-постоянную аппроксимацию непрерывных траекторий. Алгоритм основан на достаточных условиях оптимальности. Идея метода состоит в нахождении так называемых условных функций цены и условных оптимальных конструкций, из которых, затем, строится "настоящая" функция цены (функция Гамильтона – Якоби – Беллмана). Синтезированная оптимальная позиционная конструкция ПС позволяет получить оптимальные траектории для любых начальных состояний. Для нахождения оптимального начального состояния достаточно минимизировать условную функцию цены в начальный момент времени. В среде программирования QtCreator разработана программа, реализующая алгоритм синтеза оптимальной конструкции ПС. Получены численные решения задач синтеза переключающих систем, выполняющих кусочно-постоянную аппроксимацию разных непрерывных траекторий.

Литература.

1. Бортакоский А.С. Синтез оптимальных переключающих систем // Известия РАН. Теория и системы управления, 2015, №5. С.48-72.

### **Разработка программного обеспечения для решения задачи нелинейной фильтрации на основе фильтра частиц и его модификаций**

Волков В.А.

Научный руководитель – Кудрявцева И.А.

МАИ, г. Москва

Данная работа посвящена разработке программного обеспечения для решения задачи оценивания вектора состояния объекта наблюдения по результатам косвенных измерений при условии наличия случайных воздействий на основе алгоритмов фильтра частиц.

Фильтры частиц являются достаточно широко используемым классом численных методов, применяемых для решения подобного класса задач. По сравнению с другими аппроксимационными методами в алгоритмах фильтров частиц не используется процедура локальной линеаризации или какая-либо подобная функциональная аппроксимация. Однако для использования алгоритмов фильтров частиц необходимо наличие достаточно мощных вычислительных ресурсов.

Рассматриваются дискретные нелинейные модели объекта наблюдения и измерений, являющиеся аддитивными относительно случайных воздействий

Для решения поставленной задачи применяются следующие алгоритмы:

- бутстреп фильтр частиц(BootstrapFilter);
- улучшенный фильтр последовательной выборки (Improved SIS Filter);
- сигма-точечный фильтр частиц (Unscented Particle Filter);
- Монте-Карло фильтр частиц (Monte-Carlo Particle Filter).

Перечисленные алгоритмы фильтров частиц можно разделить на два класса: с использованием алгоритма повторной выборки и без него. К первому классу относится бутстреп фильтр и улучшенный фильтр последовательной выборки, ко второму классу относятся сигма-точечный фильтр частиц и Монте-Карло фильтр частиц.

Алгоритмы фильтрации реализованы и протестированы в среде MATLAB 2014b. Конечный программный продукт имеет графическую оболочку и разработан с использованием MicrosoftVisualStudio C# 2012. Программа имеет модульную структуру, каждый модуль реализует отдельный алгоритм фильтрации.

С использованием созданного программного продукта проведены серии вычислительных экспериментов для различных модельных примеров. Произведено сравнение результатов решения, полученных с использованием бутстреп фильтра, улучшенного фильтра на основе последовательной выборки по значимости, сигма-точечного фильтра частиц и Монте-Карло фильтра частиц.

### **Расчёт основных параметров комбинированной схемы выведения космического аппарата с электроракетным двигателем на геостационарную орбиту**

Герасименко Н.А., Пташевская Е.В.

Научные руководители – Петухов В.Г., Пунтус А.А.

МАИ, г. Москва

Среди всех типов околоземных орбит геостационарная орбита (ГСО) занимает особое место. Благодаря расположению в плоскости экватора и периоду равному периоду вращения Земли, космический аппарат (КА), движущийся по ГСО, постоянно находится над одной и той же точкой над поверхностью Земли. В силу этого, КА становится очень удобным ретранслятором, постоянно обслуживающим определенный участок земной поверхности.

Схема выведения КА на ГСО включает в себя участок выведения на низкую околоземную орбиту, реализуемый с помощью ракеты-носителя, и участок межорбитального перелёта. Традиционно, траектория межорбитального перелёта формируется химическими ракетными двигателями большой тяги. Эти двигатели имеют относительно небольшую скорость истечения, что приводит к большим затратам топлива на перелёт. Из-за этого масса КА, доставляемого на ГСО, часто оказывается недостаточной.

Для увеличения массы КА на ГСО могут использоваться комбинированные схемы выведения. В работе рассматривается один из частных случаев комбинированной схемы выведения КА на ГСО, в котором в качестве

промежуточной орбиты используется экваториальная эллиптическая орбита с суточным периодом [1]. КА с низкой околоземной орбиты с помощью химических ракетных двигателей большой тяги выводится не на саму ГСО, а на промежуточную орбиту. После чего включаются электроракетные двигатели (ЭРД), с большей, чем у традиционных химических ракетных двигателей, скоростью истечения, которые, работая постоянно в течение некоторого времени, доставляют КА на ГСО.

Выведение на экваториальную эллиптическую орбиту с суточным периодом требует меньше топлива, чем выведение сразу на ГСО, кроме того, ЭРД потребляют по массе гораздо меньшее количество топлива, чем химические ракетные двигатели. Таким образом, образуется выигрыш по массе КА. С другой стороны, комбинированный способ выведения требует больше времени, так как ЭРД имеют гораздо меньшую тягу.

В данной работе осуществляется расчёт зависимости массы доставляемого на ГСО

КА от времени выведения. Для расчёта движения КА с малой тягой используется метод численного интегрирования Рунге-Кутты 4-го порядка [2]. Для определения характеристик выведения на промежуточную орбиту использованы методы теории кеплеровского движения для расчёта межорбитального перелёта в импульсном приближении [3].

Литература.

1. Spitzer A. Novel Orbit Raising Strategy Makes Low Thrust Commercially Viable // 24th International Electric Propulsion Conference, IEPC 95-212, Russia, Moscow, 1995.

2. Пунтус А.А. Дифференциальные уравнения. Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2014.

3. Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г. Основы механики космического полёта. – М.: НАУКА, 1990.

## **Разработка системы поддержки принятия решения о выборе тарифа авиабилета на основе методов машинного обучения**

Виноградова Е.М.

Научный руководитель – Филонов П.В.

МГТУ ГА, г. Москва

В работе рассматривается вариант решения вопроса выбора тарифа, при совершении покупки авиабилета. Предлагается следующее решение: построение некой рекомендательной системы (РС). В данной работе будет исследоваться технология, которая позволит создать РС. Также будут определены особенности рекомендательных систем, предложена их классификация. В результате исследования получается алгоритм для данной РС, который строится благодаря анализу данных пользователей, уже купивших билеты.

Как правило, покупатель выбирает проверенную авиакомпанию, зная, каким тарифом ему лучше будет совершить перелет. Но что, если на выбранном направлении нет билетов от уже известной авиакомпании, как среди многообразия остальных компаний выбрать подходящий тариф. Эту проблему может решить РС. Так же введение этого новшества позволит человеку

сосредоточиться на более важных аспектах, например, на дате возврата или выборе более подходящего аэропорта в городе. Иначе говоря, сэкономит время покупателю. Несмотря на положительный тренд показателей перевозок пассажиров, гражданская авиация испытывает серьезные финансовые затруднения, вызываемые как субъективными, так и объективными причинами. В связи с этим перевозчики вынуждены искать новые варианты доходов и привлечения клиентов. Один из способов привлечь клиента - упрощение процесса выбора и оформления билета.

В работе данная проблема рассматривается как задача машинного обучения, а именно как задача классификации. Это означает, что нужно построить математическую модель «Билет», что позволит создать обучающую выборку для методов машинного обучения, и определить к какому классу она относится.

Математическая модель рассматривается как совокупность признаков, характеризующих билет. В работе происходит построение признаков с использованием разных техник и методов, отбираются наиболее важные и информативные признаки. Так же применен метод кодирования признаков для увеличения качества используемых алгоритмов. Так как реальные данные о пассажироперевозках являются конфиденциальной информацией, в работе генерируются эти данные – признаки билета с помощью известных статистик и субъективных предположений. Результаты работы рассматриваются на примерах двух ситуаций: при независимости всех признаков и зависимости некоторых из них.

После создания математической модели и генерации признаков получается выборка, на которой обучаются классификаторы. Выбрано четыре алгоритма классификаторов из методов машинного обучения: метрического, линейного, логического. Алгоритмы оцениваются с помощью построения ROC – кривых и скользящего контроля. Полученные оценки позволяют сделать вывод, что при зависимости признаков классификаторы работают лучше и данный метод применим для решения выше поставленной проблемы.

## **Численное исследование эволюции вращательного движения спутника с демпфером в центральном гравитационном поле на круговой орбите**

Холощак В.В.

Научный руководитель – Амелькин Н.И.

МФТИ, г. Москва

Ранее, в большинстве опубликованных работ рассматривалась задача исследования стационарных вращений в центральном гравитационном поле для спутника, моделируемого абсолютно твёрдым телом. В такой постановке задачи было установлено наличие трёх типов стационарных вращений динамически симметричного спутника: цилиндрические, конические и гиперболоидальные регулярные прецессии. Однако, как для естественных, так и для искусственных спутников характерно наличие внутренних диссипативных сил, которые существенно влияют на динамику спутника. В связи с этим актуальными являются задачи исследования вращательного движения спутника при наличии внутренней диссипации.



В работе исследуется эволюция вращательного движения динамически симметричного спутника с шаровым демпфером, движущегося по круговой орбите в центральном гравитационном поле. Для описания вращательного движения спутника используется система дифференциальных уравнений, полученная при помощи теоремы об изменении кинетического момента спутника и демпфера, и дополненная до замкнутой системы уравнениями Пуассона в кватернионах. В рассматриваемой модели стационарными движениями спутника являются цилиндрические регулярные прецессии.

Для сравнительного анализа полученных результатов вращательное движение так же было описано с помощью приближённых уравнений Ф.Л. Черноушко.

Данные системы дифференциальных уравнений были решены численно с помощью программного комплекса Matlab для «сжатого» вдоль оси симметрии спутника, закрученного в начальный момент времени вокруг оси симметрии с угловой скоростью, равной пяти угловым скоростям орбитального базиса, для различных углов отклонения оси симметрии от нормали к плоскости орбиты.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы: для большинства начальных условий финальный этап эволюции представляет собой пространственное резонансное вращение 2:1, в процессе которого вектор угловой скорости спутника эволюционирует к нормали к плоскости орбиты, а величина угловой скорости остается постоянной, равной удвоенной угловой скорости орбитального базиса; для значений безразмерного коэффициента демпфирования больше единицы установлено качественное совпадение результатов, полученных интегрированием предложенных точных уравнений движения и приближенных уравнений Ф.Л. Черноушко.

### **Динамика давления внутри приборного контейнера космического аппарата негерметичного исполнения**

Белякова Н.Г., Зайцев П.А.

Научный руководитель – Чиров А.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время большинство высокоорбитальных космических аппаратов (КА) оснащаются приборными отсеками негерметичного исполнения (НГПО). Эти отсеки обычно представляют собой объём прямоугольной или кубической формы, на гранях которого имеются специальный вентиляционные отверстия, конструктивно выполненные в виде щелей или круглых отверстий, обеспечивающие выход газа из внутренней полости. Согласно техническим условиям, включение бортовой аппаратуры (особенно высоковольтной) допускается при снижении давления остаточного газа внутри НГПО до некоторой определенной величины.

На стадии проектирования КА требуется иметь методику оценки времени снижения давления внутри приборного отсека до необходимого уровня при выводе КА на орбиту. Также нужно иметь представление о тех конструктивных параметрах геометрии отсека и свойствах используемых материалов, которые оказывают существенное влияние на время обезгаживания отсека.

В докладе предложена расчётная модель процесса снижения давления газа внутри НГПО высокоорбитального КА. Данная модель основывается на

принятии трёх основных положений: 1) молекулярном режиме течения газа через вентиляционные отверстия отсека; 2) записи баланса массы газа между поступлением в объем отсека в результате газовыделения конструкционных материалов и выходом из него газа через специальные щели; 3) влияние процессов адсорбции и десорбции газа на процесс дегазации НГПО отсутствует.

Расчетная модель позволяет оценить время достижения давления внутри приборного контейнера, при котором допускается включение высоковольтной аппаратуры, после прохождения активного участка и выхода КА на орбиту. Показано, что основными причинами значительной продолжительности падения давления газа внутри контейнера, являются особенности процессов выделения различных газовых компонент из конструктивных материалов, находящихся внутри контейнера.

Литература.

Пипко А.И., Плисковский В.Я., Пенчко Е.А. Конструирование и расчёт вакуумных систем. М.: Энергия, 1990. 504 с.

Кошмаров Ю.А., Рыжов Ю.А. Прикладная динамика разреженного газа. М.: Машиностроение, 1977. 184 с.

Попов Ю.А. и др. Кинетика газовыделения летучих конденсирующихся веществ из органических материалов при длительном термовакуумном воздействии. Сборник трудов VIII Всесоюзной конференции по динамике разреженных газов, 1985.

## **Разработка инженерной модели работы пиротехнического механизма раскрытия рулевых поверхностей авиационной ракеты**

Любимова Н.А.

Научный руководитель – Правидло М.Н.

АО «ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова», г. Москва

На этапах проектирования и отработки (например, стендовой) объектов новой авиационной техники проведение моделирования режимов функционирования конструкции во всем диапазоне условий ее работы является весьма целесообразным, да и просто жизненно необходимым. Так называемое «инженерное моделирование» проводится с целью оценки эксплуатационных характеристик изделия, а также определения возможных направлений корректировки его технического облика. Это позволяет значительно сэкономить средства на испытания и выявить недочеты конструкции на ранних этапах проектирования.

В рассматриваемой работе представлена методика разработки математической модели пиротехнического механизма раскрытия управляющих аэродинамических поверхностей (рулей) авиационной ракеты. Модель учитывает сопряженные процессы газодинамики продуктов сгорания внутри рабочих полостей пиротехнического привода и динамики подвижных частей исполнительного механизма с учетом его кинематических и массовых характеристик.

Учитывая сложность экспериментальных исследований динамики рабочего тела в пироприводах, вызванных ограниченным временем их срабатывания ( $0,01 \div 0,02$  с), на предварительном этапе разработки математической модели

было проанализировано поведение модели с распределенными параметрами, позволившее в дальнейшем оптимизировать методику построения модели рассматриваемой системы. Допущения, принятые в ходе моделирования работы пиропривода:

- При расчете теплообмена в продуктах сгорания перенос тепла за счет переизлучения в потоке не учитывается.
- Моделирование динамики штока пиропривода происходит на основе уравнения динамики для материальной точки без учета распределения массы по объему штока.
- Движение штока пиропривода происходит только по одной координате.
- Силы жесткости и демпфирования при движении штока не учитываются.
- Влияние массовых сил на работу пиропривода не учитывается.

Таким образом, на предварительном этапе моделирования работы пиропривода представляет собой решение трехмерной нестационарной сопряженной задачи газодинамики и динамики твердого тела.

На следующем этапе разработки была составлена инженерная модель с сосредоточенными параметрами на основе данных предварительного моделирования. Методика построения модели с сосредоточенными параметрами для уравнений газовой динамики внутри полости основывается на применении метода контрольных объемов. Рассматриваемая физическая система разбивается на ряд условных полостей, для каждой из которых записываются интегральные уравнения баланса массы и энергии. Потоки массы и энергии между полостями рассчитываются через соответствующие функции расхода в зависимости от соотношения давлений между полостями. При этом используются коэффициенты расхода на основе справочных данных с учетом корректировок, полученных в ходе трехмерного моделирования.

В результате была разработана инженерная модель пиропривода раскрытия рулей авиационной ракеты. В рамках полученной модели решается сопряженная задача газовой динамики и динамики его подвижных частей. Данная модель была опробована на практике и показала себя удобным инструментом инженерного проектирования, особенно в случаях, проработки рационального технического облика механизма в целом.

## **Реализация интернет-голосования при агрегировании экспертных предпочтений**

Шпаков А.С.

Научный руководитель – Смерчинская С.О.

МАИ, г. Москва

В настоящее время большинство важных решений принимается после голосований. Агрегирование результатов этих голосований значительно осложняется с увеличением количества экспертов, и при этом могут появляться неразрешимые противоречия и нарушения транзитивности. Так как не во всех случаях возможно, в силу финансовых сложностей или территориальных ограничений, организовать место для сбора голосов, реализация интернет-

голосования может стать выгодным решением. В статье разработана методика проведения интернет-голосования для выявления профиля индивидуальных предпочтений экспертов, а также продемонстрировано применение к решению практической задачи сбора данных о состоянии самолёта для предотвращения чрезвычайных ситуаций.

При большом количестве участников голосования, результирующее отношение будет содержать большое количество контуров и противоречий, которое быстро увеличивается с ростом числа участников. Для разрешения этих противоречий обычно используется алгоритмы с применением свертки, что влечет за собой повышенную вычислительную сложность. В условиях интернет-площадки, когда количество голосов постоянно растёт и может достигать десятков тысяч в сутки, задача поддержки актуальной статистики голосов становится нетривиальной.

В данной работе используется алгоритм агрегирования экспертных предпочтений с использованием транзитивного замыкания. Этот алгоритм не использует свертку и может быть эффективно применен для задачи агрегации голосов

Сбор экспертных предпочтений реализован в виде интернет-голосования на сайте, алгоритм агрегирования результатов реализован в отдельном модуле.

Хранение полученной информации производится при помощи базы данных, управляемой СУБД MySQL. Работа с данными в ней осуществляется командами языка SQL, для считывания результатов голосований с сайта используется PHP. Модуль, агрегирующий экспертные предпочтения, написан на языке C#.

Для иллюстрации возможностей практического применения системы рассмотрена инженерно-психологическая задача анализа деятельности, решение которой зачастую включает в себя опросы операторов, управляющих сложными техническими средствами. Например, 1 июня 2009 года над Атлантическим океаном произошла авария самолета A330 компании AirFrance, произошедшая ввиду отказа датчика скорости, повлекшего за собой проблемы в навигационной системе.

Для предотвращения подобных ситуаций и могут использоваться методы инженерной психологии. С учетом того, что современные авиакомпании предоставляют множество рейсов в самые разные точки мира, интернет-площадка для опроса сотрудников может стать оптимальным решением. Из результатов агрегирования этих опросов будет составляться взгляд на состояние самолёта и экипажа, которые могут повлечь ошибки управления или отказ оборудования. Описанная в статье система может быть использована для агрегирования результатов опроса экспертов, что поможет автоматизировать и ускорить сбор информации. Так, в примере с Airbus, результатом стала замена в самолётах компании датчиков скорости, так как, по результатам исследований, причиной катастрофы стала их неисправность.

Таким образом, разработанная система агрегации голосов может использоваться на различных интернет-площадках для решения ряда практических задач. Используемые алгоритмы делают ее эффективной в условиях большого числа экспертов и позволяют отслеживать результаты голосования в реальном времени.

## Исследование и разработка алгоритма выбора наилучших вариантов решений

Седова Т.С.

Научный руководитель – Смерчинская С.О.

МАИ, г. Москва

Все люди, вступающие в сознательный возраст, начинают самостоятельно принимать решения. Это может быть выбор одежды, еды, отдыха, пути или даже вложения финансов в тот или иной бизнес. Очень часто от принятого решения зависит дальнейшая судьба, капитал человека или фирмы, корпорации.

В теории принятия решений рассматривается решение проблемы выбора наилучших альтернатив. Пусть профиль индивидуальных предпочтений

экспертов задан бинарными отношениями  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_m$ . Им в соответствие

ставятся графы  $G_1, G_2, \dots, G_m$ , причем  $G_i = (A, \rho_i)$  – ориентированный граф с

множеством вершин–альтернатив  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  и множеством дуг  $\rho_i$ .

Множество дуг – это множество упорядоченных пар  $\langle a_i, a_j \rangle (a_i, a_j \in A)$ ,

входящих в отношение  $\rho_i$ . Таким образом, задача выбора наилучших альтернатив может быть сведена к работе с графами.

Моя работа состоит в реализации трех блоков: построение по исходному графу предпочтений функции Гранди, разбиение графа на уровни и разработка алгоритма построения строгого порядка до линейного.

Функция Гранди. В теории графов возможно использовать методы отыскания ядер графа  $G$ , состоящих из подмножества несравнимых между собой объектов, как основу для выделения наиболее предпочтительных объектов. Ядро не может содержать петель или смежных вершин, но включает все вершины, не имеющие образов. Чем больше функция Гранди у вершины, тем она предпочтительней, лучше. Функция Гранди существует не всегда, как и разбиение графа на уровни. Алгоритм реализован в VisualStudio на языке C#. Каждый уровень выделяется синим квадратом.

Разбиение графа на уровни. С помощью построенной функции Гранди можно произвести разбиение графа на уровни. Нулевой уровень соответствует ядру графа. Над каждой вершиной графа подписана функция Гранди (если существует). Данный алгоритм реализован в выше написанном приложении.

Достроение строгого порядка до линейного. Лицо, принимающее решение (ЛПР) может быть заинтересовано в получении всех возможных вариантов ранжирования альтернатив. Для решения этой задачи используется разбиение графа на уровни. ЛПР выбирает альтернативу на нулевом уровне, затем, в диалоговом окне проводит сравнение этой альтернативы с остальными альтернативами на данном уровне. Далее, переходит к уровням выше. Для сокращения процедур сравнения используется взятие транзитивного замыкания на порядке.

Приложение оснащено инструкцией по использованию. Можно сохранять, выводить и удалять уже готовые графы. Графы можно изменять как вручную,

так и при помощи матрицы инцидентий. Каждый блок работы вынесен в меню программы.

## **Моделирование колебательных процессов земного полюса**

Виеру Б.Г.

Научный руководитель – Перепелкин В.В.

МАИ, г. Москва

Построение высокоточной динамической модели вращательно-колебательного движения Земли, идентификация ее параметров на основе данных МСВЗ (Международной службы вращения Земли) [1] и надежный прогноз весьма важны для решения задач навигации космических аппаратов и при исследовании ряда астрометрических, геодинамических и геофизических проблем.

В связи с модернизацией и развитием отечественной навигационной системы – ГЛОНАСС – весьма актуальным оказывается достижение высоких точностей координатно-временного и навигационного обеспечения наземных (стационарных и подвижных), а также движущихся в околоземном пространстве объектов. Эта прикладная задача сопряжена с фундаментальной проблемой определения параметров вращения Земли (ПВЗ), в частности, с колебаниями земного полюса и прогноза его движения в пределах как длительного (от одного до двух лет), так и в коротком интервале времени (до месяца).

На основе уточненной небесно-механической модели движения деформируемой Земли относительно центра масс изучаются наблюдаемые колебательные процессы мгновенной оси вращения Земли в связанной с Землей системе координат ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Используя численно-аналитический подход в моделировании колебательного движения полюса, ключевой составляющей которого является чандлеровская компонента, выявлены тонкие динамические эффекты, которые позволяют улучшить точность прогноза траектории его движения.

Научный и практический интерес представляет совместное моделирование динамических процессов - колебательного движения полюса Земли и временных вариаций коэффициентов геопотенциала, что позволяет уточнить аналитическую модель и улучшить точность прогноза траектории его движения.

Из результатов обработки данных наблюдений МСВЗ следует, что амплитуда и частота чандлеровской компоненты подвержены сильным вариациям. Временной ряд числа мощных землетрясений с магнитудой  $M > 6$  [2] позволяют выявить долгопериодические особенности сейсмической активности Земли, тесно коррелирующие с вращательно-колебательным движением Земли.

Литература:

Марков Ю.Г., Перепелкин В.В., Сеницын И.Н., Семендяев Н.Н. Вращательно-колебательное движение земли и глобальная составляющая сейсмического процесса. Доклады академии наук, 2010, том 435, № 3, с. 333-337.

Марков Ю.Г., Перепелкин В.В., Крылов С.С. Численно-аналитический подход к изучению колебательных процессов полюса Земли. Доклады академии наук, 2015, том 463, № 6, с. 664-668.

## Устойчивость кольцевой пластины при растяжении сосредоточенными силами

Бочкарев А.О., Соловьев А.С.

Научный руководитель – Морозов Н.Ф.

СПбГУ, г. Санкт-Петербург

В инженерном деле повсеместно применяются тонкие, по одному или двум измерениям, конструкционные элементы: балки, стержни, пластины. Изгибная жесткость этих элементов значительно уступает по величине жесткости на сжатие, поэтому под действием достаточно больших нагрузок может произойти потеря устойчивости. Потеря устойчивости часто приводит к большим перемещениям, из-за которых может следовать разрушение всей конструкции. В связи с этим является важным исследовать устойчивость таких деформируемых систем, в частности, важным вопросом является определение величины критической нагрузки.

Интуитивно понятно явление потери устойчивости при сжатии. Однако даже при внешне растягивающих нагрузках, в теле могут возникать зоны сжимающих напряжений, приводящих к потере устойчивости.

В работе рассматривалась устойчивость плоской формы равновесия тонкой упругой кольцевой пластины, растянутой двумя сосредоточенными силами, приложенными на внешней окружности в радиальном направлении. В качестве граничных условий было выбрано шарнирное закрепление на внешней окружности при свободной внутренней.

Напряжения в плоском состоянии были найдены, следуя А. И. Лурье [1], методом комплексных степенных рядов с предварительным выделением особенности, связанной с наличием сосредоточенных сил. Были обнаружены зоны сжимающих напряжений вблизи границ пластины, что свидетельствует о возможности потери устойчивости.

Величина критической силы находилась с помощью энергетического критерия [3]. Применяв метод Ритца [4], задача об определении минимума энергетического функционала была сведена к линейной проблеме обобщенных собственных значений. Были получены символьные выражения коэффициентов линейной системы. Критическая сила и форма потери устойчивости были найдены численно.

Как и следовало ожидать, величина критической силы монотонно убывает с увеличением радиуса отверстия. Однако форма потери устойчивости, в зависимости от отношения радиусов, может быть как симметричной, так и антисимметричной с осью антисимметрии, совпадающей с линией действия сил. Вторая ситуация возникает при относительно малых размерах внутреннего радиуса.

Литература.

Лурье А.И. Теория упругости. – М.: Наука, 1970. – 940 с.

Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. – Л. : ОГИЗ. Гос. Изд-во технико-теорет. Лит., 1946. – 532 с.

Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем.– М. : Наука, 1967. – 984с.

Бочкарев А.О., Греков М. А. // ДАН. 2014. Т. 457. № 3. С. 282–285.

С. М. Бауэр, С.В. Каштанова, Н.Ф. Морозов, Б.Н. Семенов // ДАН. 2014. Т. 458. №2. С. 158–160.

## СЕКЦИЯ № 23. Антенны и устройства СВЧ

Руководитель секции: д.т.н., профессор Воскресенский Д.И.

---

### **Подход к проектированию линейной волноводно-щелевой антенной решётки с низким уровнем боковых лепестков**

Сучков А.В.

Научный руководитель – Гринев А.Ю.

МАИ, г. Москва

Волноводно-щелевые линейные излучатели, реализуемые на базе прямоугольного проката волноводных алюминиевых труб стандартного сечения с прорезанными по узкой стенке переменено наклонными щелями, ввиду известных преимуществ в части технологичности производства и стоимости изготовления, в настоящее время широко используются в составе плоских волноводных антенных решеток. Высокие эксплуатационные характеристики таких излучателей дают возможность их применения, в том числе, в антенных решетках с частотным сканированием для формирования узконаправленных диаграмм направленности с низким уровнем боковых лепестков в плоскости, расположенной ортогонально к плоскости сканирования.

Расчет параметров конструкции линейной волноводно-щелевой антенной решетки (ЛВЩАР) может быть выполнен в соответствии общепринятыми методиками, предложенными в литературе, исходя из заданных ширины луча, уровня бокового излучения и рабочего диапазона частот. При этом основным моментом является определение конкретных размеров каждой излучающей щели, необходимых для обеспечения требуемого уровня связи щели с бегущей волной в волноводе (величины нормированной проводимости щели), а соответственно, и принятого к реализации амплитудного распределения. Оценка размеров щелей в первом приближении может быть произведена в соответствии с известными теоретическими соотношениями, которые определяют связь между нормированной проводимостью и геометрией щели. При этом проводимость определяется, как правило, для случая бесконечно узкой щели в волноводе с бесконечно тонкими стенками, без учета влияния соседних щелей на волноводе, а также глубины врезания щели в широкие стенки волновода, что ограничивает возможность применения известных соотношений при проектировании.

Для получения более точных результатов при конкретных условиях выполнено электродинамическое моделирование излучающей щели методом конечных элементов с целью получения графиков зависимости нормированной проводимости щели от ее геометрических параметров, в соответствии с которыми определена начальная конфигурация ЛВЩАР. Затем проводились анализ электродинамической модели ЛВЩАР и итерационная оптимизация модели в части последовательного пересчета коэффициентов связи щелей с волноводом (с соответствующей коррекцией параметров геометрии щелей) и неэквилидистантности шага между щелями. Критерием сходимости процесса являлось приближение с заданной точностью ближнего поля ЛВЩАР, рассчитываемого при моделировании, к теоретическим амплитудному и



фазовому распределению, принятым к реализации. Такой подход позволил минимизировать значения амплитудных и фазовых ошибок в излучающем раскрыве до величин, обеспечивающих требуемый уровень бокового излучения (порядка 30 дБ) при ширине луча (около  $1^\circ$ ).

На основании оптимизированной конфигурации электродинамической модели ЛВЩАР разработана конструкторская документация и изготовлены несколько опытных образцов, работающих в дециметровом диапазоне длин волн, испытания которых подтвердили достоверность проведенных расчетов. Результаты экспериментальной проверки характеристик диаграмм направленности изготовленных опытных образцов на стенде ближнего поля показали хорошее совпадение с результатами, полученными при моделировании (ухудшение измеренного уровня бокового излучения относительно расчетного – не более 1 дБ). Измеренный уровень КСВН ЛВЩАР в рабочем диапазоне частот составил не более 1,3 (при расчетном уровне порядка 1,25).

### **Низкопрофильная спутниковая антенная система ОВЧ диапазона**

Измайлов А.А., Волков А.П.

Научный руководитель – Гринев А.Ю.

МАИ, г. Москва

Известно, что большинство спутниковых космических комплексов землеобзора работает на частотах выше L диапазона. Однако в последнее время проявляется возрастающий интерес к переходу в метровый диапазон длин волн в подобных системах с целью обнаружения сообщений, отправленных с воздушного судна или корабля. При этом совместная обработка радиолокационной информации, полученной от космического аппарата (КА), оснащенного радиолокатором X диапазона, и от КА, в составе которого функционирует радиолокатор ближнего (L) и дальнего (P) дециметровых диапазонов (или от КА, оснащенного трехчастотным радиолокатором X, L и P диапазонов), позволила бы устранить часто имеющую место неоднозначность интерпретации результатов диагностики объектов, качественно повысить степень дешифрируемости сюжетов, целевую и экономическую отдачу от эксплуатации создаваемых космических комплексов землеобзора.

С целью уменьшения габаритных размеров антенной системы используется структура на основе поверхности с высоким импедансом (HIS). Подобные структуры часто определяют как искусственные магнитные проводники (АМС), поскольку касательная компонента магнитного поля на структуре равна нулю, а коэффициент отражения от такой структуры равен +1. Подобные структуры применяются для создания низкопрофильных антенных систем и позволяют уменьшить расстояние от проводящего экрана до излучателя в 3-10 раз (до 0.0870-0.0270) по сравнению с традиционным случаем (0.2570). В качестве элемента подложки на основе АМС выбран кольцевой прямоугольный элемент, что позволяет помимо уменьшения профиля АС также уменьшить и ее продольные размеры за счет внесения в эквивалентную схему АМС структуры дополнительного индуктивного элемента.

На первом этапе разработан элемент антенной решетки космического комплекса землеобзора ОВЧ диапазона. Элемент АР состоит из двух

вибраторных излучателей типа "бабочка", работающих на ортогональных поляризациях, расположенных на структуре с высоким импедансом. Схема питания на основе петлевой коаксиальной линии используется для питания вибраторных излучателей. Плечи вибраторов соединяются с внешним экраном коаксиальных линий, а внутренние проводники соединяются через мост. Свободный конец петлевой коаксиальной линии заземляется на проводящий экран. Выбранная схема питания обеспечивает симметрирование излучателей и требуемую развязку в кроссполяризационных каналах, а также является более простой по сравнению с традиционными схемами (U-колена, четвертьволновый стакан и т.д.). Проведена оптимизация элемента AP методом Нелдера-Мида по критерию качества согласования. В рабочей полосе (0.156 - 0.162 МГц) КСВ вибраторных излучателей не превышает значения 2.5, а развязка в кроссполяризационных каналах не более (-40) дБ. Высота профиля элемента AP составила 80 мм (0.042  $\lambda_0$ ), а продольные размеры 500 $\times$ 500 мм<sup>2</sup> (0.265  $\lambda_0$  $\times$ 0.265  $\lambda_0$ ).

На втором этапе проведено полноволновое моделирование методом КЭ антенной решетки на основе разработанного элемента. Антенная решетка состоит из 5 пяти излучателей, возбуждаемых синфазно. Приведены результаты моделирования зависимости согласования излучателей вертикальной и горизонтальной поляризации AP от частоты, а также диаграммы направленности AP для ряда частот.

Разработанная антенна система имеет требуемые характеристики согласования, развязки и направленности, а также габаритные размеры и может быть использована в космических комплексах землеобзора.

### **Контроль поляризационных характеристик микрополосковых антенн**

Евсеев Д.А., Ильин Е.В.

Научный руководитель – Гринев А.Ю.

МАИ, г. Москва

Микрополосковые антенны (МПА) и антенные решетки из них обладают рядом достоинств, таких как: низкая стоимость, технологичность, малые массогабаритные характеристики, металлоемкость. МПА простейшей конструкции узкополосна (< 10%), но специальные технические решения позволяют расширить рабочую полосу частот (до 40%). Возбуждение МПА осуществляется как прямым гальваническим контактом с микрополосковой линией или коаксиальным зондом, так и неконтактным методом. Возможна произвольная форма излучающей пластины МПА с известной резонансной частотой. Выбором формы пластины можно улучшить некоторые характеристики антенны. Отмеченные достоинства особенно важны для космических и бортовых радиотехнических комплексов, портативной аппаратуры. Существенным недостатком МПА является наличие кроссполяризационной составляющей излучения, которая ограничивает применение данного типа антенн для решения определенного класса задач. В связи с этим целесообразна разработка методов подавления уровня кроссполяризационного излучения МПА.

В докладе рассмотрен механизм возникновения кроссполяризационного излучения МПА. Представлены методы подавления кроссполяризационной составляющей при требованиях линейности поляризации: симметричное коаксиальное противофазное возбуждение элемента; зеркальное расположение излучающих элементов в решетке; дефект подложки; дополнительный элемент – поляризатор. Методы зеркального расположения излучающих элементов и использование поляризатора были подробно рассмотрены с использованием электродинамической модели антенной решетки из печатных излучателей с Y-образной щелью, которая была добавлена для увеличения полосы пропускания. Питание антенной решетки осуществляется коаксиальным зондом. Моделирование выполнено методом конечных разностей во временной области и методом конечных элементов. Наиболее проблемной плоскостью, с точки зрения подавления кроссполяризации, является диагональная плоскость (D-плоскость). При использовании первых трех методов наблюдается снижение уровня кроссполяризационной составляющей в H-плоскости, однако их использование сопряжено с усложнением системы питания антенной решетки, а также конструкции МПА. При использовании поляризатора, который представляет собой тонкие металлические полоски, кроссполяризация снижается в широком секторе углов сканирования, но его использование ухудшает массогабаритные характеристики антенной решетки.

Представлены результаты моделирования микрополосковой сканирующей антенной решетки на центральной частоте рабочего диапазона. В случае, когда меры подавления кроссполяризационной составляющей не были применены, при отклонении луча на угол 45(60) градусов по азимуту, в H-плоскости был получен коэффициент эллиптичности равный -18 дБ (-15.6 дБ), в D-плоскости -43.2 дБ (-25.4 дБ). В случае применения поляризатора коэффициент эллиптичности уменьшается и становится равен -43 дБ(-33.5 дБ) в H-плоскости, -46.4 дБ (-43 дБ) в D-плоскости. При использовании зеркального расположения элементов в решетке в H-плоскости -70 дБ (-70 дБ), в D-плоскости -22.39 дБ (-16.12 дБ).

## **Измерительная система ориентации плоскости поляризации радиоволны**

**Болотский А.А.**

Научный руководитель – Неудакин А.А.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

При решении многих задач радиотехники часто используют поляризационные свойства антенн. При проектировании радиолиний и радиотрасс любого назначения обязательно нужно учитывать поляризационные характеристики антенн. В идеале передающая и приемная антенны радиолинии должны быть согласованы по поляризации. В этом случае коэффициента поляризационной согласованности равен единице.

Предлагается для обеспечения поляризационной согласованности в радиолинии использовать автоматический измеритель наклона плоскости поляризации (или большой оси поляризованного эллипса) радиоволны. Если определять наклон плоскости поляризации с точностью не более 22,5 градусов,

то минимальный коэффициент поляризационной согласованности составит 0,85.

Система измерения ориентации плоскости поляризации радиоволны включает в себя высокочастотный (ВЧ) датчик и логическое устройство.

ВЧ датчик. В состав ВЧ датчика входят микрополосковая антенна (МПА) и четыре детекторные секции. Элементарный излучатель МПА выполнен в виде диска, к которому подсоединены четыре прямоугольных плеча. К прямоугольным плечам подведены коаксиальные кабели, нагруженные на детекторные секции. Интенсивность токов в плечах определяется ориентацией плоскости поляризации принимаемой радиоволны. Величины токов на выходах детекторных секций будут пропорциональны интенсивности токов в соответствующих плечах. Сравнивая токи с выходов детекторных секций, можно определить угол наклона плоскости поляризации радиоволны. При четырех плечах, смещенных одна относительно другой на угол 45 градусов, можно определить наклон плоскости поляризации радиоволны с точностью не более не более плюс-минус 22,5 градусов.

С использованием программы Microwave Office построена модель МПА и проведены исследования ее направленных свойств, в том числе получены поляризационные характеристики для четырех плеч.

Логическое устройство. В состав логического устройства входят: схема сравнения; логическая схема; индикатор. Схема сравнения включает два компаратора. Для данной схемы использована аналоговая микросхема LM 393 (сдвоенный компаратор). В качестве логической схемы использована цифровая микросхема K155ИД4 (дешифратор). Индикатор представляет собой совокупность четырех светодиодов, сигнализирующих положение плоскости поляризации.

Принцип работы логического устройства заключается в следующем. Четыре низковольтных сигнала с детекторных секций поступают для сравнения на два компаратора. На выходах компараторов имеется комбинация из низких и высоких уровней напряжения, что соответствует уровням логических нуля и единицы. Сигналы с компараторов поступают на дешифратор, который выдает сигнал на одном из четырех выходов в зависимости от комбинации сигналов на входе в соответствии с таблицей истинности. Для реализации таблицы истинности дешифратор должен включать два логических элемента НЕ1, НЕ2 и четыре логических элемента И1, И2, И3, И4.

Таким образом, рассмотренная измерительная система представляет собой анализатор наклона плоскости поляризации радиоволны и может быть использована в радиолинии для обеспечения поляризационного согласования передающей и приемной антенн.

### **Элементы СВЧ волноводного тракта с малыми потерями**

Кривошеев С.П., Труфанов С.В., Фатов Ф.М.

Научный руководитель – Швецов С.В.

АО «МНИРТИ», г. Москва

Эксплуатационно-технические характеристики средств радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи, а также средств специального назначения в

значительной мере определяются характеристиками их антенно-фидерных трактов. Антенно-фидерные тракты должны обеспечивать малое затухание, высокую степень согласования, требуемую линейность фазовой и амплитудной характеристик, высокую помехозащищенность, простоту и экономичность конструкции.

В настоящее время перспективные системы связи работают в миллиметровом диапазоне волн (ММДВ). Существенным ограничением при работе в ММДВ становятся потери при распространении электромагнитных волн в волноводе.

Функция зависимости погонного затухания в волноводе близка к линейной и на частоте 40 ГГц достигают значения более 3,5 дБ на один метр. С ростом частоты затухание увеличивается, и приводит к существенным потерям в тракте передачи от передатчика к антенне, что существенно затрудняет достижение требований по энергопотенциалу.

В волноводе круглого сечения существуют волны E и H-типов, каждая из которых включает единичные поля, отличающиеся пространственной структурой. У волны  $H_{01}$  на стенках волновода азимутная составляющая отсутствует и существует только продольная составляющая напряженности магнитного поля. Продольная составляющая поля волны при отношении длины волны к радиусу волновода, стремящемся к нулю, также стремится к нулю, что приводит к результату: ток по внутренней поверхности волновода не течет. Этим обеспечивается малое затухание волны  $H_{01}$  ( $H_{0m}$ ) в круглых волноводах.

При рассмотрении структуры поля в круглых волноводах используют цилиндрическую систему координат с началом координат в центре поперечного сечения волновода и осью вдоль волновода.

Предельная мощность, передаваемая по волноводу, зависит от площади сечения и критической длины волны.

Затухание для различных волн в круглом волноводе различного сечения, в зависимости от радиуса волновода, показывает, что наименьшим затуханием при распространении в круглом волноводе обладает волна типа  $H_{01}$ . При работе с волной  $H_{01}$  существуют еще не менее четырех типов волн, которые должны быть подавлены как паразитные.

Численные величины амплитудных коэффициентов на выходе преобразователя показывают, что затухание паразитных волн превышает 20 дБ.

Для преобразования волны  $H_{01}$  в основную волну  $H_{11}$  применяются преобразователи на изгибах круглого волновода и на деформациях диаметра круглого волновода.

Излучение на волне  $H_{11}$  позволяет обеспечить формирование узкой диаграммы направленности антенны. Данный тип колебаний обладает наибольшей критической длиной волны. Структура электромагнитного поля данной волны является несимметричной относительно произвольной поперечной оси, вследствие чего, при движении волны вдоль круглого волновода, происходит изменение поляризации волны. Следовательно, только на волне типа  $H_{11}$  возможна реализация одномодового режима работы круглого волновода без применения дополнительных мер для достижения требований по энергопотенциалу.

## **Двухканальный микрополосковый излучатель антенной решётки самолётной спутниковой радиостанции**

Доника И.И.

Научный руководитель – Неудакин А.А.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Одним из наиболее значимых и стремительно развивающихся видов информационных технологий является спутниковая связь, предоставляющая комплекс информационных услуг каждому пользователю вне зависимости от его местоположения, передвижения, погодных и климатических условий. Перспективным направлением является оснащение воздушного судна спутниковой радиостанцией, работающей со спутниковыми ретрансляторами, расположенными на средних и низких околоземных орбитах. В [1] и [2] рассмотрена активная фазированная антенная решетка (АФАР) для самолетной спутниковой радиостанции.

Известно, что приемный и передающий каналы в спутниковой радиолинии работают на разных частотах. В существующих бортовых спутниковых радиостанциях используются отдельные передающая и приемная антенные системы. Независимые потоки данных при пространственно-временном мультиплексировании могут быть направлены антеннами, разнесенными по поляризации. Основное требование к антенной системе помимо хорошего согласования входов и высокой эффективности излучения – это обеспечение высокого уровня развязки входов. В предлагаемой АФАР возможно использовать антенное полотно одновременно для передачи и приема. Для этого достаточно в модулях АФАР использовать двухканальный одиночный излучатель и циркулятор, обеспечивающие развязку передающего и приемного каналов.

С использованием известной двухполяризационной однослойной микрополосковой антенны на воздушной подложке для работы в диапазоне частот 2,5...2,7 ГГц и с учетом электродинамического подобия получены размеры излучателя для частоты 7,5 ГГц, лежащей в диапазоне частот спутниковой радиолинии. Антенна обладает низким коэффициентом стоячей волны, хорошим уровнем развязки входов и усилением.

Для моделирования микрополоскового излучателя использована программа Microwave Office. Для данной антенны проведено исследование направленных свойств для трех частот в режиме передачи и в режиме приема.

На основе анализа полученных диаграмм направленностей (ДН) сделаны следующие выводы: излучатель является слабонаправленным в двух плоскостях в большом диапазоне частот, при этом ширина ДН в одной плоскости составляет порядка 120 градусов, а в другой 70 градусов; ДН искажается не существенно; нормированная ДН может быть описана соотношением  $\Phi = \cos\theta$ .

Таким образом, предложенный микрополосковый излучатель отвечает всем требованиям к одиночному излучателю АФАР самолетной спутниковой радиостанции.

Литература.

1. Доника И.И. Тетраэдральная активная фазированная антенная решетка для бортовой спутниковой радиостанции. / XL Гагаринские чтения. Научные труды

Международной молодежной научной конференции в 9 томах. Москва, 7-11 апреля 2014 г. М.: МАТИ, 2014. Т.3. С. 22-24.

2. Доника И.И. Моделирование и исследование направленных свойств пирамидальной антенной решетки бортовой спутниковой радиостанции. / XLI Гагаринские чтения. Научные труды Международной молодежной научной конференции в 4 т. Т. 2. Проектирование, производство и эксплуатация авиакосмической техники – М.: ИНФРА-М, 2015. С. 251-253.

## **Перспективные сверхнаправленные излучатели**

Лабутин И.Ю., Шевченко А.В.

Научный руководитель – Климов К.Н.

МАИ, г. Москва

Приведен обзор основных типов сверхнаправленных антенн и антенн уменьшенных размеров: кардиоидный приемник, штыревой излучатель, малоразмерная антенна на основе высокотемпературного сверхпроводника, малоразмерная антенна на основе высокотемпературного сверхпроводника, в которой излучающий проводник свернут в виде меандра, сверхнаправленная керамическая антенна.

Сверхнаправленные антенны подразделяют на две группы:

- Антенны, диаграмма направленности которых отвечает магнитному или электрическому диполю. Однако при этом размеры антенны много меньше длины волны.

- Антенны, диаграмма направленности которых заключена в узком конусе, причем размеры антенны меньше длины волны.

Штыревой излучатель, расположенный над проводящим экраном и соединённый с индуктивным элементом, обеспечивающим согласование малого сопротивления излучения штыря с волновым сопротивлением фидерной линии.

Малоразмерная антенна на основе высокотемпературного сверхпроводника устроена так, что излучатель представляет собой микрополосковую линию, замкнутую на ёмкостные нагрузки. Размер излучателя  $6 \times 6$  мм<sup>2</sup>. Излучатель согласован с фидером на частоте 2.36 ГГц.

Малоразмерная антенна на основе высокотемпературного сверхпроводника, в которой излучающий проводник свернут в виде меандра представляет собой антенну, в которой излучающий проводник свёрнут в виде меандра. Меандр выполнен из высокотемпературного сверхпроводника и работает при температуре жидкого азота. Благодаря высокой диэлектрической проницаемости подложки, волна вдоль меандра замедлена так, чтобы период меандра составлял  $\lambda/2$  в линии. При этом все плечи меандра несут синфазные токи, и фактически излучающий ток оказывается во много раз больше тока на входе антенны.

Эффект сверхнаправленности сверхнаправленной керамической антенны достигается без использования сложных антенных решеток и в широком диапазоне частот. В отличие от ранее известных сверхнаправленных антенн, эта антенна имеет значительно меньшие тепловые потери, эффективность излучения на рабочей частоте достигает 80%. Приведены топология и результаты численного электродинамического исследования характеристик

сверхнаправленной керамической антенны. Особенностью данной антенны является возможность изменения направления излучения.

### **Наиболее перспективные электрически малые антенны**

Лабутин И.Ю., Шевченко А.В.

Научный руководитель – Климов К.Н.

МАИ, г. Москва

Приведен обзор основных типов электрически малых антенн: электрические и магнитные диполи и петли, монополь зигзаг-меандр Вонг-Кинга, многозаходные спирали Беста на сфере, нагруженные петлевые вибраторы и сложные монополи, антенна Гоубау, слив и PIF антенны, петлевые антенны, векторный сенсор, антенны на основе диэлектрического резонатора, антенны на основе линий передачи, диполь Снайдера, антенна сдвоенная петля, интегрированная антенна, фрактальные антенны, антенны на микросхеме, антенна Тала: однозаходная спираль на сфере Чу, антенна Густафссона.

Термин электрически малые антенны (ЭМА) относится к антеннам, размеры которых малы по сравнению с длиной волны. Как правило, это в основном диполи или петли, или незначительные их модификации.

Длина монополя зигзаг-меандра Вонг-Кинга равна  $\lambda/4$ . Многозаходные спирали Беста на сфере имеют максимальную индуктивность сферического объема. Петлевой вибратор используется, потому что его сопротивление в 4 раза отличается от сопротивления обычного диполя и это соотношение может быть изменено в широких пределах, поскольку два плеча вибратора могут иметь различные диаметры. Антенна Гоубау обеспечивает наилучшие характеристики при заданном небольшом объеме. В настоящее время антенна Гоубау является наиболее широкополосной из всех рассмотренных электрически малых антенн. Для слив-антенн отметим следующие конструктивные преимущества: плоскость слив антенны и заземление, на которую закорочена плоскость, могут быть изогнуты в любом направлении, а использование конденсатора позволяет в широких пределах настраивать рабочую полосу частот антенны. В пиф антеннах одна плоскость закорочена и возбуждается с помощью коаксиального кабеля вблизи открытого конца. Такие антенны широко используются для портативных приборов связи. Достоинством электрически малых антенн, построенных на основе диэлектрического резонатора прямоугольного профиля является дешевизна в производстве, при обеспечении резонансной частоты с достаточной точностью, устойчивость поляризации и достаточную ширину рабочих частот. Конструкции электрически малых антенн на основе линий передачи позволяют включить шунтирующий шлейф или емкость. Электрически малая антенна на основе диполя Снайдера имеет более широкую полосу согласования по сравнению с обычным диполем, кроме этого коаксиальная структура экранирует токи предотвращая излучение, причем длина шлейфов близка к резонансной. Фрактальные антенны не позволяют значительно уменьшить габариты или значительно расширить полосу рабочих частот. Антенна Густафссона использует рассеивающие свойства электрически малых антенн, чтобы достичь минимального значения добротности, увеличить коэффициент усиления и расширить полосу рабочих частот.



Приведенные в обзоре достоинства и недостатки каждого типа электрически малых антенн позволяют для каждого конкретного применения выбрать наиболее подходящую конструктивную реализацию электрически малой антенны.

### **Каскадные частотно-селективные структуры для контроля диаграммы обратного рассеяния линейной ФАР L-диапазона**

Волков А.П.

Научный руководитель – Гринев А.Ю.

МАИ, г. Москва

Известно, что радиолокационная заметность планера определяется в основном его сильно отражающими элементами: воздухозаборниками двигателей, фюзеляжем, крыльями и др. Антенны, в частности ФАР, относятся к таким сильно отражающим элементам. Зависимость моностатической характеристики рассеяния (при условии совпадения направлений от рассеивателя на источник зондирующего сигнала и на точку наблюдения) от угловых координат называют диаграммой обратного рассеяния (ДОР).

В докладе представлены результаты моделирования ДОР линейной ФАР L-диапазона, размещаемой в отклоняемом носке крыла, при облучении плоской волной в полосе частот X-диапазона. В качестве широкополосного элемента ФАР L-диапазона выбрана одна из модификаций неоднородного металлодиэлектрического излучателя (МНИ), состоящего из металлического основания и металлического экрана, внутри которых установлена трехслойная печатная плата.

Выделены этапы синтеза частотно-селективных структур. Для контроля ДОР разработаны двухслойная и двухрезонансная каскадные ЧСС на основе печатных прямоугольных кольцевых элементов. Проведен анализ влияния электрофизических параметров ЧСС, а также угла падения и поляризации зондирующей электромагнитной волны на характеристики разработанных ЧСС. Рассмотрены случаи расположения двухслойной ЧСС на диэлектрической диафрагме вблизи апертуры ФАР, а также случаи расположения двухрезонансной ЧСС на внутренней поверхности обтекателя ЛА. Анализируется влияние ЧСС на характеристики ФАР. Проведена оптимизация ФАР совместно с разработанными ЧСС по критерию качества согласования методом Нелдера-Мида. Результаты представлены в виде зависимостей КСВ от частоты, а также в виде диаграмм направленности для различных углов фазирования луча ФАР.

Анализируется применение ЧСС для снижения величины брэгговских лепестков. Выявлено частичное подавление отдельных брэгговских лепестков на некоторых частотах рабочего диапазона ЧСС и углах падения зондирующей волны обусловленного тем, что небольшая фракция зондирующей волны всегда проходит сквозь полосно-заграждающую ЧСС в виде периодических затухающих и распространяющихся гармоник Флоке. Последние отражаются от проводящего экрана, а затем и от ЧСС. При определённых расстояниях между ЧСС и экраном возникает резонанс, на той периодической гармонике ЧСС, которая его вызвала. Усиленное электромагнитное поле, соответствующее

"резонансной" гармонике рассеивается на периодической структуре ФАР, и излучается через ЧСС, тем самым ослабляя полосно-заграждающие свойства ЧСС для некоторых брэгговских лепестков.

Проведенные исследования позволяют существенно понизить заметность планера с АФАР L диапазона.

### **Анализ методов синтезирования частоты и элементной базы для построения сверхширокополосного синтезатора частот**

Криков Д.С.

Научный руководитель – Добычина Е.М.

ЦНИРТИ им. акад. А.И. Берга, г. Москва

В работе проанализированы возможности создания синтезатора сетки частот (ССЧ), который может найти свое применение в различных радиоэлектронных системах (РЭС) связи, радиолокации, радиомониторинга и др. Основными требованиями, предъявляемыми к ССЧ современных РЭС, являются: широкий диапазон выходных частот, составляющий единицы-десятки ГГц; малое время перестройки частоты порядка единиц микросекунд – сотни наносекунд; малый шаг сетки частот, составляющий единицы и десятки Гц; относительный уровень фазовых шумов, не менее -120 дБ/Гц при отстройке на 10 КГц; относительный уровень побочных составляющих, не менее -80 дБ; малые габариты, малая потребляемая мощность, а также низкая стоимость.

На первом этапе работы были исследованы существующие методы синтезирования частоты, такие как некогерентный метод синтеза и когерентный метод, который в свою очередь делится на прямой метод синтеза в аналоговом и цифровом исполнениях, косвенный метод синтеза в аналоговом и цифровом исполнениях, гибридный метод синтеза в цифровом исполнении, основанный на одновременном использовании прямого и косвенного синтеза частоты. Представленные методы рассмотрены и оценены с точки зрения преимуществ и недостатков, основываясь на требованиях современных РЭС.

На втором этапе работы проведен обзор существующей элементной базы импортных и отечественных микросхем ССЧ лидирующих компаний. Были рассмотрены импортные микросхемы ССЧ таких компаний, как Analog Devices, Texas Instruments, NXP Semiconductors, Skyworks, Motorola, Qualcomm и др. Среди компаний-производителей отечественных микросхем ССЧ были рассмотрены Прогресс, Миландр, Элвис. Также рассмотрены ССЧ в виде изделий, изготовленных такими отечественными фирмами, как Микран, Адвантех, Радиокомп и др.

В результате проведенного анализа известных методов построения синтезирования частоты, с учетом имеющейся в настоящее время элементной базы импортных и отечественных микросхем, а также ССЧ в виде готовых изделий, сделаны следующие выводы:

- метод прямого цифрового синтеза позволяет в полной мере реализовать преимущества современной цифровой элементной базы в части уменьшения массы и габаритов устройств, повышения их технологичности и надёжности. Однако ССЧ на основе этого метода отличаются высоким уровнем побочных спектральных составляющих и фазовых шумов на выходе;

- метод косвенного синтеза обеспечивает более низкие уровни побочных спектральных составляющих и фазовых шумов при малых отстройках от рабочей частоты, однако по сравнению с методом прямого синтеза частоты имеет большее время перестройки с одной рабочей частоты на другую. Уменьшение шага сетки частот в системах активного синтеза, требует усложнения схемы и сопряжено с увеличением инерционности системы. Переход к цифровой элементной базе, как и в синтезаторах прямого синтеза, позволяет улучшить массогабаритные характеристики системы, повысить надёжность и технологичность, но снижает максимальное значение рабочей частоты;
- гибридный метод синтеза, основанный на одновременном применении прямого и косвенного синтеза частот, позволяет использовать преимущества обоих методов, решая тем самым важнейшие проблемы современных РЭС и позволяя создавать сверхширокополосные ССЧ с требуемым уровнем фазовых шумов и высоким быстродействием.

## **Цифровые диаграммобразующие системы на основе колец ФАПЧ**

Кузьмин Р.Э.

Научный руководитель – Добычина Е.М.

МАИ, г. Москва

В настоящее время актуален вопрос повышения энергетики сообщения в радиоканале. Увеличение мощности передаваемого сигнала или намеренное снижение скорости передачи информации в такой ситуации неэффективны. Одним из методов повышения энергетики сигналов на входе приемника радиосообщения может быть использование направленных антенн.

Антенны могут быть однонаправленными, например параболические зеркальные или директорные, в таком случае при перемещении абонента и приемника друг относительно друга антенну придется вращать. Использование таких антенн возможно лишь при наличии механического привода и системы слежения за траекторией движения источника сообщения, например искусственного спутника земли, но применение такой аппаратуры для мобильной системы неудобно.

Антенны могут сканировать, как фазированные антенные решетки (ФАР), что могло бы решить проблему, так как им не требуется механическая или электромеханическая система вращения для ориентации апертуры антенны на источник сигнала. Однако они дороги и сложны в изготовлении и эксплуатации, им требуется первоначальная калибровка для корректной работы. Применение активных ФАР сделало бы носимые и возимые терминалы связи или передачи данных дорогими и сложными в изготовлении.

В связи с недостатками имеющихся антенных систем рассмотрен вариант, сочетающий в себе достоинства ФАР и более простых направленных антенн. А именно систему, способную обеспечивать коэффициент усиления соответствующий тому, что можно получить в среднем от направленной антенны, но при этом не нуждающуюся в системах ориентации главного лепестка диаграммы направленности на источник сигнала. В отличие от ФАР такая система не требует первоначальной фазировки, а также должна работать

независимо от того, как именно изменилось положение источника и приемника информации друг относительно друга в течение сеанса связи.

В ходе решения данной задачи было выполнено следующее: осуществлен теоретический расчет кольца фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) для абонентского терминала мобильной системы подвижной спутниковой связи «Гонец - Д1М»; проведено имитационное моделирование кольца ФАПЧ; исследованы его основные характеристики, такие как время вхождения в режим синхронизма, установившаяся ошибка слежения за фазой, динамическая ошибка слежения за фазой, при различном характере изменения частоты входного сигнала, шумовая ошибка слежения за частотой и фазой входного сигнала, при различном отношении сигнал/шум на входе кольца.

На основании модели кольца ФАПЧ построена имитационная модель схемы межканальной фазовой синхронизации, которая позволяет, при использовании системы из  $N$  вибраторов, когерентно складывать сигналы с каждого элемента антенной системы, тем самым увеличивая мощность сигнала на входе демодулятора, что как следствие приводит к уменьшению вероятности битовой ошибки.

Для системы «Гонец - Д1М» разработана блок-схема линейного тракта абонентского терминала с блоком обработки сигналов для последующего когерентного сложения колебаний, снятых с антенной системы из четырех полуволновых вибраторов.

В процессе работы доказана реализуемость цифровой диаграммообразующей системы на основании колец ФАПЧ, не нуждающейся в первоначальной фазировке или использовании алгоритмов расчета траектории движения спутников при работе с орбитальными источниками сигнала.

### **Математическое моделирование бортовых антенн космических аппаратов с учётом дифракции**

Гаджиев Э.В.<sup>1)</sup>, Кондратьева С.Г.<sup>2)</sup>, Овчинникова Е.В.<sup>2)</sup>

Научный руководитель – Воскресенский Д.И.

<sup>1)</sup> НИИЭМ, г. Истра, <sup>2)</sup> МАИ, г. Москва

Как известно, корпус космического аппарата (КА), как и его составные части (откидные элементы конструкции, бортовая целевая аппаратура, солнечные батареи, гравитационные штанги и т.д.), в случае слабонаправленных или остронаправленных антенн, активно участвуют в процессе формирования излучённого поля. Следовательно, оказывают заметное влияние, как на входное сопротивление антенны, так и на её направленные свойства. Поэтому необходимо учитывать влияние самого КА на характеристики антенн при их разработке.

Применение строгой теории для решения задачи определения влияния дифракции на характеристики направленности бортовой антенны требует точного определения поля излучения антенны.

На практике, в большинстве случаев, данная электродинамическая задача не может быть решена из-за того, что:

- поверхность КА, как правило, обладает сложной геометрической формой и часто не совпадает по форме с координатными поверхностями ни

одной из трёх систем координат, в которых известно решение электродинамической задачи;

- на поверхности КА расположено большое количество бортовой целевой аппаратуры различной формы и конфигурации, наличие которой также усложняет решение электродинамической задачи.

Поэтому возникает необходимость разработки приближённого (упрощённого) решения, позволяющего с достаточной степенью точности определить электрические параметры антенны. Например, на этапе проектирования антенной системы КА при выборе типа применяемой антенны и её месторасположения на поверхности КА, важно иметь ориентировочные данные об ожидаемых электрических параметрах бортовой антенны.

Математический метод основан на том, что корпус КА может быть с достаточным приближением аппроксимирован поверхностью правильной геометрической формы. Такая замена имеет смысл лишь в том случае, когда для аппроксимирующей поверхности известно решение соответствующей граничной задачи электродинамики.

На выбор аппроксимирующей поверхности могут оказать влияние следующие факторы:

- геометрическая форма корпуса КА;
- расположение излучателя на корпусе КА;
- относительные (в длинах волн) размеры той части корпуса, на которой расположен излучатель;
- сектор углов, в котором определяется поле излучения;
- тип излучателя, его относительные размеры и распределение тока на нем.

В данной работе рассмотрен вариант расчёта влияния дифракции на бортовую микрополосковую (печатную) антенну малых КА. В ходе расчёта использован метод собственных функций.

## **Антенные решётки систем спутникового телевидения**

Фам Ван Винь

Научный руководитель – Овчинникова Е.В.

МАИ, г. Москва

На современном этапе развития систем спутникового телевидения возникает необходимость совершенствования конструкций и улучшения технических характеристик передающих и приемных телевизионных антенн. Непрерывное увеличение информационной емкости телевизионных каналов также способствует модернизации антенн, применяемых в системах спутникового телевидения. Одним из важнейших требований к антеннам является их компактность, а также небольшие значения массы и габаритов. Широко применяемые на практике параболические зеркальные антенны с механическим или электромеханическим сканированием требуют применения громоздких поворотных устройств, имеют значительные продольные габариты, а также чувствительны к осадкам и воздействию окружающей среды. Поэтому перспективным направлением является разработка антенных решеток (АР) спутникового телевидения.

Первые АР для приема программ со спутника появились в 70-х годах после запуска спутников «Москва», «Экран», «Радуга» и «Молния». Они имели лучшие массогабаритные характеристики по сравнению с зеркальными антеннами (ЗА), и обладали более высокой устойчивостью к воздействию изменения параметров окружающей среды. Однако повышение требований к качеству принимаемых сигналов требует расширения частотного диапазона антенной системы. Непрерывно меняются и требования к компактности антенной системы, а также к ее массогабаритным параметрам.

Конструкции современных антенных систем спутникового телевидения должны быть легкими и удобными для крепления на зданиях и внутри помещений. Системы спутникового телевидения также широко применяются на подвижных объектах. При этом антенны, устанавливаемые на подвижном объекте, должны обеспечивать устойчивый прием сигнала при изменении ракурса объекта. Основным требованием, предъявляемым к таким системам, является обеспечение высокого энергетического потенциала. Поэтому большая часть рассматриваемых антенных решеток, устанавливаемых на автомобилях, самолетах и поездах, представляет собой активные фазированные антенные решетки (АФАР).

Для расширения сектора обзора применяются также конформные антенные решетки. Бортовые антенные системы спутникового телевидения должны обладать надежностью конструкции, высокой вибропрочностью и устойчивостью к изменениям параметров окружающей среды. Эти требования, в основном, определяются технологией изготовления антенны.

Широкое применение нашли плоские антенные решетки из печатных излучателей, так как они обладают технологичностью, а также малыми массогабаритными и стоимостными характеристиками. Однако существуют некоторые недостатки плоских антенных решеток: они имеют сравнительно узкую рабочую полосу частот и большие потери в распределительной системе. В настоящее время возникает необходимость в расширении функциональных возможностей систем спутникового телевидения. Перспективным направлением является разработка низкопрофильных антенных модулей с малыми потерями. В последнее время интенсивно ведутся исследования таких антенных систем, как в России, так и за рубежом.

В докладе приведены конструкции, описания и результаты исследования характеристик направленности АР различных типов, являющихся аналогом зеркальных антенн.

## **Особенности частотного планирования бортовых РЭС для целей обеспечения их ЭМС**

Васин А.А., Короткова К.М.

Научный руководитель – Пономарёв Л.И.

МАИ, г. Москва

В последние годы наблюдается интенсивное увеличение числа радиоэлектронных средств (РЭС) различного назначения, используемых на борту самолетов. Причем каждое РЭС имеет собственную антенную систему для выхода в эфир. Число антенн для различных типов самолетов может достигать

нескольких десятков, а в некоторых случаях до сотни [1]. При этом РЭС, расположенные на самолете, находятся в ограниченном объеме, определяемом геометрией и размерами борта. В результате при одновременной работе они создают значительный уровень непреднамеренных помех друг другу по антенному каналу. Поэтому проблема их электромагнитной совместимости (ЭМС) является чрезвычайно важной и актуальной.

В настоящей работе рассматривается алгоритм анализа электромагнитной обстановки для  $N$  различных РЭС, размещенных на борту самолета. В ходе имитационного моделирования параметры отдельных РЭС задавались по случайному закону в границах, определенных на основе обзора литературы. В соответствии с разработанным алгоритмом на выходе линейной части приемного устройства каждой РЭС определяется уровень дополнительных непреднамеренных помех, возникающих из-за излучений передающих устройств соседних РЭС. Для принятия решения об электромагнитной совместимости отдельных РЭС используется энергетический подход [2].

Для расчета уровня мощности дополнительных помех на входе РЭС от соседних РЭС необходимо знать параметры антенно-фидерных устройств не только в рабочей полосе частот. Для оценки коэффициентов усиления антенн на нерабочих частотах используется два подхода: 1) использование приближенных аналитических выражений, приведенных в [3]; 2) использование метода статистического усреднения [4] большого числа антенн с различной направленностью.

В случае нарушения ЭМС бортовых систем предлагается использовать алгоритм уменьшения области пересечения полос пропускания радиоприемных устройств и полос излучения радиопередающих устройств за счет оптимального выбора частотного плана каждой из конфликтующих РЭС. При этом рассматриваются области пересечения основных и побочных каналов излучения и приема (включая излучение и прием на гармониках и субгармониках), а также интермодуляционных и иных каналов приема. Предложенный алгоритм позволяет провести оптимизацию частотного плана бортового радиотехнического комплекса в целом для обеспечения совместной работы нескольких десятков РЭС при условии, что каждая РЭС имеет порядка десяти каналов приема и излучения.

Литература.

- 1) Пономарев Л.И., Степаненко В.И. Методы обеспечения ЭМС излучающих систем. М.: Изд-во МАИ. 1990.
- 2) Седельников Ю.Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Казань: ЗАО «Новое знание». 2006.
- 3) Феоктистов Ю.А., Матасов В.В., Башурин Л.И., Селезнев В.И. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / под ред. Ю.А. Феоктистова. М.: Радио и связь. 1988.
- 4) Уайт Д.Р.Ж. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып. 1. Общие вопросы ЭМС. Межсистемные помехи / пер. с англ. М.: Сов. радио. 1977.

## Волноводно-щелевая решётка Ku-диапазона длин волн

Харалгин С.В.

Научный руководитель – Добычина Е.М.

МАИ, г. Москва

В состав бортового оборудования беспилотного летального аппарата (БЛА) должна входить многофункциональная радиолокационная система (МРЛС), используемая для решения широкого круга задач. Важнейшей составной частью радиолокатора является антенна. Использование в БЛА антенных решеток (АР) с электрическим сканированием нецелесообразно, так как для них требуется большое число фазовращателей, протяженные высокочастотные тракты, делители мощности, что увеличивает потери в антенной системе и фазовые ошибки в ее раскрыве, а также приводит к повышению стоимости и уменьшению коэффициента усиления.

АР с механическим сканированием, судя по публикациям, широко используются в бортовой аппаратуре, где на первое место выходят требования высокой надёжности, низкой стоимости, устойчивости к механическим воздействиям. Кроме того, для БЛА необходимо минимизировать размеры и массу всей радиолокационной системы. Поэтому для МРЛС Ku-диапазона длин волн выбрана волноводно-щелевая антенная решетка (ВЩАР) с механическим сканированием луча.

Режим работы МРЛС – моноимпульсный. Основное преимущество этого метода перед другими радиолокационными методами заключается в повышении точности угловых измерений. Техническим средством реализации моноимпульсного режима является формирование внутри антенной системы трех каналов обработки сигнала – суммарного и двух разностных: угломестного и азимутального.

Исходными данными для разработки антенной системы, помимо частотного диапазона, являлись низкий уровень боковых лепестков – минус 23 дБ и узкая диаграмма направленности (ДН), особенно в азимутальной плоскости. Сложности в проектировании возникли из-за ограничений на габаритные размеры ВЩАР. Известные амплитудные распределения однозначно связывают ширину ДН и габаритные размеры антенны, но рассчитанные по исходным данным габариты АР слишком велики для БЛА. Поэтому решалась задача численной оптимизации амплитудного распределения, уменьшения количества щелей в излучающем слое и дальнейшего пересчета в ДН.

Для соответствия АР указанным требованиям, при строго ограниченных габаритах, было синтезировано неравномерное амплитудное распределение, спадающее к краям апертуры. Это усложнило проектирование антенны, поскольку расстояние между щелями в азимутальной плоскости и их размер стали переменными в зависимости от положения щели на излучающей поверхности.

Недостатком ВЩАР является ограниченность диапазоновых свойств, поэтому согласование антенны с питающей линией в заданной полосе частот представляет собой сложную задачу. Решить её и обеспечить получение требуемых характеристик направленности АР позволяют современные методы



электродинамического моделирования. Трехмерное моделирование ВЦАР было проведено в специализированной программной среде.

Расчет апертуры АР проводился с помощью энергетического метода, не учитывающего взаимного влияния щелей по внешнему и внутреннему пространству. Более точный расчет проводится методом рекуррентных соотношений, который учитывает взаимное влияние щелей и обеспечивает наилучшую реализацию заданного амплитудного распределения.

Разработанная АР представляет собой многослойную конструкцию, в излучающем слое которой расположены щели, а в других слоях реализована распределительная система. Исследования проведены в рамках темы 50330-00550.

### **Экспериментальное исследование цифрового диаграммообразования**

Мезин В.Р., Пышненко А.В., Снастин М.В.

Научный руководитель – Добычина Е.М.

МАИ, г. Москва

Цифровая антенная решетка (ЦАР) представляет собой целостную структуру, способную наряду с традиционными антенными функциями принимать решения, то есть адаптироваться к окружающей помеховой обстановке. В системах с ЦАР могут быть реализованы режимы автоматической калибровки, тестирования и автоподстройки. Применяемое в ЦАР цифровое диаграммообразование (ЦДО) позволяет выполнять широкий спектр задач. Радиолокационная станция с ЦАР способна обеспечить многосигнальный прием. Антенны могут работать в различных режимах, в зависимости от решаемых задач, а управление ими осуществляется с помощью компьютера.

ЦАР имеют более высокую чувствительность и помехозащищенность по сравнению с аналоговыми фазированными антенными решетками. Учитывая текущий уровень развития цифровой обработки сигналов, это делает ЦАР перспективным направлением развития антенной техники в части комплексирования различных систем и минимизации массогабаритных показателей, например на борту летательного аппарата.

В приемной ЦАР каждое колебание с выхода излучателя подвергается временной дискретизации и преобразуется в последовательность выборок. Эти выборки квантуются и в виде цифрового кода одновременно поступают в модуль ЦДО. Временные выборки берутся в соответствии с теоремой Котельникова, согласно которой функция с ограниченным спектром может быть восстановлена по отсчетам, следующим с частотой, как минимум вдвое превышающей полосу сигнала. Таким образом, если полоса информационного сигнала много меньше несущей частоты, то частота дискретизации в системе может быть существенно ниже несущей.

Модуль ЦДО сравнивает поступающие выборки с эталонными значениями для заданного амплитудно-фазового распределения антенны. В результате принимается решение о наличии щелей. Для управления формой и положением диаграммы направленности ЦАР в каждый канал обработки вводятся

амплитудные и фазовые весовые коэффициенты в виде дополнительного цифрового кода.

Для понимания процесса цифрового формирования диаграммы направленности, была рассмотрена модель приемной линейной решетки, состоящей из эквидистантно расположенных излучателей. Падающая на решетку электромагнитная волна возбуждает в каждом излучателе собственное колебание. Принимаемый сигнал является функцией не только времени, но и угла прихода.

Для подтверждения возможностей ЦДО в безэховой камере собрана экспериментальная установка, позволяющая воспроизводить процесс пеленгации и расчета углового положения имитатора цели. Исследования представляли собой дискретные измерения комплексного коэффициента передачи между излучающей антенной и каждым элементом линейной решетки при разных углах прихода относительно плоскости решетки. Приемная решетка моделировалась линейным перемещением измерительного зонда на антенном позиционере. Излучатель устанавливался в дальней зоне приемной антенны. В результате обработки экспериментальных данных сформирована цифровая диаграмма направленности модели приемной ЦАР. Подтверждена возможность цифрового электрического сканирования в пространстве и высокоточного определения угловой координаты цели. Получены экспериментальные данные для подтверждения возможности проведения самокалибровки антенной системы.

Исследования проведены в рамках выполнения госзаказа «Обеспечение проведения научных исследований» по теме № П4333-04000, а также в рамках ОКТР по теме № 50330-00550.

### **Пеленгование и сверхразрешение многолучевых сигналов с использованием линейных и кольцевых антенных решёток**

Васин А.А., Руснак А.В.

Научный руководитель – Пономарёв Л.И.

МАИ, г. Москва

Проблема углового разрешения и пеленгования многолучевых сигналов является весьма актуальной. К этой проблеме сводится решение многих задач, таких как разделение и независимая обработка каждого из сигналов на выходе N-канальной антенной решетки (АР) с последующим определением параметров (угловых координат и спектральных характеристик) многолучевых сигналов, а также использование этой информации для высокоточного определения местоположения источников излучения. Подобные задачи возникают во многих современных разведывательных, связных, навигационных и локационных радиосистемах, а также при осуществлении радиомониторинга окружающего пространства. Известно большое число работ, посвященных этой тематике, однако дальнейший рост требований к точности определения параметров многолучевых сигналов и усложнение сигнально-шумовой обстановки стимулируют совершенствование алгоритмов пеленгования и углового сверхразрешения.

Как правило, многолучевые сигналы являются коррелированными с различной степенью корреляции, которая заранее не известна. Это обстоятельство существенно осложняет определение параметров сигналов при их многолучевом распространении. В настоящей работе рассмотрена задача пеленгования произвольно коррелированных сигналов с использованием линейных и кольцевых антенных решеток с помощью алгоритма, изложенного в [1] и основанного на спектральном разложении корреляционной матрицы совокупности падающих сигналов по собственным значениям и векторам.

Представлены результаты исследования зависимости точности пеленгования и разрешения многолучевых сигналов при помощи указанного алгоритма от размеров АР, отношения мощности сигналов к мощности шума на входе излучателей, временного интервала наблюдения сигнала (числа временных выборок), а также от углового расстояния между направлениями прихода сигналов и соотношения их амплитуд. Результаты имитационного моделирования оформлены в виде графиков и таблиц.

Определено влияние корреляции двух сигналов, а также параметров антенной решетки и сигнально-помеховой обстановки на величину углового разрешения сигналов в следующих случаях:

- на вход АР поступает два сигнала, направление прихода одного из которых известно точно;
- на вход АР поступает два сигнала, направления прихода которых неизвестны. По результатам проведенного моделирования выполнено сравнение границы углового разрешения двух сигналов с помощью кольцевой и линейной антенных решеток.

Литература.

1) Пономарев Л.И., Степаненко В.И. Методы обеспечения ЭМС излучающих систем. М.: Изд-во МАИ. 1990.

2) Седелников Ю.Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Казань: ЗАО «Новое знание». 2006.

3) Феоктистов Ю.А., Матасов В.В., Башурин Л.И., Селезнев В.И. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / под ред. Ю.А. Феоктистова. М.: Радио и связь. 1988.

4) Уайт Д.Р.Ж. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып. 1. Общие вопросы ЭМС. Межсистемные помехи / пер. с англ. М.: Сов. радио. 1977.

## **Методика построения приёмного тракта активной фазированной антенной решётки СВЧ диапазона**

Осипова Т.В.

Научный руководитель – Савилкин С.Б.

МАИ, г. Москва

Построение приемного тракта активной фазированной антенной решетки (АФАР) представляется задачей более сложной чем построение передающего тракта и характеризующейся многообразием путей реализации.

При разработке методики построения приемного тракта были выбраны следующие исходные данные к проектируемой АФАР СВЧ диапазона.

АФАР должна иметь возможность работы как на прием, так и на передачу, причем работа на прием и передачу должна вестись одновременно с разносом по частоте в пределах СВЧ диапазона.

АФАР должна быть многоканальной как по приемному, так и по передающему тракту с независимым формированием диаграммы направленности (ДН) в каждом канале, т.е. антенна должна быть многолучевой.

На конструкцию АФАР наложены весьма существенные массогабаритные ограничения, особенно жесткие применительно к толщине решетки.

Сформулируем два крайних варианта реализации построения подобных антенн:

- Традиционная АФАР. Ее принципиальными особенностями является наличие аппаратных аналоговых фазовращателей (ФВ).
- Полностью цифровая АФАР. При этом в понятие «полностью цифровая» вкладывается смысл того, что все алгоритмы работы АФАР, должны быть реализованы цифровыми методами.

Проведя анализ достоинств и недостатков обоих вариантов, можно сделать вывод о том, что полностью цифровая АФАР, безусловно, имеет множество преимуществ и является перспективным направлением развития. Но, к большому сожалению, на современном этапе развития электронной компонентной базы (ЭКБ) подобная полностью цифровая АФАР вряд ли может быть реализована для работы в СВЧ диапазоне.

Выходом из создавшегося положения может быть реализация некоторого промежуточного варианта. Подобную АФАР условно можно назвать комбинированной аналого-цифровой антенной.

На основании вышеизложенного, можно сформулировать общие положения методики построения приемного тракта АФАР:

- Антенна должна быть частично цифровой, где цифровыми методами производится управление частотой и фазой сигналов.
- Управление фазой следует проводить в одном из гетеродинов, и желательно – в первом.
- Приемник имеет двойное преобразование частоты, в котором первая промежуточная частота (ПЧ) имеет порядок 200 – 400 МГц, а вторая ПЧ – примерно 20 – 40 МГц.
- Суммировать сигналы следует на весьма низкой второй ПЧ аналоговыми методами.

На основании описанных подходов будет разработана схема построения приемной части АФАР.

### **Поэлементная диагностика технического состояния дефектных и потенциально дефектных излучателей фазированной антенной решетки**

Исмаилов В.Т., Кузнецов Г.Ю.

Научный руководитель – Темченко В.С.

МАИ, г. Москва

Проектирование, изготовление, настройка и эксплуатация фазированных антенных решеток (ФАР) требует от разработчиков решения широкого спектра

задач, включающих создание измерительной аппаратуры, его программного обеспечения, разработку методов калибровки и диагностики. Результаты решения задач диагностики позволяют оценить техническое состояние тестируемой ФАР и определить насколько ее характеристики и параметры отличаются от требуемых, например от бездефектной (базовой) ФАР. Это может быть обусловлено изменением характеристик, а также отказом одиночных, групп излучателей и излучателей в подрешетках ФАР, включающих управляемые фазовращатели (ФВ), переключатели и электронные устройства управления. Для решения задачи диагностики, настройки (калибровки) ФАР используют коммутационные методы или методы переключений, включающие измерение электромагнитного (ЭМ) поля неподвижным зондом в ближней зоне (БЗ) или дальней зоне (ДЗ). При этом алгоритмы включают переключения состояний всех ФВ, из которых большинство рабочих и лишь небольшая часть ФВ дефектных (нерабочих), а эффективность и точность алгоритмов при последующей обработке данных измерений для больших многоканальных ФАР будут снижаться.

В ряде случаев для решения задачи диагностики используют практически полный набор данных измерений ЭМ поля, регистрируемый зондом в БЗ на замкнутой или ограниченной поверхности (как правило плоской, цилиндрической или сферической). Для решения указанной задачи могут также использоваться результаты измерений в дальней зоне (ДЗ). Итоговое решение задачи диагностики, как правило, включает реконструкцию распределения амплитуды и фазы возбуждающих токов каждого излучателя тестируемой антенны (ТА), выявления дефектных (неисправных) излучателей, определения их координат, классификация неисправностей и последующая их коррекция. Знание амплитудно-фазового распределения позволяет определить полевые характеристики ФАР в дальней зоне (ДЗ).

В настоящее время, наряду с традиционными методами, активно развиваются методы диагностики ФАР, основанные на методе «опознание со сжатием» (Compressed Sensing, CS). Использование таких методов позволяет существенно сократить массив проведенных измерений в БЗ или ДЗ по сравнению с традиционными методами при условии, что число дефектных элементов  $K$  достаточно мало по сравнению с общим числом  $N$  элементов тестируемой ФАР.

В докладе рассмотрен рациональный подход, направленный на повышение достоверности диагностики многоэлементной линейной ФАР, который реализуется в два этапа. На первом этапе на основе метода опознание со сжатием, использующего неполные наборы данных в одинаковых точках измерений БЗ, тестируемой ФАР и полностью совпадающей с ней бездефектной калиброванной (базовой) ФАР, излучатели тестируемой ФАР условно разделяют на группу рабочих и дефектных. При этом в любую из групп могут с высокой вероятностью включены потенциально дефектные (ПД) излучатели тестируемой ФАР. На втором этапе для повышения достоверности диагностики излучателей тестируемой ФАР на основе поэлементной реконструкции АФР ПД излучателей, включающей определение фазы и амплитуды источников возбуждения элементов ФАР, затем на основе заданного критерия и разработанного алгоритма осуществляют их сортировку на рабочие или дефектные.

В докладе приведены результаты численного моделирования реконструкции АФР ПД и дефектных излучателей: определение фазы и амплитуды источников возбуждения, что позволяет осуществлять достоверную диагностику многоэлементной ФАР ( $N \geq 100$ ).

### **Исследование характеристик направленности бортовых антенн космических аппаратов на ранней стадии разработки путём компьютерного моделирования**

Гаджиев Э.В.<sup>1)</sup>, Овчинникова Е.В.<sup>2)</sup>, Шмачилин П.А.<sup>2)</sup>

Научный руководитель – Воскресенский Д.И.

<sup>1)</sup> НИИЭМ, г. Истра <sup>2)</sup> МАИ, г. Москва

В настоящее время перед разработчиками СВЧ аппаратуры ставят все более и более сложные задачи. При этом на разработку комплексной системы требуется большее количество времени.

Процесс проектирования электродинамических моделей некоторых систем или устройств в современных программных комплексах расчета антенн и устройств СВЧ позволяет ускорить разработку, благодаря использованию возможностей программирования, предоставляемых самими системами автоматизированного проектирования (САПР) СВЧ, а также посредством обеспечения взаимодействия ответствующих программ с математическими пакетами (Matlab) и другими внешними программами (Solid Works).

На сегодняшний день существует целый ряд САПР для моделирования антенн и устройств СВЧ:

- CST Microwave Studio;
- Ansoft High Frequency Structure Simulation (HFSS);
- EMSS FEKO;
- AWR Microwave Office;
- Agilent Advanced Design System (ADS);
- Agilent Electromagnetic Professional (EMPro) и др.

Компьютерные программы автоматизации проектирования основаны на численном решении уравнений Максвелла в частотной или временной области. Рядом фирм разработаны универсальные программы для решения внутренних и внешних задач, основанные на методах численного решения уравнений Максвелла в частотной области.

К этим методам можно отнести:

- FEM (Finite Element Method) – метод конечных элементов;
- FIT (Finite Integration Technique in Frequency Domain) – метод конечных интегралов в частотной области;
- МоМ (Method of Moment) – метод моментов;
- PO (Physical Optics approximation) – метод физической оптики;
- UTD (Uniform Theory of Diffraction) – однородная теория дифракции;
- FFT (Fast Fourier Transform and modified spectral-domain method of moments) – метод моментов, модифицированный для спектральной области на основе быстрого преобразования Фурье.

Численное решение уравнений Максвелла во временной области развито в методах:

- FDTD (Finite Difference Time Domain) – конечно-разностный метод во временной области;
- FIT (Finite Integration Technique in Time Domain) – метод конечных интегралов во временной области.

В докладе рассматриваются модели бортовых микрополосковых антенн космических аппаратов и результаты исследования их характеристик направленности с помощью специализированных программ.

## **Продольные коаксиально-волноводные переходы для волноводных излучателей АФАР X-диапазона**

Бронников Д.В.

Научный руководитель – Багно Д.В.

МАИ, г. Москва

При использовании в современной АФАР X-диапазона излучающего элемента в виде открытого конца полого металлического волновода прямоугольного сечения, обладающего рядом преимуществ перед излучателями других типов, требуются технические решения, обеспечивающие его подключение к приемопередающему модулю.

В докладе рассматривается возбуждение волноводного излучателя со стороны его тыльного короткозамкнутого торца через радиочастотный соединитель с применением герметичных вводов на основе металлостеклянного спая. Такой способ подключения обеспечивает удобство сборки и разборки системы излучения, причем устройство возбуждения не выходит за поперечные габариты излучателя, что необходимо для плотной компоновки элементов антенной решетки. Для осуществления такого подключения требуются устройства сопряжения, образующие соосное соединение коаксиального ввода и излучающего волновода – продольные коаксиально-волноводные переходы (КВП). Продолжающееся совершенствование конструкций таких КВП стимулируется ужесточением технических требований к системе излучения, внедрением новых технологий производства и эффективных средств электродинамического моделирования.

Рассмотрены электродинамические модели и проведён анализ радиотехнических характеристик нескольких устройств сопряжения и вариантов их реализации: короткозамкнутых КВП с возбуждением продольной L-образной петлей, выполненной на печатной плате; ступенчатых КВП на согласующих секциях H- и П-волноводов; КВП с несколькими типами помещенных в волновод зондов и печатных излучателей специальной формы.

Для оценки влияния качества согласования КВП на интегральные характеристики системы излучения приведены результаты моделирования КВП совместно с излучателем в модели бесконечной антенной решетки. Для контроля достоверности расчет характеристик каждой модели выполнен методами FDTD и FEM с последующим сравнением результатов между собой. Для оптимизации параметров моделей использовались генетический алгоритм и симплекс-метод Нелдера-Мида.

## **16-ти канальный коаксиально-волноводный сумматор мощности на основе Т-щелевых направленных ответвителей**

Боловин А.А., Конов К.И.

НПО «ЛЭМЗ», г. Москва

Интенсивное развитие элементной базы для твердотельной СВЧ электроники, которая применяется, в том числе, при схемотехнической реализации распределительно-суммирующих систем (РСС), предназначенных для работы в составе передающей аппаратуры наземных РЛС, основанных на принципе усиления мощности зондируемого сигнала, создает новые возможности разработки широкополосных многоканальных сумматоров и делителей мощности (СМ и ДМ). При этом выходной уровень импульсной СВЧ мощности современных передающих устройств может достигать нескольких десятков кВт (при скважности менее 10), что исключает возможность построения СМ РСС в коаксиальном, полосковом или микрополосковом исполнениях. В данной работе рассматривается энергетически прочный СМ, соответствующий современным техническим и конструктивным требованиям.

СМ выполнен в виде коаксиально-волноводного устройства бегущей волны на основе последовательной схемы с полным выводом мощности без применения оконечной поглощающей нагрузки в магистральной волноводной линии. Последовательный ввод СВЧ мощности от УМИ в магистральную линию СМ осуществляется через вторичные линии 15-ти Т-щелевых направленных ответвителей (НО), имеющих переходные ослабления от минус 12 дБ до минус 3 дБ. Конструкция такого НО представляет собой два параллельных волновода, связь которых осуществляется через продольную и поперечную щели, образующих Т-образное окно в общей широкой стенке волноводов. Применение Т-щелевых НО обеспечивает возможность конструктивного исполнения сумматора в виде двух алюминиевых пластин, в которых на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), производится фрезерование волноводных каналов и щелей НО. Стыковка пластин производится вдоль плоскости, являющейся плоскостью симметрии внутренних волноводных каналов, перпендикулярной их широкой стенке. Сумматор имеет волноводный выход, 16 коаксиальных входов и 15 балансных коаксиальных выходов, подключаемых к поглощающим нагрузкам. Коаксиальные входы и выходы сумматора организованы на основе коаксиально-волноводного перехода с емкостной связью, состоящего из изолятора, контакта и корпуса, которые сопрягаются с вторичными линиями НО после фрезеровки и сборки алюминиевых пластин.

Анализ и оптимизация электродинамической модели сумматора производились в специализированном программном пакете, методом конечных элементов. На основе оптимизированной модели был изготовлен опытный образец сумматора. Экспериментально измеренные характеристики изготовленного опытного образца имеют хорошее совпадение с результатами, полученными при моделировании.

С целью унификации конструкции передающего устройства, предлагаемый СМ, в силу свойств симметрии, может быть использован и в качестве ДМ.



## Моделирование апертурных антенн в среде программирования LabVIEW

Дель А.Е., Шаламова Ю.А., Шлык А.И.  
Научный руководитель – Патрикеев О.В.  
Иркутский филиал МГТУ ГА, г. Иркутск

Для повышения наглядности процесса построения диаграмм направленности апертурных антенн и двумерных (плоскостных) антенных решёток, а также для упрощения и ускорения анализа их характеристик, в среде программирования LabVIEW [1] разработана программа моделирования апертурных антенных систем.

Разработанные математические модели апертурных антенн и двумерных антенных решёток, позволяют изменять распределение поля в раскрыве антенны и геометрические параметры конструкции антенных систем: размер и форму излучающего раскрыва.

При моделировании двумерных антенных решёток дополнительно можно изменять тип, характеристики направленности излучающих элементов и параметры их источников питания: амплитуду, частоту и фазу питающих токов или напряжений. На основании анализа заданной совокупности параметров программа моделирования позволяет строить диаграммы направленности антенной системы в плоскостях векторов электрического  $E$  и магнитного  $H$  полей и определять их характеристики.

Программа имеет удобный и простой внешний интерфейс, позволяющий вводить исходные данные и отображать результаты моделирования в виде графиков в полярных и декартовых координатах. В качестве источников излучения при моделировании апертурных антенн можно выбирать элементарный излучатель Гюйгенса, представляющий собой элементарную излучающую поверхность (участок фронта плоской электромагнитной волны) [2]. Учитывая, что размеры элементарного излучателя намного меньше длины волны, при моделировании апертурных антенных систем соизмеримых с длиной волны используется представление этих систем в виде совокупности элементарных излучателей Гюйгенса.

Структура программы модульная, что позволяет легко её модернизировать и расширять её функциональные возможности, путём добавления новых модулей, позволяющих определять дополнительные параметры антенной системы, создавать новые типы излучателей для моделирования более сложных антенных решёток (например, трёхмерных) или строить трёхмерные графики диаграмм направленности.

В основу математической модели положен принцип Гюйгенса: каждый элемент поверхности раскрыва антенны представляет собой элементарный источник электромагнитных волн – излучатель Гюйгенса с заданными характеристиками поля излучения [2]. Поля этих источников интерферируют в пространстве и формируют в дальней зоне поле излучения, которое определяет диаграмму направленности апертурной антенны и зависит от амплитуды, частоты и фазы токов, питающих эти источники. Производя интегрирование по замкнутому объёму в сферической системе координат, при заданном распределении поля в раскрыве апертурной антенны, можно определить её поле

излучения в дальней зоне, построить диаграмму направленности исследуемой антенны и определить её характеристики.

Разработанная программная модель используется в учебном процессе при проведении лекционных и практических занятий по дисциплинам: «Электродинамика и распространение радиоволн», «Антенны и устройства СВЧ».

Литература.

LabVIEW для всех/ Дж. Тревис: пер. с англ. Клушин Н.А. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 544 с.

А. С. Лавров, Г. Б. Резников. Антенно-фидерные устройства.- М.:Сов. радио, 1974. – 368 с.

## **Современное положение проблем построения цифровых антенных решёток и их модернизации**

Шумилов Т.Ю.

Научный руководитель – Воскресенский Д.И.

МАИ, г. Москва

В настоящее время существует потребность в широкополосных, диапазонных и сверхширокополосных фазированных антенных решетках, обеспечивающих работу в несколько октав. Элементы, на которых строятся фазированные антенные решетки, такие как фазовращатели, направленные ответвители и мосты, не обладают широкой полосой. Для построения широкополосных сканирующих антенн необходимо использовать другой подход, при котором формирование и управление лучом осуществляется временными методами. Для его реализации целесообразно перейти к активным фазированным решеткам (АФАР), которые более надежны и способны управлять усилением индивидуальных приёмно-передающих модулей. Однако в современных АФАР применение аналоговых методов преобразования сигнала приводит к появлению ряда дестабилизирующих факторов.

В связи с этим создание цифровых антенных решеток (ЦАФАР) является одним из наиболее важных направлений настоящего времени. Развитие антенных систем непосредственно связано с наличием элементной базы обработки сигнала. В ходе модернизации элементной базы цифровой обработки сигнала, включающей в себя устройства ЦАП/АЦП, цифровых сигнальных процессоры и программируемые логические интегральные схемы, повышалось быстродействие, увеличивались тактовые частоты и разрядность.

Так как в цифровых антенных решётках в каждом канале установлен цифровой приёмно-передающий модуль, в котором аналоговая система управления амплитудой и фазой сигнала заменена системой цифрового синтеза и анализа сигналов (ЦАП/АЦП), то быстродействие всей системы во многом напрямую зависит от характеристик ЦАП и АЦП. Проблемы, связанные с быстродействием устройств преобразования, ограничением рабочей частоты, скорости обработки сигнала, синхронизацией. В настоящее время развитие методов цифровой обработки сигналов, а также элементной базы ЦАП и АЦП, ПЛИС, СП и цифровых линий задержки делает возможным реализацию системы ЦАФАР, способной производить прием (передачу) на частотах до 2 ГГц. Но

этого не достаточно для работы в К, Х, С диапазонах частот. Однако прогресс не стоит на месте и тенденции таковы, что в ближайшем будущем появятся ЦАФАР, работающие в С-диапазоне частот

Использование систем с цифровой обработкой сигнала обладает рядом преимуществ:

- Высокая стабильность параметров во времени в сравнении с аналоговыми устройствами.
- Отсутствие затухания сигнала при передаче в связи с особенностями методов цифровой передачи информации.
- Возможность деления сигнала на множество каналов без деления его мощности и внесения искажений и шумов, что обеспечивает многоканальную обработку без потери коэффициента усиления.

В данной работе приведена краткая история ФАР, проведен анализ ЦАР, рассмотрены перспективы развития цифровых антенных решеток, проведено сравнение ЦАР и АФАР, рассмотрены проблемы ЦАФАР и выдвинуты задачи для дальнейших исследований.

### **Модель взаимодействия радиолинии и станции радиоэлектронного подавления**

Тимощев А.С., Труфанов С.В., Швец С.В.

Научный руководитель – Путилин А.Н.

МНИРТИ, г. Москва; НПО «Импульс», г. Санкт-Петербург

Линию радиосвязи, функционирующую в условиях радиоэлектронного подавления, рассматривают как объект управления, находящийся под воздействием двух, управляющих им, субъектов. Это система управления радиолинией и система управления средствами РЭП. Их интересы противоположны (антагонистичны): система управления радиолинией стремится максимизировать эффективность своего функционирования (например - вероятность доставки пакета за установленное время), а система РЭП стремится её минимизировать. Для формального описания исследуемого объекта используется аппарат теории игр и описание рассматриваемого взаимодействия как антагонистической игры с двумя игроками. В зависимости от реализуемых в аппаратуре радиосвязи и РЭП алгоритмов управления стратегии игроков могут быть как динамическими, так и статическими.

Взаимодействие линии радиосвязи и станции РЭП вероятного противника представляем в виде графа функционального взаимодействия линии радиосвязи и станции РЭП (операторного графа). На этом графе определены циклы управления игроков и показатель эффективности функционирования рассматриваемой системы.

В представленной модели предлагается декомпозиция рассматриваемой системы передачи информации на семь составных частей. Объектом исследования является радиолиния, функционирующая в условиях преднамеренного подавления. Она включает в себя передатчик вызывающей радиостанции (ВР) и приемник отвечающей радиостанции (ОР). Радиостанцией (станцией РЭП) называют комплект из радиоприемных, радиопередающих

устройств и вычислительного комплекса (ВК) управления режимами функционирования.

Радиолиния в каждый момент  $t$  находится в одном из состояний  $s(t)$  из множества состояний  $S$ . Состояния объекта могут измениться как вследствие воздействий от системы принятия решений на управление (СПРУ) радиолинией, так и от системы принятия решений на подавление (СПРП), являющейся составной частью станции РЭП.

СПРУ в процессе функционирования может изменять технические характеристики радиолинии: рабочие частоты, скорость передачи, модуляцию, кодирование, скважность передачи и прочее, реализуя тем самым стратегию функционирования радиолинии. СПРП в процессе функционирования изменяет рабочие частоты, скважность воздействия помехи, форму помехового сигнала и прочее, реализуя тем самым стратегию постановки помех. СПРУ принимает решения на основе наблюдения, которые она получает из канала наблюдения (КН) и реализует свои решения через канал управления (КУ). Эти каналы характеризуются: временами задержки в них наблюдаемых состояний, а также операторами преобразования входных состояний в выходные. СПРП принимает решения на основе наблюдения, которые она получает из канала разведки (КР) и реализует свои решения через канал подавления (КП). Эти каналы характеризуются: временами задержки в них наблюдаемых состояний, а также операторами преобразования входных состояний в выходные.

Для уточнения и конкретизации представленной модели рассмотрим топологическую схему взаимодействия радиолинии и станции РЭП, которая включает в себя вычислительные комплексы вызывающей радиостанции, отвечающей радиостанции и станции РЭП, характеризуемые состояниями между вызывающей и отвечающей радиостанциями, вызывающей радиостанцией и станцией РЭП, станцией РЭП и отвечающей радиостанцией, соответственно, а также временем распространения сигнала между парами абонентов.

Приведено формальное описание алгоритма (процесса) однонаправленной передачи информации в радиолинии с её квитируанием по обратной связи (однонаправленный полудуплекс). Оно не нарушает общность рассмотрения, поскольку процесс одновременной встречной передачи информации в радиолинии (дуплекс) сводится к независимому описанию двух взаимонезависимых процессов однонаправленной передачи.

## **Применение giro-ЛБВ в выходных каскадах передатчиков радиоэлектронных средств специального назначения**

**в миллиметровом диапазоне волн**

Давыдов А.Б., Кузина Т.Г., Шароди М.А.

Научный руководитель – Швец С.В.

МНИРТИ, г. Москва

Одним из ключевых показателей радиоэлектронных средств специального назначения является обеспечиваемый ими энергопотенциал (ЭП) с заданным уровнем. Требуемый ЭП обеспечивается при достижении требуемых показателей составных частей передающего тракта – выходного усилителя

мощности (ВУМ), волноводного тракта (ВТ) и антенны. При этом решается комплекс задач, связанных с выбором прибора, работающего в выходных каскадах ВУМ. При решении задачи с учетом современного уровня развития технологии изготовления приборов, способных обеспечить работу в миллиметровом диапазоне волн (ММДВ), предпочтительным вариантом выбора прибора представляется вид вакуумного прибора - гиротронная лампа бегущей волны (гирос-ЛБВ).

Электровacuумный СВЧ усилитель на гирос-ЛБВ высокой мощности представляет собой прибор, предназначенный для усиления электромагнитных колебаний ММДВ. Принцип усиления основан на преобразовании части энергии стационарного электронного пучка в энергию ВЧ колебаний. В гирос-ЛБВ преобразование происходит за счет стимулированного циклотронного излучения электронного потока, в котором частицы движутся по винтовым траекториям во внешнем магнитостатическом поле. На участке электронно-волнового взаимодействия обеспечивается синхронизм между волной электродинамической системы и электронным потоком.

Постоянное магнитное поле, которое обеспечивает транспортировку электронного пучка и его резонансное взаимодействие с усиливаемой электромагнитной волной, создается основным соленоидом. Выбор параметров основного соленоида осуществляется исходя из требований к величине индукции магнитного поля, длине однородного участка, минимальному диаметру внутренней трубы гирос-ЛБВ и минимизации энергопотребления.

Катодный соленоид предназначен для управления электронным пучком путем коррекции величины магнитного поля в прикатодной области. Его конструкция, за исключением размеров, аналогична конструкции основного соленоида. Коллекторная катушка обеспечивает равномерное распределение электронного пучка на поверхности коллектора гирос-ЛБВ. Коллекторная катушка питается переменным трёхфазным током для формирования вращающегося магнитного поля, перпендикулярного оси гирос-ЛБВ.

Система ввода входного сигнала в гирос-ЛБВ обеспечивает трансформацию электромагнитного излучения, поступающего извне, в линейно-поляризованную волну круглого волновода, которая, в свою очередь, преобразуется поляризатором в циркулярно-поляризованную волну необходимого направления вращения. Поляризатор представляет собой отрезок волновода с сечением, плавно переходящим из круглого в эллиптическое и обратно, с ориентацией оси эллипса под углом  $45^\circ$  по отношению к вектору поляризации падающей волны.

Усиленный гирос-ЛБВ СВЧ сигнал представляет собой квазиоптический волновой пучок с гауссовым профилем. Выход усиленного СВЧ сигнала осуществляется со стороны коллекторного конца лампы через керамическое окно, расположенное перпендикулярно оси круглого волновода, ориентированного вдоль оси основного соленоида.

Использование гирос-ЛБВ представляется перспективным при реализации выходных усилителей, которые способны обеспечить требуемый энергопотенциал радиоэлектронных средств специального назначения в ММДВ.

## **Плоский фокусирующий рефлектор для аэрокосмических систем**

Каменев А.В., Пономарёв С.В., Якубов В.П.

Научный руководитель – Якубов В.П.

НИ ТГУ, г. Томск

Для большинства аэрокосмических систем очень важным аспектом является получение мощных сигналов, как на излучение, так и на прием, для обеспечения связи с Землёй. Для этих целей используются различные антенные системы: решетки, фокусирующие зеркала, линзы и т.д. Наибольшее развитие получили параболические рефлекторы, способные фокусировать излучение в одной точке, называемой фокусом. Такие антенны имеют достаточно высокий коэффициент усиления, без использования какого-либо дополнительного оборудования. Причем такое устройство способно работать как для узкополосных, так и для сверхширокополосных сигналов. Это связано с тем, что форма параболоида не зависит от рабочей частоты.

Однако у таких устройств существуют значительные недостатки, связанные с поддержанием точной параболической формы. Использование в космосе самораскрывающихся зонтичных конструкций делает эту проблему более актуальной. Происходят неизбежные деформации, которые связаны с неравномерным нагревом поверхности рефлектора. Таким образом, перед инженерами встаёт непростая задача развёртывания параболического зеркала в открытом космосе.

В данной работе показаны преимущества использования плоского фокусирующего рефлектора, для которого вышеперечисленные недостатки являются несущественными. Такие рефлекторы могут быть получены путём использования зонной теории Френеля. Известно, что открытие либо четных, либо нечетных зон даёт эффект фокусировки. При этом, волны пришедшие от двух соседних зон будут противофазными. Если изменить вклад всех противофазных составляющих, то реализуется синфазное сложение вкладов от всех зон Френеля (четных и нечетных). Это даёт значительное усиление сигнала в точке фокуса.

Зная рабочую частоту приемопередатчика, строится конфигурация зон Френеля и выделяется фрагмент необходимого размера и формы. Это позволяет использовать различные варианты транспортировки и развёртывания на орбите. В частности можно использовать позолоченное сетеполотно, которое будучи натянутым на некоторую окружность будет повторять форму зон Френеля на выделенном фрагменте. Полученная таким образом конструкция путём многократных сворачиваний вокруг определённого диаметра представляет собой напряжённую пружину. Форма пружины представляет собой окружность, диаметр которой может быть уменьшен в десятки раз. Это является существенным аспектом при транспортировке рефлектора на орбиту.

Важной проблемой является очевидное ограничение, связанное с узкополосностью таких зеркал. Как показали проведенные исследования, эта проблема может быть решена путем смещения облучателя рефлектора вдоль линии фокусировки. Таким образом, каждой частоте соответствует некоторая высота над поверхностью рефлектора.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения Соглашения №14.578.21.0073 о предоставлении субсидии.

## **СЕКЦИЯ № 24. Инфокоммуникационные технологии и системы мобильной связи**

Руководитель секции: к.т.н., доцент Важенин Н.А.

---

### **Использование роя беспилотных летательных аппаратов для повышения эффективности сбора и передачи информации на базе технологии WiMAX**

Доценко М.В.  
МАИ, г. Москва

Совершенствование и применение передовых информационных технологий (высокопроизводительные компьютеры, современное программное обеспечение, цифровые системы передачи данных) позволяет решить проблему получения и сортировки большого количества информации. В целях повышения эффективности сбора данных предлагается использование роя беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА).

В работе рассмотрены теоретические действия роя БПЛА в различных областях применения:

- в военно - разведывательной сфере;
- для спасательных операций;
- в телекоммуникационной и социальной сфере.

Для передачи собранных роем данных предлагается использовать телекоммуникационную технологию WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access), разработанной с целью предоставления беспроводной связи на большие расстояния.

Внимание также будет уделено вопросам безопасности в сетях WiMAX из-за легкого доступа подключения к сети.

Основная цель данной программы заключается в разработке и демонстрации беспроводной сети с функциями, обеспечивающими быструю настройку сетевой конфигурации, и с минимальной стоимостью сетевого оборудования. Предполагается, что с уменьшением себестоимости оборудования станет возможным формирование крупных сетей, которые состоят из множества узлов, размещенных с высокой плотностью, и имеют приемопередатчики относительно небольшого радиуса действия. Это позволит значительно увеличить надежность и целостность сети.

Внимание также будет уделено экономической составляющей, а именно:

- общей экономической эффективности проекта;
- социально-экономической эффективности проекта;
- частной коммерческой эффективности проекта для отдельных групп инвесторов.

В работе предлагается использование целого роя БПЛА, который будет сам определять все риски и анализировать обстановку на месте, а учитывая, что речь идет не о паре беспилотников, то обеспечит охват значительной территории. «Кусочки» информации от каждого образца буду собираться вместе подобно паззлу и отправляться на обработку в центр управления.

## Лазерная система связи

Бойко Е.Н

Научный руководитель – Абрамова О.В.

МАИ, г. Москва

Одним из перспективных направлений развития космических систем связи являются системы, основанные на передаче информации с помощью лазерного канала, потому что эти системы могут обеспечить более высокую пропускную способность при пониженном энергопотреблении. Более двадцати пяти лет лазерные системы изучаются для развития космической связи. Однако использование лазерной системы связи имеет, как преимущества, так и свои недостатки, которые ученые стараются решить на Земле, а экипаж Международной Космической Станции в космосе.

В данной работе рассматриваются аспекты развития лазерной системы связи, научные эксперименты и будущие планы по использованию лазера для передачи большого объема информации.

Потенциально системы космической лазерной связи могут обеспечивать исключительно высокую скорость информационного потока – от 10-100 Мбит/с до 1-10 Гбит/с и выше.

Однако существует ряд технических проблем, которые необходимо решить, для реализации лазерных каналов связи между космическим аппаратом (КА) и Землей: необходима высокая точность наведения и взаимное сопровождение на расстояниях от полутьсячи до десятков тысяч километров. Сложное взаимное сопровождение связано также с движением спутников с космическими скоростями. Существенно усложняются принципы приема-передачи информации по лазерному каналу; усложняется оптико-электронная аппаратура: точная оптика, прецизионная механика, полупроводниковые и волоконные лазеры, высокочувствительные приемники.

Эксперименты по реализации систем лазерной связи для передачи больших объемов информации проводятся как в России, так и в других странах. Задачами эксперимента являются: отработка в условиях космического полета основных технологических и конструктивных решений, закладываемых в штатную аппаратуру межспутниковой лазерной системы передачи информации; отработка технологии приема-передачи информации с использованием лазерной линии связи; исследование возможности и условий работоспособности лазерных линий связи «борт КА – наземный пункт» при различном состоянии атмосферы.

Запланированный проект, по созданию группировки современных геостационарных спутников, поможет осуществлять передачу информации между спутниками, космическими кораблями, беспилотниками (БПЛА) и наземными станциями, обеспечивая более высокую скорость по сравнению с традиционными методами передачи данных, даже в условиях природных и техногенных катастроф.

Лазерная связь позволяет передавать данные на гораздо большие расстояния по сравнению с радио. Скорость передачи данных на несколько порядков выше благодаря высокой концентрации энергии и гораздо более высокой несущей частоты.



Сейчас во всем мире существует огромное количество сетей, выполняющих различные функции и решающих множество разнообразных задач, но всегда наступает момент, когда пропускной способности сети становится мало и требуется проложить новые линии связи. Лазерная связь поможет решить эту проблему. Космическая лазерная система связи дает возможность создать единое информационное пространство, которому не будут препятствовать ни физические границы, ни время, ни расстояния.

## **Снижение частоты хэндоверов в системе сотовой связи с переносом ёмкости**

Борисов Ю.Ю.

Научный руководитель – Громаков Ю.А.

МАИ, г. Москва

Принципы сотовой связи предполагают разделение всей зоны обслуживания на множество сот, формируемых базовыми станциями (BS), и передачу обслуживания между сотами (хэндовер) при переходе абонентов из соты в соту. Характеристики хэндовера определяют качество обслуживания абонентов, в тоже время, он сам создаёт значительную сигнальную нагрузку на каналы связи, снижая эффективность системы. Большие размеры сот и невысокая мобильность абонентов определили низкую частоту хэндоверов в сетях первого и второго поколений (1G, 2G) сотовой связи. Однако, с переходом к 3G и 4G, размер сот непрерывно уменьшался, мобильность абонентов росла, что привело к значительному увеличению частоты хэндоверов, актуализируя поиск решений по их снижению.

Наиболее сложной является проблема хэндовера большого количества движущихся одновременно абонентов, находящихся в транспорте и одновременно пересекающих границы сот, создающих «ударную» нагрузку на функции передачи обслуживания. Из-за избыточной нагрузки на сеть, могут происходить отказы в обслуживании абонентов и ухудшаться качество их обслуживания. При этом наличие достаточного свободного частотно-временного ресурса в новой соте не обеспечивает успешность хэндовера для переходящих в неё абонентов, так как для некоторых хэндовер может не успеть завершиться до потери связи со старой сотой, например, из-за перегрузки каналов сигнализации. Дополнительная нагрузка, создаваемая в системе сотовой связи при хэндовере, зависит от принадлежности участвующих в процедуре BS к узлу, принимающему решение о выполнении хэндовера. В системах сотовой связи, соответствующих 3GPP Release 7 и выше, часть функционала по выполнению процедуры хэндовера перенесена из контроллеров радиосети непосредственно в базовые станции, повышая эффективность выполнения хэндоверов между базовыми станциями, относящимися к одному узлу управления мобильностью.

Система сотовой связи с переносом ёмкости является новым решением, которое соответствует действующим стандартам сотовой связи, предполагает изменения топологии сотовой сети и структуры сайтов, снижающие капитальные и эксплуатационные затраты на радиосеть, улучшающие ряд характеристик сети. Стандартные BS заменяются на ретрансляторы с переносом

ёмкости, подключаемые к опорной BS, а совокупность опорной BS и подключённых к ней ретрансляторов образует кластер системы сотовой связи с переносом ёмкости. При одинаковой зоне покрытия и ёмкости сайта сотовой связи достигается сокращение капитальных и операционных затрат в 2–3 раза, по сравнению со стандартными решениями, и более, благодаря возможности совместного одновременного использования оборудования переноса ёмкости несколькими операторами (RANSharing).

Поскольку соты кластера представляют собой сектора опорной BS, то в случае использования опорных BS UMTS или LTE, хэндовер в пределах такого кластера может обеспечиваться непосредственно опорной BS, существенно снижая нагрузку на сеть. Так как кластер с переносом ёмкости способен обеспечивать покрытие большой территории, то значительная доля перемещений абонентов может оказаться в пределах кластера, исключая для них межсайтовый хэндовер. Система сотовой связи с переносом ёмкости обеспечивает сокращение частоты межсайтовых хэндоверов, снижая нагрузку на систему, повышая качество и надёжность связи. Представлены результаты имитационного моделирования, определяющие снижение количества хэндоверов в системе сотовой связи с переносом ёмкости.

## **Интеграция сотовой связи с системой цифрового мультимедийного радиовещания**

Тихонов Е.Ю.

Научный руководитель – Громаков Ю.А.

МАИ, г. Москва

Процесс повсеместного перехода к цифровым технологиям затронул все области телекоммуникаций, не стало исключением и традиционное радиовещание. Цифровые методы позволяют значительно более эффективно использовать такой ограниченный ресурс, как частотный спектр, и обеспечивают передачу одновременно нескольких программ в одном частотном канале стандартного диапазона 87,5 – 108 МГц. Но, помимо увеличения количества программ и повышения их качества, цифровые методы дают возможность ввести новые мультимедийные услуги.

Вместе с тем, в настоящее время в мире нет единого общепринятого решения для цифрового мультимедийного радиовещания (в Европе – DRM+, в США – MediaFLO, в Японии – ISDB-T, в Бразилии и странах Южной Америки – ISDB-Tb). В 2011 году был принят стандарт Российской аудиовизуальной информационной системы реального времени (РАВИС), а в сентябре 2013 года была завершена ОКР по разработке приемо-передающего оборудования для данного стандарта.

В современных сетях сотовой связи имеется большое количество широковещательных услуг, таких, как мобильное ТВ и радио, реклама, оповещение о различных событиях и чрезвычайных ситуациях и многих других. По данным компании Cisco, уже сейчас на широковещательные сервисы приходится половина мобильного трафика, а к 2017 году его доля составит, как минимум, две трети. Наиболее востребованными широковещательными

услугами в настоящее время являются мобильное телевидение и ОТА (on-the-air) обновления ПО.

Во время разработки систем цифрового радиовещания специалисты предсказывали, что пользователей в первую очередь будет привлекать прием звуковых программ с высоким качеством звучания. Однако, опыт стран-лидеров освоения цифрового радиовещания показал, что абонентов больше привлекает возможность передачи данных, поэтому в дальнейшем акцент был перенесен именно на этот сценарий использования, а сама система цифрового радиовещания стала мультимедийной. Системы цифрового мультимедийного радиовещания обеспечивают передачу видео с многоканальным звуком, статичных изображений, слайд-шоу и другого контента.

Система цифрового мультимедийного радиовещания может выполнять функции, адекватные ширококвещательным услугам в системах сотовой связи. Интеграция систем сотовой связи и мультимедийного радиовещания позволяет снять часть нагрузки с сети сотовой связи за счет переноса ширококвещательных услуг в сеть цифрового мультимедийного радиовещания. Освободившийся ресурс сети сотовой связи можно использовать для расширения объема услуг высокоскоростной передачи данных.

Рассматривается вариант интеграции систем, в котором ширококвещательные сервисы сотовой связи передаются по цифровым каналам мультимедийного радиовещания. Прием этих сервисов осуществляется абонентскими устройствами сотовой связи, содержащими встроенные приемники цифрового мультимедийного радиовещания.

Если сотовая связь стандарта GSM обеспечивает практически глобальное покрытие, то для цифрового мультимедийного радиовещания нет единого глобального стандарта, поэтому, помимо самой интеграции этих систем, необходимо обеспечить возможность глобального вещательного роуминга, чтобы абонентское устройство могло принимать сигналы всех вещательных стандартов и работать, по крайней мере, в зоне действия систем сотовой связи. Реализация абонентских устройств возможна на основе использования известных методов программно-определяемого радио (SDR — SoftwareDefinedRadio).

### **Метод классификации нештатных ситуаций в поведении объектов в информационно-измерительной системе классификации ситуаций в наблюдаемой зоне**

Абрамов Д.А

Научный руководитель – Токарев В.Л.

ТулГУ, г. Тула

Целью работы является расширение списка автоматического обнаружения в реальном времени нештатных ситуаций информационно-измерительной системой (ИИС) за счет автоматизации процесса принятия решений по информации, полученной с подсистемы видеонаблюдения

Для достижения поставленной цели, одной из наиболее важных является решение задачи разработки метода быстрой классификации нештатных ситуаций, возникающих в наблюдаемой зоне. При этом разрабатываемый метод

классификации нештатных ситуаций, возникающих в наблюдаемой зоне должен классифицировать следующие группы нештатных ситуаций, возникающих при движении автотранспорта: обгон с выездом на встречную полосу; «подрезание» - переезд с одной полосы движения на другую перед идущим транспортным средством, движущимся в том же направлении; пересечение «зебры», когда пешеход ступил или уже идет по переходу; проезд через переход при красном свете светофора; превышение максимально допустимой скорости; стоянка транспортного средства в запрещенном месте. При этом разрабатываемый метод классификации нештатных ситуаций, возникающих в наблюдаемой зоне, должен быть реализован в виде отдельного модуля, позволяющего ИИС работать в режиме реального времени и иметь минимальную вероятность ошибки классификации ситуации при ограниченной вероятности ложной тревоги.

В основу построения такого модуля положен метод классификации ситуаций, основанный на нечетких моделях, позволяющий в реальном времени:

- определять наличие аномалий;
- классифицировать аномалии.

Предложенный метод позволяет устойчиво работать в условиях наличия:

- большого разнообразия форм интересующих объектов;
- возможности изменения формы интересующего объекта в процессе его движения;
- близости наблюдаемых признаков интересующих объектов, одновременно попадающих в поле зрения видеокамеры;
- прерывания наблюдения движущихся одного или нескольких интересующих объектов;
- возможных пересечений траекторий движения интересующих объектов.

Основным показателем эффективности такого метода предложено использовать критерий, оценивающий точность выделения аномалии

- 1) различения фактов наличия и отсутствия аномалий в поведении интересующих объектов
- 2) классификации аномалий с заданной точностью.

В докладе излагается метод, позволяющий построить классификатор нештатных ситуаций по изображениям, получаемой от видеокамеры, установленной над контролируемой зоной, основанный на применении нечетких моделей, реализующих набор правил, составляющих базу знаний ИИС. Основными преимуществами такого классификатора является автоматическое распознавание в реальном масштабе времени нештатных ситуаций, возникающих на дороге, со сравнительно малым уровнем ложных тревог.

## **Сравнительный анализ методов когнитивного радио в сотовой связи**

Снопко К.А.

Научный руководитель – Громаков Ю.А.

МАИ, г. Москва

В ближайшее десятилетие операторы сотовой связи столкнутся с экспоненциальным ростом передаваемого трафика. Для соответствия растущим требованиям пользователей по объему и скорости передачи данных операторам необходимо искать как дополнительный частотный ресурс, так и способы повышения эффективности использования уже имеющегося.

Сотовая связь подвержена принципиально неустранимым физическим ограничениям, в том числе на дальность распространения радиоволн, что является причиной ограниченности частотного ресурса. «Пригодным» диапазоном для работы сотовых сетей на сегодняшний день считается полоса частот от 400 МГц до 6 ГГц. При этом ее большая часть уже распределена между операторами как сотовой связи, так и прочих служб. Возникла ситуация, когда некоторые участки спектра используются существующими службами недостаточно интенсивно. Такое положение вещей повышает актуальность проблемы поиска новых решений по повышению эффективности использования доступного современным сотовым сетям радиочастотного спектра.

Использование принципа «когнитивного радио» в сотовой связи позволит обеспечить операторов дополнительным спектром, а также оптимизировать использование уже имеющегося. Когнитивное радио позволит получить доступ к свободному в данный момент времени на определенной территории спектру на вторичной основе с помощью идеи динамического распределения спектра. При этом необходимо осуществлять непрерывный мониторинг занятости спектра для обеспечения вторичных пользователей информацией о занятости определенной полосы частот в реальном масштабе времени. Вторичным пользователям разрешается использование данной полосы частот на условиях, исключающих взаимные помехи.

В настоящее время все развитые страны проводят работы по созданию систем связи, основанных на концепции «когнитивного радио». Вопросы развития когнитивного радио активно обсуждаются в Международном союзе электросвязи (МСЭ). На данный момент опубликован ряд документов, описывающих принципы функционирования систем на основе когнитивного радио (Отчеты МСЭ-RSM.2152, M.2225, M.2242, M.2330-0). Возможность применения концепции «когнитивного радио» в сотовой связи – одно из перспективных направлений исследований. Из-за сложности реализации подобных систем, проблемы обеспечения гарантированного частотного ресурса, а также существующей политики распределения спектра на эксклюзивной основе предпочтительным сценарием для применения когнитивного радио в сотовой связи является применение подобных систем в пределах сети одного оператора сотовой связи и имеющегося у него частотного ресурса. Применение когнитивного радио позволит оптимизировать работу сотовой сети, увеличит эффективность использования доступного спектра, а также значительно увеличит емкость сети.

В докладе приводится анализ существующих решений по применению различных методов когнитивного радио в приложении к сотовой связи. Рассматриваются способы построения и функционирования, достоинства и недостатки приведенных решений. Предлагается способ построения интегрированной системы сотовой связи на основе когнитивного радио, позволяющий решить проблему обеспечения гарантированной высокой скорости передачи данных в условиях ограниченного частотного ресурса.

## **Оптимизация систем сотовой связи с переносом ёмкости**

Кузнецов К.С.

Научный руководитель – Громаков Ю.А.

МАИ, г. Москва

В течение нескольких десятков лет с момента появления сотовой связи операторы по всему миру стремятся увеличить радиопокрытие и емкость сетей связи, постоянно растут объемы передаваемой информации и скорости передачи данных.

Но и в настоящее время остается проблема обеспечения радиопокрытия сельских и удаленных районов из-за того, что не окупаются затраты на строительство сетей.

По данным Международного союза электросвязи - МСЭ (Вопрос МСЭ-R 229-4/5) на конец 2015 года количество пользователей сотовой связи и широкополосного доступа во всем мире составляет около 7 миллиардов, что примерно соответствует населению Земли, однако при этом 2 миллиарда человек проживает в сельских и удаленных территориях, которые все еще не охвачены услугами сотовой связи и беспроводного широкополосного доступа.

На данный момент разработана и внедряется новая технология «Система сотовой связи с переносом емкости», основные принципы построения которой отображены в документе МСЭ СОМ 5 – С 378 – R. Основным элементом этой системы являются ретрансляторы с переносом емкости (РПЕ). Данная технология позволяет заменить стандартную топологию построения сотовой сети со стандартными базовыми станциями (БС) и радиорелейными линиями (РРЛ) на сеть с использованием РПЕ, которые функционально одновременно заменяют БС, РРЛ или оптоволоконную линию, соединяющую БС с другими элементами сети. Небольшие массогабаритные характеристики РПЕ позволяют размещать их не в контейнерах на земле, а наверху облегченной башни рядом с антеннами пропадает необходимость установки дорогостоящих башен и контейнеров с кондиционерами, снижаются площади для размещения оборудования. При использовании данной технологии снижается энергопотребление на сайт.

В документе МСЭ СОМ 5 – С 378 – R на основе проведенных исследований и результатов испытаний на сетях GSM показано, что система с РПЕ позволяет снизить капитальные и операционные затраты на создание и эксплуатацию сетей в 2–3 раза, сократить энергопотребление на сайт в 3–5 раз при развертывании сотовой связи для покрытия трасс, сельских населенных пунктов, удаленных территорий.

Топология системы сотовой связи с переносом емкости инвариантна относительно стандарта сотовой связи (GSM, UMTS, LTE, CDMA и др.), что дает возможность дальнейшей оптимизации известных систем. Предлагается усовершенствование системы путем добавления возможности мультистандартности, при которой сохраняются все преимущества системы сотовой связи с переносом емкости, с обеспечением радиопокрытия вокруг РПЕ одновременно нескольких стандартов сотовой связи.

Рассматриваемая технология позволяет операторам заменить обычные БС различных стандартов на мультистандартные ретрансляторы с переносом емкости и не только обеспечить радиопокрытие, но и дать абонентам возможность использования высокоскоростной передачи данных на трассах, сельских и удаленных территориях, уменьшая при этом затраты на создание инфраструктуры и энергопотребление сайтов.

## **Разработка программно-аппаратного комплекса прогнозирования схода лавин**

Краснов С.Н., Можаров В.А., Овсянников О.И.  
МАИ, г. Москва

Контроль состояния снежного покрова с целью прогнозирования сходов лавин является одной из важнейших задач гражданских служб по защите населения.

Для оценки вероятности лавинообразования сотрудники лавинной службы регулярно производят измерения высоты снежного покрова/температуры ручным (визуальным) методом. Существующая методика связана с большим риском для сотрудников и высокой трудоемкостью измерений.

С целью повышения точности измерений, количества измеряемых параметров и уровня безопасности условий труда сотрудников лавинных служб нами был спроектирован и изготовлен макет дистанционно-автономной системы контроля снежного покрова (далее по тексту СКСП).

Конструктивное исполнение СКСП: устройство выполнено в форме штанги длиной 2-3 м с основанием; в основании штанги в герметичном корпусе установлены управляющее устройство, аккумулятор, контроллер заряда, GSM модем; по всей длине штанги равномерно расположены датчики температуры; в верхней части штанги закреплен блок солнечных батарей и антенна системы передачи данных.

Основные требования к разрабатываемому СКСП:

- Гарантированное время автономной работы – не менее 6 месяцев.
- Низкая стоимость, т.к. высока вероятность потери устройства и необходимость размещать от 5 устройств на склоне.
- Работа в диапазоне температур от -40 до 20 °С.
- Высота снежного покрова до 2 метров.

Алгоритм функционирования информационной системы:

- СКСП устанавливаются на склонах гор с повышенной вероятностью схода лавин. При установке штанги с датчиками, сотрудники лавинной службы осуществляют привязку идентификационного штанги (ID) к координатам на местности (используя GPS приемник).

- Управляющее устройство собирает информацию с датчиков температуры раз в 15 мин, и передает информацию на сервер по средствам SMS раз в час.

- Анализируя полученную информацию о распределении температуры в снежном покрове и его уровня, специалисты лавинной службы с высокой степенью достоверности и в оперативном режиме могут прогнозировать вероятность лавинообразования на наблюдаемом участке.

В настоящее время разработан макет устройства, дорабатывается программное обеспечение для сбора и обработки статистики, а также проводятся исследования по подбору оптимального способа энергообеспечения устройства. В зимнем сезоне 2016/17 планируются натурные испытания СКСП.

## **Программа многопоточной трансляции сетевых адресов IPv4/IPv6**

Жуков Ф.Д.

Научный руководитель – Молчанова С.И.

МАИ, г. Москва

Протокол IPv6 является переименованием протокола IPv4 для адресации узлов в глобальной сети Интернет. Одна из основных проблем, которую решает переход на новую версию - исчерпание 32-разрядного адресного пространства старой версии протокола. Переход на стек протоколов IPv6 стал жизненно необходим, вследствие исчерпания свободных IPv4 подсетей. По состоянию на 2016 г., Европейский регистратор интернет-номеров (RIPE) прекратил свободное выделение собственного IPv4 блока, исчерпание которого прогнозируется к 2017 г. Американский регистратор интернет-номеров (ARIN) заявил о полном исчерпании выделенного ему адресного IPv4-пространства

Для реализации связности двух различных частей сетевой инфраструктуры стандартами RFC определены механизмы трансляции, которые могут использоваться на промежуточных узлах сети, для преобразования заголовков IPv4-дейтаграмм в заголовки формата IPv6 и обратно. При реализации подобного программного обеспечения остро стоит вопрос производительности.

Одной из основных проблем реализации программного обеспечения (и трансляторов в частности) на сегодняшний день является внедрения распределенных алгоритмов и поддержка многопоточности. Применительно к IPv4/IPv6 транслятору многопоточный алгоритм работы может быть определен следующим образом:

- Поток-директор считывает пакет в один из свободных буферов пула
- Если пакет предназначен для трансляции он преобразуется
- Буфер помещается в очередь на отправку одного из потоков-отправителей
- Пакет передается ядру операционной системы
- Освобожденный буфер возвращается в пул потока-директора

Определенную проблему представляет дополнительное требование к системе: сохранения порядка последовательности пакетов в рамках одной сессии. Вследствие того, что хосты могут использовать stateless-протоколы транспортного уровня (в частности UDP), изменение порядка следования пакетов может оказать влияние на функционирование приложений.



Данная проблема может быть решена за счет вычисления хеш-функции по кортежу: (ip\_src, port\_src, ip\_dst, port\_dst), где: ip\_src,, ip\_dst сетевые адреса отправителя и получателя соответственно, port\_src, ip\_dst, port\_dst номера портов отправителя и получателя соответственно. Для определения экземпляра потока-отправителя который будет обрабатывать пакет. Поскольку требование к упорядоченности применимы только для одной из половин полнодуплексной сессии, проблема сохранения потока обработчика целиком в рамках одной сессии не стоит и обработка трафика в направлении от отправителя и обратно может осуществляться в разных потоках.

Приведенный алгоритм трансляции позволяет в полной мере утилизировать возможности современных процессорных архитектур, и обеспечить качественную пропускную способность связности между узлами сети функционирующими на стеках протоколов IPv4 и IPv6. Также алгоритм может быть использован для реализации механизма трансляции дейтаграмм протоколов отличных от IP.

### **Исследование спектра шумов КНЧ-УНЧ диапазона в кондуктометрических сенсорах**

Бубнова М.Д.

Научный руководитель – Шишкин Г.Г.

МАИ, г. Москва

Крайне и ультранизкочастотные (КНЧ,УНЧ) электромагнитные поля являются эффективным средством для слежения за процессами в различных геофизических средах: магнитосфере, ионосфере, атмосфере и литосфере. Излучения КНЧ - УНЧ диапазона сопровождают все энергетически мощные естественные геофизические процессы и служат одним из методов их диагностики и мониторинга. Существует также ряд техногенных факторов, порождающих КНЧ - УНЧ излучения в атмосфере и ионосфере (взрывы, запуски ракет и т.п.).

КНЧ и СНЧ, возникающие в ионосфере при распространении радиоволн, формируют флуктуационные составляющие в амплитуде, фазе, частоте и поляризации информационных сигналов. Исследования показывают, что в высокочастотном диапазоне на частотах от 1 МГц до 32 МГц влияние ионосферного канала вызывает в 6% случаев паразитную модуляцию колебаниями крайне низкой частоты (1 – 40 Гц) с длительностью более 6 минут. Излучения в крайне низкочастотном - ультранизкочастотном диапазоне как естественного, так и техногенного происхождения могут оказывать негативное влияние на информационные каналы связи. Низкочастотные электромагнитные волны способны приводить к таким последствиям как: прекращение коротковолновой радиосвязи, сбои в радиосистемах, ошибки в системах навигации GPS и ГЛОНАСС, спутниковые аномалии и многие другие. Регистрация КНЧ - УНЧ вызывает определенные трудности, поэтому разработка новых измерительных средств является актуальной для этого диапазона.

В данной работе при исследовании чувствительности новых сенсоров и их спектральных характеристик, проведено также изучение помех и шумов в канале обработки информации. В разработанной и используемой для

регистрации данных аппаратуре используется цифровая фильтрация сигнала и приняты меры по снижению уровня шумов самой аппаратуры. Проведен спектральный анализ сигналов, полученных с датчиков, разработанных с использованием новых материалов. На основе сравнения характеристик тестовых сигналов и шумов, полученных с разработанных датчиков, с сигналами и шумами приборов и материалов с известными шумовыми характеристиками выявлены области спектра, где проявляются специфические шумы разработанных сенсоров.

В результате анализа тестовых сигналов выявлено, что основные изменения претерпевает амплитуда спектра сигнала на несущей частоте (200-300 Гц). Флуктуации носят периодический характер и подвержены сезонному влиянию, проявляются суточные и недельные циклы, что, вероятно, вызвано изменением проводимости материала датчика под воздействием низкочастотного излучения. Помимо этого в спектре присутствуют низкочастотные шумы в области от 0 до 40 Гц, которые не характерны для исследуемых эталонных материалов и имеют различные вариации по интенсивности во временном диапазоне. Анализ комплексных огибающих сигналов с детектора и эталонных материалов не показал существенных различий между ними. Предварительный анализ формы спектра в данном диапазоне показал сильное сходство со спектром шумановского резонанса, который является согласующим звеном между «климатом» Земли и ионосферой, возбуждаемой солнечной активностью. Это подтверждают многолетние наблюдения, которые согласуются с выводами, что изменения первой моды шумановского резонанса связаны с вариациями рентгеновского излучения Солнца.

## **Методика проектирования цифровых систем передачи информации**

Яценко С.Ю.

Научный руководитель – Мартиросов В.Е.

МАИ, г. Москва

В настоящее время во многих беспроводных цифровых системах передачи информации (ЦСПИ) используются сигналы квадратурной амплитудной модуляции QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). При этом рост объемов передаваемой информации требует применения сигналов QAM больших размерностей. Одновременно возрастают требования и к качеству передачи информации, которое для ЦСПИ определяется вероятностью ошибочного приема BER (*Bit Error Rate*).

Существующие методики проектирования ЦСПИ предполагают, что основным источником возникновения ошибок при приеме сигнала является аддитивный белый гауссовский шум. При этом линейные тракты приемника и передатчика проектируются, как правило, таким образом, чтобы минимизировать искажения (в первую очередь нелинейные) до уровня, при котором их влиянием на помехоустойчивость приема можно пренебречь. Такой подход особенно актуален для систем, работающих при уровне принимаемого сигнала, близком к пороговому значению. При этом основным источником ошибок приема являются собственные шумы приемника.

В некоторых приложениях высокоскоростных беспроводных ЦСПИ требование по BER может составлять порядка 10-12, что приближает их по качеству передачи к волоконно-оптическим системам. При этом ЦСПИ работает при уровне принимаемого сигнала, значительно превышающем мощность собственных шумов приемника. Из анализа влияния различных искажений и шумов на помехоустойчивость приема сигналов QAM следует, что при квазикогерентном приеме помехоустойчивость зависит главным образом от фазового рассогласования, величина которого определяется фазовыми нелинейными искажениями, возникающими в основном в усилителе мощности передатчика, установившейся фазовой ошибкой системы восстановления когерентной несущей (СВКН) и фазовыми шумами генераторов. Стандартный подход к проектированию приводит к необоснованному росту стоимости ЦСПИ и избыточному энергопотреблению, не приемлемому для мобильных систем радиосвязи.

Предлагаемая методика заключается в следующем: задать начальное значение фазового рассогласования; рассчитать вероятности побитового приема сигнала; определить усредненную вероятность ошибочного приема по всем символам созвездия сигнала QAM; при необходимости скорректировать (уменьшить) значение установившегося фазового рассогласования и пересчитать вероятность ошибочного приема; распределить фазовое рассогласование по источникам (усилитель мощности передатчика, СВКН, генераторы преобразователей частоты и модулятора).

Варьированием искажений и шумов по их источникам можно добиться оптимального соотношения «качество передачи информации (BER) – стоимость – энергопотребление». Например, при заданных ограничениях на энергопотребление, можно допустить больший уровень нелинейных искажений за счет уменьшения или полного устранения установившейся фазовой ошибки системы СВКН. Следует отметить, что выбор усилителя мощности передатчика и генераторов опорных колебаний определяет стоимость беспроводной ЦСПИ (до 70%).

Таким образом, предлагаемая методика позволяет найти оптимальное техническое решение между противоречивыми требованиями качества и скорости передачи информации, уменьшения энергопотребления, массогабаритных характеристик и стоимости системы. Методика позволяет также спроектировать линейные тракты передатчика и приемника с учетом дальнейшего возможного совершенствования системы и замены модема с целью применения для передачи информации сигнала QAM большей размерности.

## **Исследование энергетических характеристик и параметров антенной системы в межспутниковой радиолинии**

Голованов К.С.

Научный руководитель – Дорофеев И.А.

МАИ, г. Москва

В современных спутниковых системах связи в настоящее время широко используются межспутниковые линии связи. Благодаря межспутниковым линиям связи стало возможным снизить количество шлюзовых станций и

уменьшить количество фидерных линий, что, в свою очередь, уменьшает финансовые затраты при развертывании всей сети. Также использование межспутниковых линий связи позволяет равномерно распределить поток данных между шлюзовыми станциями, уменьшить время доставки информации и повысить пропускную способность системы.

В данной работе была рассмотрена межспутниковая радиолиния связи между космическими аппаратами на низких круговых орбитах. Подобные линии связи используются уже в действующих системах спутниковой связи, например Iridium, а также будут задействованы в будущих проектах, а именно LeoSat.

В качестве исходных данных были выбраны следующие параметры: высота орбиты, состав орбитальной группировки, частотный диапазон, информационная скорость, избыточность, мощность передающего устройства, требуемый энергетический запас в радиолинии, требуемое отношение сигнал/шум, эквивалентная шумовая температура приемной системы, при расчете учитываются аппаратные потери, потери в передающем тракте и поляризационные потери. Особенностью данной радиолинии является то, что она не проходит через атмосферу Земли.

Целью расчетов было получение дальности радиолинии, необходимого коэффициента усиления антенны на краю основного луча по уровню 3 дБ и ширины диаграммы направленности по уровню 3 дБ с учетом погрешности удержания космического аппарата в рабочей точке орбитальной плоскости.

Анализ энергетических характеристик межспутниковой радиолинии показал, что при мощности передающего устройства 10 Вт необходимо использовать антенны с коэффициентом усиления не менее 18 дБ, так как максимальное расстояние между соседними КА в одной орбитальной плоскости может достигать 8000 км.

В работе предлагаются в качестве межспутниковых антенн рассмотреть параболические антенны. Значение коэффициента усиления луча в расчете принимается 19 дБ, однако в максимуме оно может достигать 21,5 дБ.

Поляризационные потери предполагаются 0,5 дБ в расчете на применение антенн круговой поляризации. В случае применения антенн линейной поляризации потребуется уточнение значения поляризационных потерь.

Данное исследование представляет интерес при изучении особенностей расчета межспутниковых радиолиний в перспективных проектах низкоорбитальных систем спутниковой связи.

## **Разработка методики создания и оптимизации HDL кода модулятора в системах связи с квадратурной фазовой манипуляцией**

Куклев К.И.

Научный руководитель – Важенин Н.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время для разработки блоков цифровых систем всё чаще применяются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС/FPGA) — электронный компонент, используемый для создания цифровых интегральных

схем. В отличие от обычных цифровых микросхем, логика работы ПЛИС не определяется при изготовлении, а задается посредством программирования готового изделия. Однако написание кода конфигурации ПЛИС является достаточно специализированной задачей и требует привлечения HDL-программистов, что затрудняет использование данной технологии инженерами, не владеющими навыками написания HDL кода.

Целью данной работы является рассмотрение методов автоматической генерации HDLкода, начиная от разработки структурной модели системы связи в среде Matlab/Simulink и заканчивая генерацией и тестированием HDLкода квадратурного амплитудного модулятора

В современных цифровых системах широко применяется квадратурная манипуляция, с помощью квадратурной обработки можно сформировать любое из стандартных модуляционных созвездий, что позволяет гибко использовать квадратурные методы формирования сигналов с различными методами модуляции.

Одной из таких модуляций является квадратурная фазовая манипуляция (QPSK — QuadraturePhaseShiftKeying), такой вид модуляции является одним из наиболее простых. Модуляционное созвездие представляется в виде четырех точек, лежащих на окружности одного радиуса, разнесенных друг относительно друга на одинаковые расстояния. Каждая точка принадлежит одному из модуляционных символов, который может быть сформирован на основе 2 бит информации.

В данной работе рассматривается блок модулятора, отвечающий за формирование из информационной битовой последовательности модуляционных импульсов.

Первый этап разработки - это создание структурной подсистемы модулятора, на баземодели передачи информации, с использованием блоков простых преобразований сигнала с фиксированной точкой. Это один из самых важных этапов в котором выбирается какими средствами и насколько оптимальна будет выполнена данная реализация. После создания модели подсистемы квадратурного модулятора, следующий этап - автоматическая генерация HDLкода встроенными средствами среды MATLAB/Simulink. Финальный этап - оптимизация кода в среде Modelsim, которая позволяет проанализировать работоспособность скомпилированного кода, а также провести дальнейшую оптимизацию и проверку на отклонения в работе. В дальнейшем возможно использование кода, полученного с помощью автоматического компилятора, для создания «прошивки» для ПЛИС. Так же возможно подключить ПЛИС с полученным кодом в среду Matlab/Simulink для сравнения работы функциональной модели блока и его конечной реализации на ПЛИС.

Данная работа позволяет углубленно изучить методику автоматической генерации HDLкодов, получить и протестировать полученный таким методом код QPSKмодулятора. Так же важно отметить, что данный метод разработки HDL-кода для ПЛИС, позволяет упростить получение конечной реализации для инженеров, не владеющих в совершенстве навыками HDL-программирования.

## **Разработка методики создания и оптимизации HDL-кода демодулятора в системах связи с квадратурной фазовой манипуляцией**

Ештокин Р.Д.

Научный руководитель – Важенин Н.А.

МАИ, г. Москва

В современных цифровых системах радиопередачи информации, все чаще при обработке сигнала, используются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). ПЛИС имеют большую функциональность, так как с помощью смены кода (программы) на ПЛИС происходит быстрая смена выполняемых функций. Основными языками описания структуры цифрового устройства являются HDL языки такие как: VHDL, Verilog и др.

В настоящее время широкое распространение в цифровых системах радиопередачи информации получили методы модуляции с использованием сдвига фазы и комбинированные виды модуляции, использующие сдвиг фазы и изменение амплитуды несущего сигнала. Одна из наиболее часто встречающихся в современных цифровых системах - квадратурная фазовая манипуляция (ФМн-4, англ. QPSK - QuadraturePhaseShiftKeying).

Целью данной работы является рассмотрение всех этапов проектирования демодулятора ФМн-4, от создания модели в среде MATLAB/Simulink до программной интерпретации этой модели на языке VHDL и дальнейшей отладки полученного кода непосредственно на ПЛИС.

Демодуляция – преобразование обратное модуляции и заключающееся в выделении модулирующего сигнала из модулированных колебаний высокой (несущей) частоты. Методы демодуляции делятся на когерентные и некогерентные. При когерентной демодуляции предполагается, что в точке приема известны все параметры принимаемого сигнала, за исключением информационных параметров, благодаря чему в демодуляторе можно сформировать опорные колебания и осуществить дальнейшее детектирование информационных параметров. В случае некогерентного демодулятора, кроме неизвестного информационного параметра, неизвестным параметром является начальная фаза принимаемого сигнала. В данной работе будет рассмотрен когерентный демодулятор.

Начальный этап создания модели демодулятора ФМн-4 в среде MATLAB/Simulink является самым важным, поскольку именно от этого будет зависеть какой HDL код будет разработан в дальнейшем, какими ресурсами должна обладать ПЛИС для реализации полученного демодулятора в «железе». На основе созданной в MATLAB/Simulink модели демодулятора может быть осуществлена автоматическая генерация его HDL-кода. После того, как код сгенерирован необходимо с помощью программы HDL-симулятора ModelSim протестировать полученный код. Тестирование в ModelSim позволяет проверить работоспособность кода, а также заняться процессом его отладки и оптимизации. Во время процесса оптимизации, рассматривается ресурсная составляющая полученного кода, благодаря чему, мы можем изучить возможность запуска кода на той или иной ПЛИС. После тестирования и отладки кода, возможно полученный HDL-код разместить на конкретную ПЛИС (запрограммировать ПЛИС) и протестировать в среде MATLAB/Simulink

полученную цифровую систему в условиях, приближенных к реальным условиям ее функционирования.

Данная работа, помогла применить на практике, полученные в ходе обучения, теоретические и практические знания. Создание модели с помощью среды MATLAB/Simulink, автоматическая генерация HDL-кода, тестирование кода в среде ModelSim и тестирование кода, загруженного в ПЛИС, позволили отработать и апробировать на примере демодулятора ФМн-4 технологию сквозного модельно-ориентированного проектирования, имеющую существенное практическое значение.

## **Метод передачи ТМИ с изделий РКТ с использованием многопозиционного кодирования**

Поленов Д.Ю.

Научный руководитель – Мороз А.П.

НПО ИТ, г. Москва

В настоящее время известно большое количество средств передачи телеметрической информации (ТМИ) изделий ракетно-космической техники (РКТ). Наиболее популярными являются телеметрические системы (ТС) «Орбита IV» (применяется на РН «Ангара-1.2 ПП»), «Скут-40» (применяется на РН «Протон-М»). При этом, в ТС «Орбита IV» применяется 2-позиционное, а в ТС «Скут-40» – 2- и 4-позиционное кодирование. В связи с развитием электронной компонентной базы, цифровых методов обработки и передачи информации указанные системы можно модернизировать путем внедрения многопозиционного кодирования (МК).

Рассмотрим применение  $n$ -позиционного кодирования на примере ТС «Орбита IV» и ее одноименного телеметрического кадра. В данном случае  $n$  является основанием передаваемого кода, вследствие чего количество  $N$  передаваемых уровней (значений) информационного сигнала равно  $N = 2^n$ .

В ТС «Орбита IV» информационные слова (ИС) состоят из 12 разрядов, с длительностью передачи каждого разряда  $t_p$ . В этом случае длительность передачи ИС ( $t_{ИС}$ ) равна

$$t_{ИС} = n \cdot t_p = 12 \cdot t_p.$$

Рассмотрим передачу ИС без применения и с применением МК. В качестве примера можно сравнить передачу 12-ти разрядного ИС в кадре «Орбита» с 2-позиционным и  $2^n$ -позиционным кодом.

Очевидно, что при передаче ТМИ  $2^n$ -позиционным кодом длительность передачи ИС в случае использования  $2^n$ -уровней увеличивается в  $n$  раз в сравнении с передачей 2-позиционным кодом, что позволяет повысить достоверность передаваемой информации. Кроме этого, воздействие на передаваемый цифровой код импульсной помехи делает принимаемый код некорректным, особенно в случае изменения старшего разряда. В свою очередь данный недостаток нивелируется интегрированием полученного уровня сигнала при использовании МК.

Таким образом, применение предлагаемого метода в современных ТС позволит увеличить длительность передаваемой информационной посылки, что позволит повысить достоверность передаваемой информации и снизить влияние импульсных помехи шумов.

## **СЕКЦИЯ № 25. Информационные технологии и системы позиционирования**

Руководитель секции: к.т.н., профессор Мазепа Р.Б.

---

### **Анализ качества высокоточной эфемеридно-временной информации для решения задачи определения координат низкоорбитальных космических аппаратов**

Валайтите А.А.

Научный руководитель – Никитин Д.П.

МАИ, г. Москва

За последние несколько лет аппаратура глобальных навигационных спутниковых систем начала активно эксплуатироваться в качестве полезной нагрузки низкоорбитальных космических аппаратов (КА) с целью высокоточного определения их координат. Высокоточное определение местоположения КА является необходимым условием для решения задач, связанных с изучением Земли, мирового океана, ионосферы и атмосферы, построением высокоточной динамической модели геоида, мониторингом нефтегазовых, телекоммуникационных, энергетических комплексов, созданием высокоточных карт местности.

В качестве режима местоопределения, с помощью которого координаты низкоорбитального КА могут быть определены с высокой точностью (порядка единиц см), в том числе в реальном масштабе времени, может быть использован режим высокоточного абсолютного местоопределения. Данный режим работы - это режим обработки кодовых и фазовых измерений в приемнике потребителя, позволяющий получать высокоточные результаты местоопределения при использовании только одного приёмника и высокоточной эфемеридно-временной информации (ЭВИ). Точность местоопределения при этом зависит, в том числе, от качества и темпа передачи, используемой в обработке ЭВИ. В силу данного обстоятельства важной задачей является осуществление выбора источника высокоточной ЭВИ, обеспечивающей наибольшую точность и надежность определения координат потребителя.

По причине того, что эфемеридно-временная информация, представляет собой координаты и смещения показаний часов навигационных спутников относительно системного времени, истинные (опорные) значения которых неизвестны, оценка ЭВИ может проводиться только косвенным путем, т.е. по точности местоопределения низкоорбитального КА, рассчитанной относительно какого-либо эталонного значения, например, относительно опорной орбиты. Однако из-за того, что опорная орбита известна с низкой точностью (порядка 5-10 см), она не может выступать в качестве эталона, произвести оценку качества ЭВИ при использовании навигационных измерений низкоорбитального КА является невозможным.

В связи с этим, анализ передаваемой на низкоорбитальный КА ЭВИ может быть проведен основываясь на результатах навигационных местоопределений, полученных в ходе длительной обработки навигационных измерений



статических наземных станций, опорные координаты которых известны с точностью порядка 1 см, и различных источников высокоточной ЭВИ.

В работе был проведен длительный статический анализ, выбраны источники высокоточной ЭВИ, обеспечивающие наибольшую точность в режиме высокоточного абсолютного местоопределения при определении позиции наземных станций, в том числе ЭВИ реального времени. Соответственно данная высокоточная ЭВИ может быть использована для определения координат низкоорбитальных КА, обеспечивая при этом наилучшие характеристики точности и надежности.

## **Об исследовании эффективности использования LDPC кодирования в спутниковых системах передачи информации**

Ванак И.Э.

Научный руководитель – Карпухин Е.О.  
МАИ, г. Москва

Энергоэффективность спутниковых каналов передачи данных (СКПД) была и остается одним из главных показателей их качества. Когда аварийная ситуация на космическом аппарате нагружает телекоммуникационную систему, доставка любой информации может быть затруднительна, а значит, должен быть способ доставить короткие команды на чрезвычайно низкой скорости передачи данных, когда это необходимо. Для этого, как и для передачи телекоманд, подходит семейство коротких кодов с низкой плотностью проверок на четность (Short LDPC). Эти коды могут заменить коды БЧХ, указанные в «Telecommand Synchronization and Channel Coding», для повышения производительности, практически не оказывая влияния на другие аспекты системы телекоманд.

LDPC код является линейным блоковым кодом и характеризуется сильно разреженной матрицей контроля четности. Данное свойство LDPC кодов способствует достижению высокой производительности при использовании итеративного декодирования. И хотя LDPC коды применяются на сегодняшний день в некоторых стандартах связи (ETSI, IEEE, Miscellaneous, Drafts), эффективной базы их конструирования до сих пор не существует.

Цель работы - исследование эффективности LDPC кодирования в спутниковых системах передачи информации. В процессе было оценено влияние минимальной длины цикла кода на эффективность декодирования. Чаще всего для декодирования LDPC используется алгоритм распространения доверия (BP), основанный на итеративном обмене сообщениями между проверочными и символьными вершинами двудольного графа Таннера. Основным фактором, снижающим корректирующую способность алгоритма, является наличие циклов в графе кода. Чем короче длина цикла в графе Таннера, тем раньше в процессе итеративного декодирования происходит накопление ошибки. По этой причине при построении низкоплотностных кодов необходимо избегать циклов минимальной длины.

Выполнено сравнение LDPC с основными конкурентами – турбо-кодами, которые нашли свое применение в системах спутниковой связи, ряде стандартов цифрового телевидения и мобильных системах связи. Для идентичных размера блока и скорости передачи кода численные результаты показывают, что LDPC

имеют несколько более высокую энергетическую эффективность (с точностью до дБ при вероятности битовой ошибки  $10^{-5}$ ), в то же время имея низкую вычислительную сложность декодирования на каждой итерации. С другой стороны, необходимое количество итераций для декодирования LDPC оказывается больше, чем у турбо-кодов, но разница между этими двумя схемами становится меньше при умеренно высоком соотношении сигнал/шум.

Для исследования энергоэффективности коротких LDPC-кодов была разработана математическая модель системы в среде имитационного моделирования Matlab с использованием одноименного языка программирования. В качестве прототипа модели взята реально существующая телекоммуникационная система «Гонец». Известно, что энергоэффективность LDPC повышается по мере увеличения длины блока, однако результаты исследования показывают, что LDPC-коды позволяют надежно передавать или хранить информацию в среде и при коротких блочных длинах.

### **Многомодальная фильтрация навигационных параметров в приёмнике сигналов спутниковых радионавигационных систем при обработке псевдофазовых измерений**

Кишко Д.В.

Научный руководитель – Фомин А.И.

МАИ, г. Москва

Использование фильтрационных алгоритмов в радионавигационных системах с использованием неоднозначных псевдофазовых измерений позволяет значительно уменьшить погрешность определения навигационных параметров в приёмнике потребителя, а также существенно снизить вероятность аномальной ошибки, возникающей в результате разрешения целочисленной неоднозначности. Многообразие фильтрационных алгоритмов можно разделить на два класса. Первый класс алгоритмов производит определение вектора неоднозначности псевдофазовых измерений совместно с остальными оцениваемыми параметрами, к которым, например, можно отнести координаты и скорости объекта. Второй класс алгоритмов использует аппроксимацию функции правдоподобия набором точек в пространстве оцениваемых параметров, каждой из которых соответствует определенный вектор неоднозначности. Достоинством первого подхода является простота реализации, однако требуемое расширение вектора оцениваемых параметров приводит к увеличению времени сходимости алгоритма и даже к его расхождению. Второй класс алгоритмов исключает эти особенности, что особенно актуально при оценке навигационных параметров динамичного потребителя в условиях с ограниченным количеством измерений.

Одной из разновидностей алгоритмов второго класса является алгоритмы многомодальной фильтрации, использующие аппроксимацию функции правдоподобия в виде усеченной свернутой гауссовской функции (моды). Данный подход позволяет совместно с использованием процедуры поиска наиболее правдоподобных мод значительно уменьшить количество точек аппроксимирующей функции правдоподобия. Значительный интерес представляет функционирование алгоритмов многомодальной фильтрации при

обработке натуральных измерений, результаты исследования которых не достаточно полно освещены в общедоступной литературе.

В качестве примера рассмотрена работа алгоритма многомодальной фильтрации в режиме относительных определений координат с использованием псевдофазовых измерений сигналов спутниковых радионавигационных систем. Работоспособность алгоритма продемонстрирована для статичных базовых линий малой и средней длины, а также при движении потребителя с малыми возмущениями. Результаты анализа включают оценки времени сходимости алгоритма в зависимости от количества спутников участвующих в обработке, а также вероятности аномальной ошибки разрешения целочисленной неоднозначности. Для каждого из проводимых экспериментов представлен анализ контрастного отношения, позволяющего судить о достоверности полученного решения, а также приводятся рекомендации по его использованию для уменьшения затрат вычислительных ресурсов.

### **Разработка и реализация алгоритмов уменьшения влияния узкополосных помех на аппаратуру ГНСС**

Клименко М.Ю.

Научный руководитель – Вейцель А.В.

МАИ, г. Москва

В докладе описана разработка и реализация алгоритмов уменьшения влияния узкополосных помех на аппаратуру ГНСС. Узкополосные помехи оказывают влияние на все этапы работы навигационного приёмника — от обнаружения сигналов космических аппаратов до решения навигационной задачи. В зависимости от мощности, влияние помех может варьироваться от ухудшения точности позиционирования до полной потери слежения за сигналами.

В докладе рассматриваются способы повышения помехоустойчивости навигационного приёмника с учетом ограничений, накладываемых аппаратно-программной платформой на базе СБИС 1879ВЯ1Я. В качестве метода подавления выбраны аппаратные цифровые фильтры с конечной импульсной характеристикой, входящие в состав блока предварительной обработки сигналов аппаратно-программной платформы. Реализация алгоритмов осуществлена на цифровом сигнальном процессоре семейства NeuroMatrix, входящем в состав аппаратно-программной платформы.

В работе было произведено моделирование зависимости помехоустойчивости навигационных приёмников в зависимости от количества бит, используемых при квантовании сигнала.

В работе анализируется алгоритм обнаружения узкополосных помех в частотной области с применением оконной функции Блэкумана-Наталла. Данные о количестве и частотах помех, полученные в результате работы алгоритма, являются базовыми для расчёта коэффициентов КИХ-фильтров. В докладе описан синтез комплексной импульсной характеристики фильтра методом дискретизации частотной характеристики.

Были произведены экспериментальные исследования существующих навигационных приёмников, осуществляющих подавление помех, а также их сравнение с разработанным подавителем. Для проведения экспериментов

использовалась сумма эфирного сигнала с антенны и узкополосной помехи, получаемой при помощи СВЧ-генератора. Экспериментальные исследования производились при наличии одной и множества узкополосных помех.

В работе был произведен анализ влияния подавителя помех на работу навигационного приёмника и выполнена оценка шумовых и многолучевых ошибок.

В результате экспериментальных исследований подтверждена работоспособность алгоритма и выполнена оценка его характеристик. Разработанный подавитель продемонстрировал результаты, сравнимые с существующими аналогами. С учётом незначительного увеличения шумовой ошибки, допустимо использовать разработанный подавитель, в том числе и для решения задач высокоточного позиционирования, в частности в режиме RTK.

## **Гарантированное уничтожение информации на flash-носителях программным методом**

Клюев П.Н.

Научный руководитель – Карпухин Е.О.

МАИ, г. Москва

Гарантированное уничтожение информации с носителей является одним из основных способов обеспечения её конфиденциальности. Однако при помощи специального программного обеспечения возможно легко восстановить всю удаленную пользователем информацию. По этой причине были созданы и стандартизованы алгоритмы гарантированного уничтожения информации, практически во всех ведущих государствах изданы национальные стандарты, нормы и правила, регламентирующие использование программных средств для уничтожения информации и описывающие механизмы его реализации.

Все программные реализации алгоритмов уничтожения данных основаны на простейших операциях записи, тем самым происходит многократная перезапись информации на носителе ложными данными. В зависимости от алгоритма это может быть сгенерированное генератором псевдослучайных чисел случайное число либо фиксированное значение. В существующих алгоритмах перезапись может производиться от одного до 35 и более раз. К сожалению, скорость записи на носители обычно не велика, а объёмы подлежащей к уничтожению информации значительны. Поэтому целью работы было выбрано определить программный метод уничтожения информации на flash-носителях с приемлемыми потерями времени (~30 мин. при скорости записи 230 МБ/с и объёме носителя 64 ГБ).

Всего в работе было проведено 5 экспериментов:

- Небезопасное удаление;
- Однократная запись нулей поверх всего диска;
- 3-х проходный метод стирания, соответствует DOE;
- Метод, соответствующий стандарту 5220-22 М ЕСЕ Министерства обороны США;
- Метод, соответствующий ГОСТ Р 50739-95 РФ.

На флеш-карту перед каждым экспериментом по стиранию записывались подготовленный набор из пяти файлов: текстовый документ docx, картинка jpg,

pdf-книга, музыка mp3 и видео mp4, общим объёмом около 100 МБ. Для проверки результатов уничтожения использовались программы «R-Studio» и «Recuva».

В ходе работы были получены следующие результаты: как и ожидалось, небезопасное удаление оказалось полностью обратимым, информация была восстановлена без потерь; однократная перезапись так же показала свою несостоятельность, остатки данных возможно восстановить даже с помощью программных средств; трёхкратная запись поверх данных уже не оставляет возможности восстановить информацию программными методами; семипроходная перезапись не оставляет информации на носителе, с помощью доступных программных средств исходные данные не восстанавливаются, часть секторов обнулена, часть заполнена псевдослучайными числами.

На основе проведенных экспериментов сделан ряд выводов и рекомендаций: обычным пользователям минимально достаточным является 3-х проходный метод стирания; предприятиям, которые могут встретить противодействие конкурентов и спецслужб, рекомендуется использовать метод, соответствующий стандарту 5220-22 М ЕСЕ.

## **Алгоритм определения географических координат РЛС по данным РТР**

Переслегин Л.А.

Научный руководитель – Куприянов А.И.  
МАИ, г. Москва

Целью данной работы являлось создание алгоритма определения географических координат наземных неподвижных радиолокационных станций (РЛС) по данным станции радиотехнической разведки (РТР), входящей в состав системы радиоэлектронной борьбы (РЭБ), расположенной на самолёте. Решение данной задачи способствует интеграции системы в перспективные комплексы авиации и позволит получить новые тактические преимущества при противодействии радиоизлучающим целям.

На первом этапе были определены требования к системам РТР и навигации самолёта. Определен метод решения данной задачи, проведены необходимые математические выкладки.

На втором этапе разработанный алгоритм в среде Matlab применялся в расчётной модели конкретного полёта, где в процессе отработки были разработаны под алгоритмы синхронизации данных, фильтрации и сопровождения РЛС, статистической обработки измерений.

Результатом работы является модель решения задачи на борту в режиме реального времени. Так же сформулированы задачи к последующему этапу расширения тактических возможностей:

- Определение координат наземных, надводных и воздушных подвижных целей;
- Организации информационного взаимодействия между бортами в групповом полёте, наземными, морскими, а также другими воздушными объектами с целью уменьшения времени и увеличения точности определения координат радиоизлучающих целей;

- Определение структуры единого информационно-управляющего поля и комплекса средств передачи информации об обнаруженных целях.

## **Алгебраические детали высокоточного местоопределения в глобальных навигационных спутниковых системах**

Подкорытов А.Н.

МАИ, г. Москва

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) позволяют определять местоположение подвижных объектов и осуществлять их навигацию на поверхности Земли и в околоземном пространстве. Среди всего многообразия методов местоопределения в ГНСС можно выделить наиболее точные, с использованием которых становится доступна точность абсолютного местоопределения потребителя на уровне сантиметров.

Методы высокоточного абсолютного местоопределения в ГНСС активно развиваются в последние годы. Известно множество приложений данных методов (строительство, сельское хозяйство, геодезия, мониторинг деформаций зданий и сооружений, прогноз цунами, нефтяные платформы и др.). Аппаратура потребителя для таких методов, как правило, представляет собой профессиональные двух-, трёхдиапазонные навигационные приёмники. Повышение точности абсолютного местоопределения сопряжено с усложнением не только аппаратуры приёмника, но и алгоритмов обработки навигационных измерений.

Как правило, сантиметровая точность местоопределения доступна после нескольких десятков минут или даже часов обработки измерений (методы Float PPP). Наиболее оперативные методы высокоточного абсолютного местоопределения могут применяться в режиме реального и квазиреального времени, но требуют использования процедуры разрешения целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений и дополнительных исходных данных о спутниковой группировке (методы Integer PPP).

В разных методах высокоточного абсолютного местоопределения используются разные алгоритмы обработки и разный набор исходных данных. Известны различные модели измерений, т.е. различные наборы исходных измерений навигационного приёмника и их линейных комбинаций, применяемые в методах высокоточного абсолютного местоопределения. Одним из основных отличий является подход к ионосферным задержкам распространения спутниковых сигналов.

В работе рассматриваются алгебраические детали высокоточного местоопределения в ГНСС, а также особенности различных алгоритмов обработки навигационных измерений. Проводится сравнительный анализ эффективности (точность, оперативность) различных моделей измерений при использовании специальных эфемеридных данных от локальной и глобальной сетей станций для ГНСС ГЛОНАСС и GPS. Отдельное внимание уделено рассмотрению особенностей системы ГЛОНАСС, затрудняющих её использование для высокоточного абсолютного местоопределения в ГНСС.

Проанализировано не только решение потребителя, но и так называемое сетевое решение, т.е. задача вычисления по измерениям сети наземных станций

специальной эфемеридной информации для спутников, которая позволяет потребителю реализовать своё высокоточное местоопределение. Описаны особенности сетевого решения, связанные с требованием однотипности используемых в обработке навигационных приёмников.

## **Сравнительный анализ алгоритмов оценки отношения сигнал-шум на основе квадратурных компонент принимаемого сигнала**

Серкин Ф.Б.

Научный руководитель – Важенин Н.А.

МАИ, г. Москва

Исследования и разработки радиосистем, позволяющих определять местоположение подвижных объектов берут начало в середине 20 века. Широкое распространение получили глобальные спутниковые навигационные системы, позволяющие определять местоположение объектов с высокой точностью в любой точке земного шара. Одной из основных проблем при оценке местоположения объекта является наличие большого количества помеховых сигналов в эфире, затрудняющих оценку радиотехнических параметров сигналов системы. Также на оценку позиции влияют искажения, связанные с многолучевым распространением сигналов вследствие природных факторов или в условиях городской застройки.

Известно, что основным методом борьбы с искажениями, связанными с многолучевостью и помехами от других устройств является введение какого-либо типа избыточности, например, увеличение количества передатчиков, введение излучения на дополнительной несущей частоте и др. Таким образом, при детектировании искажений оценок радиотехнических параметров сигнала, возможно исключать измерения некоторых каналов слежения из расчета координат приемника. Одним из параметров, на основе которого можно исключить искаженные измерения, является оценка отношения сигнал/шум. В данной работе проведен сравнительный анализ существующих алгоритмов оценки сигнал/шум, а также предложены новые алгоритмы, позволяющие обеспечить точность оценки, близкую к границе Крамера-Рао при отсутствии ошибки в системе фазовой синхронизации (СФС). Кроме того, некоторые из рассматриваемых алгоритмов позволяют получить приемлемую точность оценки отношения сигнал/шум и при наличии ошибки в СФС. Приведенные же работе алгоритмы на основе оценки длины вектора сигнала не зависят от ошибки в СФС. В работе рассматриваются алгоритмы оценки отношения сигнал-шум, базирующиеся на использовании сигналов на выходе согласованных фильтров в синфазном и квадратурном канале при посимвольном приеме.

Учитывая значительную математическую сложность аналитического решения данной задачи, для оценки точностных характеристик полученных соотношений в программном пакете MATLAB/Simulink была разработана имитационная модель, включающая генератор модулированных колебаний, гауссовский канал связи и блоки расчета отношения сигнал/шум, соответствующие различным формулам. Вычисления проводились на основе данных с выхода согласованного

фильтра, причем как при отсутствии систематической ошибки в системе фазовой синхронизации, так и при ее наличии.

Проведенный сравнительный анализ алгоритмов оценки отношения сигнал/шум при использовании квадратурных компонент сигнала в частности показал, что:

- Все рассмотренные соотношения имеют систематические ошибки вычисления оценки при отношении сигнал/шум менее 10 дБ;
- Можно выделить алгоритмы, эффективно работающие при наличии систематической ошибки оценки фазы, а также алгоритмы, работоспособные только при нулевой систематической ошибке оценки фазы;
- Рассмотренные выражения для оценки отношения сигнал-шум, основанные на оценке длин векторов, являются устойчивыми к наличию систематической ошибки оценки фазы, однако, они дают наибольшее, из рассмотренных алгоритмов, значение ошибки при уменьшении отношения сигнал/шум ниже 10 дБ.

### **Информационно-аналитический модуль для проведения патентного поиска**

Шкиря И.А.

Научный руководитель – Борзенкова С.Ю.

ТулГУ, г. Тула

Информационные технологии нашли широкое применение при проектировании новых образцов техники. На одном из первых этапов проектирования проводят выявление аналогов и прототипов для разрабатываемых образцов техники. С этой целью используется технология патентного поиска.

За последнее десятилетие в мире произошли большие изменения, связанные с использованием новейших информационных технологий в процессе проведения патентного поиска. Создана глобальная информационная сеть, в которую вошли практически все мировые патентные ведомства. В мире развивается система электронной подачи заявок, создаются цифровые библиотеки, которые позволяют достаточно легко и эффективно обрабатывать патентную информацию.

Существуют различные ресурсы хранения и обработки патентной информации. Наиболее известными в России являются два ресурса: Роспатент (espace.net) и ВОИС (PATENTSCOPE). Так как на предприятиях часто ограничен доступ в сеть «Интернет» и некоторые поля данных ресурсов платны, был разработан информационно-аналитический модуль для хранения отобранных документов и их анализа.

Данный модуль состоит из управляющей программы и автоматизированной базы данных.

В базе данных хранится информация о патентах, их авторах, номере патента, названии патента, дате регистрации патента. Данная база данных была спроектирована в приложении Microsoft Office Access. Сбор информации в базу данных осуществляется путем ручной загрузки данных в виде HTML файлов.



Результат патентного поиска необходимо представить в удобной для пользователя форме. Для представления итогового отчета по патентному поиску необходимо формировать различные таблицы, графики и диаграммы.

Функциональная часть информационно-аналитического модуля включает в себя раздел «Записная книжка», в котором содержится 4 подраздела: «Пользователь» - добавление или авторизация пользователя; «Каталог» - создание или открытие проекта; «Патенты» - добавление и удаление патентов.

Функциональная часть данного информационно-аналитического модуля была написана на языке программирования Delphi. Оболочка модуля написана с помощью программы Ribbon Controls.

Данный информационно-аналитический модуль может успешно работать на ЭВМ под управлением одной из операционной системы семейства Microsoft®Windows™ и не требует подключения к сети «Интернет», что очень удобно при работе с патентами связанными с оборонной тематикой, так как информация в сфере оборонной отрасли чаще всего имеет гриф «ДСП».

Информационно-аналитический модуль может использоваться для предоставления результата патентного поиска не только в оборонной отрасли, но и во всех других, что подчеркивает его актуальность.

## **СЕКЦИЯ № 26. Информационные технологии конструирования РЭС**

Руководители секции: д.т.н., профессор Ушкар М.Н.,  
к.т.н. Орлов В.П.

---

### **Методика формирования требований к аппаратной платформе БЦВМ информационно-управляющих РЭС малоразмерных КА**

Гореликов Л.Ф.

Научный руководитель – Ушкар М.Н.

МАИ, г. Москва

В настоящее время на базе малоразмерных КА (МКА), а именно микро и наноспутников, развивается множество проектов направленных на решение следующих задач:

- Геофизических задач, в частности на изучение геомагнитного и электрического полей (CubeSTAR, Firebird, RAX), мониторинга электромагнитных предвестников землетрясений (QuakeSat);
- Задач ДЗЗ с высоким пространственным разрешением от 1,5 до 6 м (KestrelEye, MISC- 1);
- Передачи текстовых сообщений (SMDC);
- Мониторинга подвижных объектов и т.д.

Анализ развития вышеуказанных проектов показывает, что мировое космическое приборостроение выходит на следующий виток развития, направленный на миниатюризацию полезной нагрузки и спутниковых платформ для решения традиционных задач, стоящих перед космической отраслью. В этой связи, задача усовершенствования маршрутов проектирования информационно-управляющих РЭС (ИУРЭС) МКА, как одной из основных служебных систем КА, является актуальной.

Целью данной работы являлось разработка методики формирования требований к аппаратной платформе БЦВМ ИУРЭС МКА на ранних этапах проектирования.

Таким образом, в результате выполнения данной работы решены следующие задачи:

- Разработана структурная схема эмулятора БЦВМ ИУРЭС МКА;
- Разработана модель радиоканала в Matlab;
- Проведен анализ разработанной ИМ ИУРЭС МКА на основные её динамические характеристики;
- Предложена методика формирования требований к аппаратной платформе БЦВМ ИУРЭС МКА.

Результатом выполненной работы является методика формирования требований к аппаратной платформе БЦВМ ИУРЭС МКА на ранних этапах проектирования.

## **Сравнение языков описания аппаратного обеспечения VHDL и Verilog на примере реализации интерфейса UART в САПР Xilinx Vivado**

Косицын А.С.

Научный руководитель – Орлов В.П.

МАИ, г. Москва

Самые востребованные на сегодняшний день языки описания аппаратуры – это Verilog и VHDL. Эти языки реализуют компромисс между удобством для программиста и удобством для машины.

Несмотря на то, что два языка, казалось бы, конкурируют, в САПР поддерживается взаимная интеграция модулей как для VHDL, так и для Verilog. В частности, такая взаимная интеграция организована в Xilinx Vivado. Эта САПР одного из двух крупнейших производителей ПЛИС была выпущена в 2012 г. Она предусмотрена для работы с БИС и СБИС, что влечет разработку нескольких технологий и принципов синтеза и реализации проектов. Поскольку в дальнейшем дополнения и обновления будут выпускаться для Vivado, требуется массовая переориентация на новую САПР.

Для того, чтобы сравнить два языка описания аппаратного обеспечения, за основу был взят универсальный асинхронный передатчик – UART. Основная идея UART состоит в том, что данные передаются по одному каналу (проводу). По умолчанию (если не передается информация) на выходе канала логическая «1». Перед началом последовательности данных приходит бит «0», а сигналом окончания последовательности служит стоповый бит («1»). В различных вариантах может быть осуществлен трансляция данных длиной в 5-9 бит. При необходимости можно ввести контрольный бит четности и другие средства защиты и контроля потерь информации. Скорости передачи данных также стандартизированы. В работе была выбрана скорость 115200 бит/сек.

Как говорилось ранее, Verilog очень похож на СИ, что является его непосредственным преимуществом перед «конкурентом» – VHDL. В то же время VHDL более удобен семантически, что может упростить процесс освоения языка для тех, кто не знаком с СИ. Однако код, написанный на Verilog, выглядит более компактно. Эта компактность достигается, в частности, за счет менее жесткого синтаксиса. В свою очередь более жесткий синтаксис VHDL позволяет предотвратить некоторые алгоритмические ошибки.

Нельзя дать однозначный ответ на вопрос, какой из языков является лучшим, иначе один из языков тогда вышел бы из использования. Сложившаяся ситуация свидетельствует лишь о том, что необходимо знание обоих языков, так как в конечном итоге часто возникает необходимость работы как с Verilog так и с VHDL.

В соответствии с техническим заданием успешно реализован алгоритм для каждого языка. Площадкой для эксперимента стала ПЛИС 7-го поколения Zynq-7000. Эта ПЛИС, в совокупности с процессором ARM Cortex-A9 образует систему на кристалле, обладающую разделом программируемой логики. В связи с тем, что проект, написанный на языках HDL, задействует исключительно раздел программируемой логики, а UART расположен в разделе процессорной системы, в целях организации UART пришлось воспользоваться свободными

пинами для дополняющих модулей. В ходе проверки работоспособности результаты оказались идентичны: потерь информации не наблюдалось.

## **Принципы построения автоматизированной информационной системы выбора изделия и документов высокой производственной готовности при проектировании РЭС**

Кузнецов А.С.

ГБУК «ГМП», г. Москва

При проектировании радиоэлектронных систем построенных по модульному принципу все шире используются методы разработки, основанные на применении заимствованных из других проектов изделий или составных частей изделий высокой производственной готовности. Такой подход позволяет сократить затраты (время и стоимость) как на схемотехническое и конструкторское проектирование, так и на технологическую подготовку производства. При этом возникает необходимость выбрать из всего множества уже готовых и выпускаемых изделий такой вариант, который удовлетворял бы заданным требованиям.

В работе рассматриваются принципы построения автоматизированной информационной системы выбора изделия и документов (АИСВИД), которая, основываясь на использовании информационных моделей (ИМ) изделий и кодах классификационной характеристики изделий (Классификатор ЕСКД), позволяет решить поставленную задачу. Предложено объединить, с помощью специально разработанного интерфейса, АИСВИД с САПР системного проектирования SystemVue компании Agilent EEsolf, а также с электронными архивами предприятия, что дает возможность расширить функциональные возможности предлагаемой системы.

Основой АИСВМ является база данных (Б.Д.), которая обеспечивает хранение и выборку И.М. готовых изделий РЭС, а также хранение и выборку десятичных номеров готовых изделий и десятичных номеров относящихся к ним документов. Причем, так как выбираемые изделия могут находиться на различных иерархических уровнях, то хранение информационных моделей осуществляется в иерархическом формате.

Информационные модели изделий РЭС представляют собой кортеж следующих атрибутов: наименование изделия РЭС; иерархический уровень изделия РЭС; параметры, которыми характеризуется изделие РЭС; десятичный номер изделия по классификатору ЕСКД; описание изделия; десятичные номера документов, связанные с данным изделием.

Для реализации процесса выбора изделия на вход АИСВМ подаются следующие входные данные: наименование изделия и ограничения на входные и выходные параметры выбираемого изделия. Входные данные могут вводиться в АИСВМ или непосредственно проектировщиком РЭС, или/и с помощью САПР, позволяющей проектировать РЭС на системном уровне. После выбора изделия формирует список документов, которые относятся к данному изделию и имеются в электронном архиве предприятия. Указанный список документов выводится на экран монитора разработчика, который выбирает необходимые ему документы. На основании выбранных разработчиком документов АИСВМ

формирует запросы в электронный архив предприятия, откуда затем документы поступают на компьютер разработчика.

В работе приводится логическая схема базы данных АИСВМ, реализованная на СУБД «SQL Server», отвечающая требованиям нормализации и позволяющая решать рассмотренные выше задачи.

## **Методы повышения стойкости цифровой аппаратуры космического базирования к воздействию радиации**

Муллов К.Д.

Научный руководитель – Орлов В.П.

МАИ, г. Москва

Радиолокационный мониторинг является одним из наиболее эффективных и перспективных видов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В настоящее время широкое применение в мировой практике нашли радиолокационные средства ДЗЗ, использующие радиолокаторы с синтезированной апертурой самолетного и космического базирования. Развитие микроэлектроники и в частности использование программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), высокоскоростных цифро-аналоговых (ЦАП) и аналого-цифровых преобразователей (АЦП) позволяет все шире применять цифровую обработку сигналов (ЦОС) непосредственно в локаторе, а так же реализовать цифровое формирование луча.

Существенное уменьшение объемов выпуска радиационно-стойкой компонентной базы и сокращение на рынке числа фирм-производителей таковой продукции привело к применению в космических аппаратах ПЛИС уровня качества Industrial. Основная причина заключается в том, что цена данной продукции на 1–2 порядка ниже, чем радиационно-стойкой. Также, из-за несовершенства отечественной элементной базы российские разработчики вынуждены применять ПЛИС иностранного производства.

Таким образом, повышение стойкости цифровой аппаратуры к воздействию радиации — одна из основных задач, стоящих перед космической промышленностью.

Целью данной работы является анализ существующих программных методов повышения надежности и работоспособности ПЛИС в условиях воздействия космической радиации.

В ходе работы были рассмотрены такие методы как: динамическая частичная реконфигурация, троирование модулей вычислительной системы с последующим мажоритарным сравнением, «scrubbing» конфигурационной памяти и некоторые другие. Данные методы и техники проектирования цифровых устройств на базе ПЛИС позволяют обнаруживать и исправлять ошибки и неисправности, возникающие в результате воздействия на микросхемы космического излучения различного вида, в режиме реального времени работы устройства.

В результате работы были рассмотрены и проанализированы основные принципы работы данных методов повышения радиационной стойкости ПЛИС. Были выявлены основные преимущества и недостатки каждого из методов, и были сформулированы рекомендации к разработчикам устройств цифровой

обработки сигналов космического базирования по применению того или иного метода.

## **Разработка малогабаритного авиационного влагоотделителя циклонного типа**

Саратовский Н.В.

Корпорация «Фазотрон-НИИР», г. Москва

Одним из основных элементов обеспечения надежности бортовых радиолокационных станций (БРЛС) является качество функционирования РЭА, управляющие ими. Так как БРЛС и ее составные части чаще всего устанавливаются не в герметичных отсеках летательных аппаратов (ЛА), то возникает необходимость поддержания избыточного атмосферного давления внутри некоторых блоков. Особенно актуальным является наддув блоков передатчиков и высокочастотных трактов, что делается для предотвращения электрических пробоев внутри этих объектов.

Надув блоков может осуществляться одним из следующих способов: от баллона с сжатым воздухом, от системы кондиционирования воздуха (СКВ) ЛА, либо за счет набегающего потока, из воздухозаборника. При этом к воздуху предъявляются жесткие требования по его осушке и тонкости фильтрации воздуха.

В настоящее время на борту ЛА для вышеуказанных целей применяется каскад керамических фильтров для фильтрации воздуха и силикагелевые патроны для осушки воздуха. Однако, последние имеют ряд недостатков: даже в ясную погоду силикагель «тянет» влагу из окружающей среды, в дождливую погоду происходит резкое сокращение срока эксплуатации. Так же в некоторых ЛА можно встретить каскады осушителей (2-3 каскада), но вес одного такого каскада может достигать 3 кг, что для малогабаритных БРЛС может стать существенной проблемой. В связи с чем, была поставлена задача проектирования малогабаритного осушителя для системы наддува высокочастотных модулей РЭА.

В связи с жесткими требованиями к массе и габаритам был выбран влагоотделитель центробежного типа. Предварительное моделирование и анализ разработанного влагоотделителя в САПР инженерного анализа ANSYS и SolidWorks FlowSimulation, показал степень осушки в 70%. Дальнейший анализ позволил выбрать оптимальный угол завихрения, что позволило повысить эффективность осушки до 80%. В нижней части конструкции предусмотрен отсек для сбора пыли и конденсата. В верхней части влагоотделителя устанавливается металлокерамическая матрица для тонкой фильтрации (80-7 мкм).

Таким образом, был спроектирован малогабаритный влагоотделитель центробежного типа для системы наддува блоков РЭА массой 0,6 кг, тонкостью фильтрации до 7 мкм и эффективностью осушки 80%. Дальнейшее повышение эффективности системы может быть достигнуто за счет доработки разработанного влагоотделителя в центробежно-магнитный влагоотделитель.

## **Опыт использования современных систем автоматизированного проектирования (САПР) в конструкторских разработках**

Дробышевский А.О., Гадалин Д.Ю., Скворцов Р.В.

Научный руководитель – Степанников А.М.

НПО ИТ, г. Москва

В докладе излагается опыт использования современных САПР Altium Designer и Solid Works для проектирования РЭА на печатных платах и механических деталей к ней, а также создание на их основе полной 3D модели прибора. Использование двух САПР объясняется тем, что «электронная» часть на основе Altium Designer позволяет создать лишь интегральный графический образ печатной платы и файлы управляющих программ для автоматизированного производства, а для проектирования механических деталей и выпуска рабочей конструкторской документации по правилам ЕСКД требуется подключение Solid Works или подобной. Только в этом случае цикл проектирования РЭА от момента создания электрической схемы и заканчивая изготовлением деталей на станках с ЧПУ получится сквозным.

Наибольший эффект при внедрении такого метода разработки получается при координированном действии в цепочке разработчик-конструктор-технолог-производство создания и использования баз данных проектирования. В результате электронного моделирования электрической схемы, 3D конструкторского моделирования прибора и использования в производстве автоматизированных программ изготовления, монтажа и контроля сокращается время получения качественного, отработанного первого образца и внедрения изделия в серийное производство.

В течении 2014-2015 годов в конструкторском отделе по вышеизложенной методике был разработан ряд приборов и устройств, таких как универсальное цифровое передающее устройство для передачи телеметрической информации, устройство контроля электрофизических параметров для МКС, малогабаритная телеметрическая система по сбору и обработке информации. Разработанная конструкторская документация прошла этап изготовления опытных образцов.

## **Проектирование оптимальных систем охлаждения бортовых РЭС**

Старенченко А.В.

Научный руководитель – Ушкар М.Н.

МАИ, г. Москва

Бортовые РЭС малоразмерных ЛА характеризуются высокой плотностью компоновки при больших значениях потребляемой энергии, что приводит к значениям плотности теплового потока, примерно, 10-15 Вт/дм<sup>3</sup> и, следовательно, необходимости применения систем охлаждения (СО). С другой стороны бортовые РЭС малоразмерных ЛА имеют ограниченный ресурс для построения СО: объём и температуру охлаждающего воздуха, ограничения на массу СО и т.д. Указанные особенности обуславливают повышение температур конструктивных элементов и как следствие снижение их надёжности.

В связи с этим, задача проектирования оптимальной СО является актуальной. В работе рассматривается решение задачи проектирование структуры СО

бортовой РЛС беспилотного ЛА на ограниченном наборе ресурсов отвода тепла. Задача ставится следующим образом: определить оптимальную структуру СО БРЛС обеспечивающую нормальный тепловой режим при минимальных затратах.

Исходными данными решения указанной задачи являются: модель конструкции БРЛС, допустимые значения температур корпусов элементов конструкции, потребляемая мощность, параметры охлаждающего воздуха, затраты.

Для решения задачи в работе предлагается следующий алгоритм:

- Адаптация исходной модели к решению задачи анализа теплового режима.
- Предварительный анализ теплового режима БРЛС. Анализ выполняется средствами SW Flow Simulation.
- Формирование матрицы перегревов конструкции.
- Определение элементов конструкции не удовлетворяющих требованиям к допустимым температурам.
- Построение тепловой модели конструкции РЭС.
- Формирование подмножеств с избыточным значение мощности и с недостаточным значением мощности.
- Формирование N вариантов систем охлаждения удовлетворяющих требования к нормальному тепловому режиму.
- Расчет оптимальной структуры системы охлаждения с учетом минимальных затрат.

Апробация алгоритма была проведена в ходе реализации комплексного проекта «Разработка и организация высокотехнологичного производства малогабаритной многорежимной бортовой радиолокационной системы Ku – диапазона волн для оснащения перспективных беспилотных и вертолетных систем»

## **Исследование алгоритмов оптимизации конструкторско-технологических решений при проектировании РЛС**

Табан И.И.

Научный руководитель – Гвоздарев Р.С.

МАИ, г. Москва

Задача оптимизации конструкторско-технологического проектирования для современных РЛС является чрезвычайно важной и актуальной. Ее решение обеспечит сокращение сроков производства новых проектно-конструкторских разработок и повышение ее эффективности.

Целью оптимизации проектирования конструкторско-технологических решений является разработка такого алгоритма и конструкции, которые будут обеспечивать выполнение заданных требований и наиболее универсальные показатели параметров. При проектировании необходимо найти такие решения, которые будут обеспечивать оптимальность параметров РЛС, учитывая важнейшие для данного изделия показатели.



Исследование проектирования позволяет автоматизировать процесс оптимизации, при этом используются способности автоматического возобновления программы, а также моделирующие и параметрические функции.

Для оптимизации РЛС можно прибегнуть к методам классического синтеза или методы оптимизации на ЭВМ с применением пакетов прикладных программ автоматизации проектирования.

С помощью классического синтеза проектируются простые устройства, для которых существуют аналитические методы связи оптимальных схем.

Однако большая часть устройств проектируется методами оптимизации на ЭВМ. При этом существуют структурная и параметрическая оптимизация.

При структурной оптимизации выбирается наилучшая структура, удовлетворяющая заданным требованиям.

Параметрическая оптимизация заключается в расчете оптимальных технологических параметров. При этом определяются такие внутренние параметры блока, при которых выбранные выходные параметры будут принимать наиболее оптимальные значения.

В процессе оптимизации тепловых параметров элементов ячейки РЛС с целью наилучшего теплового состояния и равномерного распределения температуры нагрева по ячейке происходит многократный анализ, при котором изменяется расположение нагреваемых элементов на схеме до тех пор, пока не будет достигнут наиболее удовлетворительный результат. Происходит поэтапный анализ или оценка характеристик.

Существует глубокая взаимосвязь между всеми этапами проектирования. Поэтому окончательная конструкция и разработка всей технической документации нередко могут быть не выполнены до окончания процесса разработки. В процессе разработки и конструирования электронного средства возможна корректировка структуры самой системы, принципиальных схем или исходных данных. Так, процедура проектирования является не только многоэтапным, но и многократно корректируемым по мере его выполнения, а именно, данный процесс имеет итерационный характер.

## **Учёт влияния погрешностей технологического процесса на выход годных при изготовлении печатных плат**

Фам Вьет Ань, Ву Хонг Фук

Научный руководитель – Дембицкий Н.Л.

МАИ, г. Москва

Современный этап создания узлов для цифровой обработки сигналов характеризуется значительным повышением быстродействия устройств, переходом к работе на высоких тактовых частотах. При работе схем с тактовыми частотами более, чем 100 МГц, или для фронта сигнала короче, чем 1 нс, следует принимать во внимание эффект целостности сигнала. Параметры межсоединений на печатных платах (ПП) оказывают значительное воздействие на форму цифрового сигнала, приводя к его искажению.

При создании узлов современной РЭА чаще всего конструктор имеет дело с печатными проводниками, представляющими длинные линии. Электрически длинной называется линия, у которой погонная длина не меньше 10 - 20%

минимальной длины волны. Учет параметров длинных линий становится одной из главных задач проектирования печатных плат.

Современная практика разработки конструкций узлов на ПП использует методики, основанные на последовательном, циклическом подходе, в котором инженер схемотехник и конструктор совместно решают задачу проектирования. Переход на более высокочастотные диапазоны приводит к необходимости включения в процесс проектирования специалистов по технологиям производства ПП, задачей которых является прогнозирование влияния производственно-технологических погрешностей на электрические параметры узлов после изготовления.

При промышленном изготовлении ПП, а также при их эксплуатации проявляются факторы, оказывающие дестабилизирующее воздействие на электрические параметры. Причины их возникновения различны. Прежде всего, это производственный процесс. Доминирующим фактором является отклонение размеров и расположения элементов конструкции ПП. В итоге параметры узла отличаются от расчетных значений, что сказывается на увеличении брака.

В работе рассматривается влияния погрешностей технологического процесса на выход годных при изготовлении высокочастотных устройств на печатных платах, методика расчета допусков и прогнозирования технологического брака, алгоритм расчета технологических погрешностей волнового сопротивления проводников.

## **Реализация алгоритма универсального асинхронного приёмника UART на ПЛИС Zynq-7000 с применением САПР Xilinx ISE 14.7**

Чеберяко А.С.

Научный руководитель – Орлов В.П.

МАИ, г. Москва

Для организации связи между разными цифровыми устройствами, широкое применение получил универсальный асинхронный приёмопередатчик (UART). На базе UART было разработано много стандартов, регламентирующих приём и передачу информации, например, RS-485 или USB, однако до сих пор находит применение ранее широко распространённый стандарт RS-232. На сегодняшний день RS-232 присутствует во многих специализированных устройствах и может быть использован для их отладки. В различных ситуациях именно вход UART, хорошо известный как COM-порт, становится мощным средством для работы с вычислительным устройством.

Одна из двух крупнейших фирм-производителей ПЛИС, Xilinx, в 2012 году выпустила новую САПР для работы со своей продукцией – Vivado. В новой САПР проработана новая, более мощная площадка для работы с IP-ядрами, сопутствующими средами разработки (например, Matlab), также есть возможность синтеза проектов на языках высокого уровня программирования. В Xilinx Vivado предусмотрена работа с кристаллами 7-го поколения и выше, в то время как Xilinx ISE поддерживает работу с ПЛИС до 7-го поколения включительно. В 2014 году была выпущена последняя версия ISE, тем самым производитель обеспечил уже более четырёх лет для перехода программистов с одной версии САПР к другой.

В рамках работы были выполнены две задачи: оценка производительности Xilinx ISE на базе отладочного комплекта ZedBoard Zynq-7000, а также приём/передача данных в соответствии со стандартом RS-232. Алгоритм реализован двумя способами: посредством создания принципиальной электрической схемы с помощью графического редактора (Schematic Editor) и путём написания программного кода на языке Verilog HDL. Стоит отметить, что разработка проекта с помощью создания схемы – путь наглядный, но в то же время уступает программному коду в компактности. Помимо этого фактора следует помнить, что проработка кода предоставляет больше свободы при работе с логическими элементами – разработчик не ограничен имеющимися в библиотеке редактора схем схемотехническими примитивами, а может прописывать новые или изменять принцип работы имеющихся с помощью программного кода. В то же время такой способ работы накладывает определённые ограничения на знание языков описания аппаратного обеспечения – в данном случае Verilog HDL. Таким образом, можно сделать вывод, что проектирование на уровне графических схем применимо для относительно небольших проектов, а для проработки более сложных структур необходимо использовать языки описания аппаратного обеспечения.

Относительно САПР Xilinx ISE следует отметить, что уровень системных требований сравнительно невысок, что приводит к тому, что Xilinx ISE, возможно, останется широко применяемой системой автоматизированного проектирования даже после выхода ПЛИС 8-го поколения и выше. Данная САПР идеально подходит для ранних этапов освоения принципов работы с ПЛИС.

В результате разработки алгоритма предложенными способами, получены работающие проекты, проверенные с помощью ещё одной необходимой программы – терминала.

### **Импортозамещение малогабаритного испытательного оборудования для отбраковки и испытаний электронной компонентной базы**

Чеусов С.С.

Научный руководитель – Жаркой М.Ф.

БГТУ «ВОЕНМЕХ», г. Санкт-Петербург

В настоящее время в отечественных радиоэлектронных средствах (РЭС) используется обширная и разнородная номенклатура электронной компонентной базы (ЭКБ), не регулируемая едиными стандартами. В отдельных моделях техники доля иностранного производства доходит до 90% и их большая часть не соответствует требованиям специального применения. Ситуация обостряется еще и вследствие того, что не соответствующая техническим требованиям контрафактная ЭКБ наполнила не только отечественный, но и международный рынок электронных комплектующих. Накопленный опыт применения ЭКБ позволяет, для решения вышеуказанной проблемы, отметить важную организационно-техническую составляющую – продуманную организацию и обязательное проведение соответствующих входных испытаний. Перед разработчиками и производителями испытательного оборудования стоит

задача моделирования в лабораторных или заводских условиях совокупности внешних воздействующих факторов и режимов функционирования РЭС. Испытаниям должны подвергаться образцы, изготавливаемые на всех стадиях создания аппаратуры, т.е. при проектировании, разработке, в ходе производства. Наиболее трудоемким и затратным в испытаниях ЭКБ является достижение и удержание определенных в ТУ температур (термостатирование). Существующее на рынке испытательное оборудование обычно промышленного исполнения и достаточно дорогостоящее.

В рамках проблемы импортозамещения подобного оборудования была поставлена и решена задача по конструированию и изготовлению простого и дешевого испытательного стенда термостатирования с программным управлением, разработать методику испытаний, применимую к данному оборудованию и соответствующую государственным стандартам. Стенд должен выполнять указанный режим работ (+65...-53 С<sup>0</sup> с временем перехода от верхней до нижней температуры за 10 секунд) программным методом, задаваемым с помощью оператора, иметь интерфейс сопряжения с компьютером типа IBM PC - виртуальный USB/UART протокол. Программное обеспечение должно компилироваться в среде Matlab. Для системы охлаждения стенда был выбран термоэлектрический модуль «Пельтье». Из-за активного переноса тепла и нагрева функциональной области необходимо было решить вопрос о его охлаждении. Водяное охлаждение являлось оптимальным решением данной задачи, т.к. вода обладает наилучшим коэффициентом теплопередачи. При этом возможно было реализовать без изменений конструкции, как проточную систему водяного охлаждения, так и замкнутую с контуром рециркуляции. Для реализации регулятора тока модуля была выбрана схема управления на основе широтно импульсной модуляции сигналов. Программное обеспечение позволило управлять электронным блоком стенда по заданным управляющим алгоритмам. Достигнуть заданных показателей позволяет как разработанная архитектура электронного блока управления стенда, так и программное обеспечение. В качестве интерфейса было принято решение сделать графический интерфейс в системе MATLAB GUI.

Таким образом, был разработан и создан прототип изделия «Стенд термоиспытаний программируемый МК-2» и написано программное обеспечение для проведения работ с использованием современных систем автоматизированного проектирования. Данная разработка нацелена на реализацию государственной политики импортозамещения в приборостроительной отрасли и отрасли высоких технологий. Кроме того, предлагаемый стенд возможно использовать в учебных процессах учреждений высшего профессионального образования, в отсутствии серийно выпускаемого импортного испытательного оборудования.

## **Анализ конструктивных принципов обеспечения тепловых режимов РЛС**

Чурдалева Т.И.

Научный руководитель – Гвоздарев Р.С.

МАИ, г. Москва

С повышением производительности современных инновационных наукоёмких РЛС, увеличивается их энергопотребление, а, следовательно, происходит рост выделения тепловой мощности, устранить влияние которой зачастую бывает довольно сложно.

Конструктивно РЛС, как правило, состоят из антенного модуля и шкафов управления, выполненных на основе БНК (базовых несущих конструкций) предназначенных для размещения компонентов РЛС и обеспечения их функционирования. Использование данного подхода позволяет обеспечить плотную компоновку, тепловые режимы экранирования, повысить надёжность и технологичность составных частей и изделия в целом.

Растущее выделение тепловой мощности приводит к тому, что применение системы воздушного охлаждения становится недостаточно эффективным. Все чаще дополнительно к системе воздушного охлаждения при проектировании и производстве РЛС применяется система жидкостного охлаждения. Из-за проблем теплообмена в результате микроминиатюризации РЛС, из-за выделения значительного теплового потока и приводит к появлению теплового перегрева, особенно в быстродействующих ИМС.

Задачей проектирования конструкций РЛС для решения данных проблем являются: более высокая эффективность переноса теплоты из внутренних конструкций РЛС в окружающее пространство за счет теплообмена; обеспечение заданного температурного режима в замкнутой области конструкции в независимости от значения температур вне РЛС; создание компактных и эффективных систем охлаждения.

Системы жидкостного охлаждения не имеют ограничений при компоновке.

Жидкостная система состоит из: теплообменника, радиатора и помпы, соединенных трубкой в замкнутый контур и еще вентилятор с небольшими оборотами, работающий на выдув.

Достоинства жидкостной тепловой системы: Тепловая емкость жидкости значительно больше, чем у воздуха; Ниже уровень шума. Недостатки жидкостной системы охлаждения: дороже цена системы жидкостного охлаждения по сравнению с более низкой воздушной; а также более сложная установка в связи с тем, что современные системные блоки РЛС спроектированы в основном под воздушные системы охлаждения.

Часто в различных технологических процессах возникает необходимость охлаждения или нагрева жидкости. В этом случае используется теплообменник.

А также лучше всего использовать запрессовку для соединения трубки. Достоинства запрессовки по сравнению с пайкой неоспоримы это и: экологичность производства; отсутствие нагрева, при соединении; огромная устойчивость к нагрузкам и механическая прочность; герметичность соединения; устойчивость к коррозии; недорогая стоимость; высокая надежность.

Запрессовывание увеличивает процесс монтажа в 4 раза. В пайке же применяются операции очистки от остатков технологических загрязнений, в отличие от запрессовки.

## **СЕКЦИЯ № 27. Обработка сигналов в радиотехнических системах**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Кузнецов Ю.В.

---

### **Определение местоположения эквивалентных источников электромагнитных излучений на поверхности печатных плат по результатам измерений в ближнем поле**

Горбунова А.А., Коновалюк М.А., Трофимов Д.В.

Научный руководитель – Баев А.Б.

МАИ, г. Москва

Миниатюризация, увеличение плотности монтажа и скорости передачи данных в современных электронных устройствах ведет к значительному увеличению требований к электромагнитной совместимости отдельных блоков и компонентов, расположенных на поверхности печатной платы. Одним из возможных решений данной задачи является оценка пространственно-частотного распределения электромагнитных излучений, создаваемых устройством, путем его измерения в ближнем поле.

Измерение в ближнем поле источника позволяет получить более высокую точность и снизить требования к измерительному оборудованию по сравнению с измерениями в дальней зоне. По результатам измерений в ближней зоне также может быть предсказано направление распространения электромагнитных волн от исследуемого устройства. Согласно принципу эквивалентности исследуемое устройство может быть описано набором эквивалентных электрических или магнитных диполей. Совокупность таких диполей позволяет оценить электромагнитное поле, формируемое исследуемым устройством, за пределами области измерения.

В данной работе представлен двумерный алгоритм параметрической идентификации параметров эквивалентных источников электромагнитного излучения (ЭМИ), основанный на результатах измерений в ближнем поле. Непреднамеренное ЭМИ электронных компонентов и кабелей современных радиотехнических устройств (РТУ) может быть зарегистрировано с использованием измерительной платформы, состоящей из системы пробников ближнего поля, устройства позиционирования пробников, многоканального цифрового осциллографа и управляющего компьютера, осуществляющего запись и обработку измеренных данных.

Как правило, стохастические информационные сигналы, циркулирующие в шинах данных цифровых РТУ, обладают циклостационарными свойствами. В виду этого использование усреднения по ансамблю реализаций измеренных сигналов в ближнем поле источника позволяет оценить амплитуды и начальные фазы гармоник сигналов, использующихся для синхронизации цифровых устройств и для передачи данных по кабелям.

Источники ЭМИ могут быть описаны набором эквивалентных электрических диполей, расположенных в области объекта. Для определения моментов эквивалентных диполей была предложена и реализована процедура оценки

гармоник сигнала синхронизации, учитывающая модель распространения электромагнитного поля в ближней зоне. Для точного определения положения эквивалентных диполей использовался двумерный метод матричных пучков и метод минимума среднеквадратической ошибки.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований излучений отладочной платы Arduino. По результатам измерений в ближнем поле было получено распределение эквивалентных диполей в области объекта и предсказано распределение поля на расстоянии от печатной платы.

### **Критерий срыва слежения за фазой, частотой и задержкой навигационного сигнала на основе методики линеаризации следящих систем**

Камнев Е.А.

Научный руководитель – Юдин В.Н.

МАИ, г. Москва

Одной из основных задач, решаемых в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем, является слежение за частотой, фазой и задержкой огибающей принимаемого навигационного сигнала. В современных условиях информационного конфликта при расчете коэффициентов подавления аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем для различных сценариев радиоэлектронного подавления необходимо оценивать мощность радиопомех на входе аппаратуры потребителей, при которой в приемнике гарантированно произойдет срыв слежения за заданное время с заданной вероятностью.

На основе методики приближенной оценки помехоустойчивости оптимальных систем слежения за фазой, частотой и задержкой огибающей принимаемого навигационного сигнала для инженерных расчетов коэффициентов подавления получен в аналитическом виде критерий срыва слежения « $m$ », где под срывом слежения понимается событие, при котором мгновенная ошибка слежения на выходе следящей системы превысит апертуру дискриминационной характеристики в  $m$  тактах подряд за заданное время срыва слежения. Вероятность срыва слежения зависит от параметра  $m$ , времени накопления в корреляторе, апертуры дискриминационной характеристики и заданного времени срыва.

Критерий срыва слежения позволяет рассчитать коэффициенты подавления систем слежения за фазой, частотой и задержкой огибающей, при которых для заданного параметра срыва  $m$  с заданной вероятностью срыва слежения за заданное время радиоэлектронного подавления и время накопления в корреляторе гарантированно произойдет срыв слежения за параметрами навигационных сигналов.

Коэффициенты подавления системы слежения за фазой с дискриминатором типа

$-IQ$  с шумовой полосой 2, 20 и 40 Гц для вероятности срыва 0.9, интервалом накопления 1 мс, времени подавления 1 сек., полосе навигационного сигнала 2.046 МГц и критерии срыва  $m$  равным «1» и «3» составили 32, 24, 21 дБ и 36, 29, 27 соответственно.



Коэффициенты подавления системы слежения за частотой с дискриминатором типа  $I_{k-1}Q_k - I_kQ_{k-1}$  с шумовой полосой 0.2 и 2 Гц для вероятности срыва 0.9, интервалом накопления 1 мс, времени подавления 1 сек., полосе навигационного сигнала 2.046 МГц и критерии срыва  $m$  равным «1» и «3» составили 47, 42 дБ и 50, 45 дБ соответственно.

Коэффициенты подавления системы слежения за задержкой огибающей с дискриминатором типа  $(I_E^2 + Q_E^2) - (I_L^2 + Q_L^2)$  с шумовой полосой 0.02 и 2 Гц для вероятности срыва 0.9, интервалом накопления 1 мс, времени подавления 1 сек., полосе навигационного сигнала 2.046 МГц и критерии срыва  $m$  равным «1» и «3» составили 53, 43 дБ и 56, 46 дБ соответственно.

## **Оценка времени задержки приёма циклостационарных сигналов в пассивной системе радиолокации при помощи искусственных нейронных сетей**

Ефимов Е.Н., Шевгунов Т.Я.  
Научный руководитель – Кузнецов Ю.В.  
МАИ, г. Москва

Оценка задержки времени приёма сигналов является ключевой задачей для ряда систем, решающих проблему пассивного определения источника радиозлучения (ИРИ). Как правило, сигналы в таких системах подвержены различного рода искажениям, включая шум и помехи. В настоящей работе рассматривается задача оценки времени приёма циклостационарных сигналов, т.к. для большинства коммуникационных сигналов и сигналов телеметрии циклостационарные модели являются более адекватными по сравнению со стационарными.

Применяемая в работе модель включает в себя ИРИ, излучающий сигнал, и принимающую излученный сигнал пассивную радиолокационную систему. Излучаемый сигнал описывается аддитивной моделью и представляет собой смесь полезного сигнала, обладающего свойствами циклостационарного случайного процесса, и помех, представляющих собой стационарные и циклостационарные случайные процессы. Рассматриваемая пассивная радиолокационная система оснащена антенной решеткой из нескольких точек приема (ТП), координаты которых известны с высокой точностью. Решаемая в настоящем исследовании задача состоит в формировании методов оценки времени задержки приема сигнала относительно различных ТП антенной решетки. Оптимальным методом решения поставленной задачи является построение оценки по методу максимального правдоподобия (ММП), состоящее в максимизации целевой функции, зависящей от величины задержек и принятых сигналов.

Предложенное в работе решение основывается на синтезе искусственной нейронной сети (ИНС) типа многослойный перцептрон на основе простых адаптивных элементов. Входными данными для системы являются отсчеты спектров квадратурных компонент комплексных огибающих сигналов, принятых в различных ТП. При этом на вход ИНС подаются отсчеты циклической кросс-корреляционной функции, полученной в частотной области.

В работе рассмотрен случай различных циклостационарных свойств компонент излучаемого сигнала. Показано, что применение циклостационарных моделей позволяет использовать априорные знания о статистических характеристиках сигнала, таких как несущая частота или частота повторения кодовых последовательностей, с целью повышения точности получаемой оценки на фоне шума и помех. Так же в работе приведено теоретическое описание предложенного решения, описана структура использованной ИНС и применяемая методика обучения. Выполнено численное моделирование для пассивной радарной системы с кольцевой антенной решеткой с целью оценки эффективности предложенного метода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-37-00395 «мол\_а» и № 15-08-08951 «а».

### **Анализ численных алгоритмов оценки местоположения источника радиоизлучения в пассивной радиолокационной системе**

Филимонова Д.В., Шевгунов Т.Я.

МАИ, г. Москва

В настоящей работе рассматриваются алгоритмы численного решения задачи оценки местоположения источника радиоизлучения (ИРИ) посредством многопозиционной пассивной радиолокационной системы (РЛС). Для решения формируется целевая функция по методу наименьших квадратов, представляющая сумму квадратов ошибок, содержание которых зависит от используемого метода. При использовании дальномерного метода под ошибками понимается разность расстояний от предполагаемого местоположения ИРИ до каждой из станций в составе РЛС и расстояний, оцененных в результате обработки сигнала. При использовании разностно-дальномерного метода под ошибками понимается разность задержек прихода сигналов, оцениваемых по модели приёма, и фактических задержек, оцененных на основе обработки принятых сигналов.

Рассмотрены алгоритмы первого и второго порядка. Метод наискорейшего спуска, который является алгоритмом первого порядка, показывает сходимость к истинному положению при широком диапазоне выбора точек начального приближения в присутствии шума. Алгоритм также показывает устойчивое поведение как при аналитическом, так и при численном способе вычисления первой производной. Недостатком алгоритма является снижение скорости движения к истинному решению в его окрестности, т.е. на завершающих итерациях численного метода. Рассмотренные простые алгоритмы второго порядка, а именно: метод Ньютона-Рафсона и метод Гаусса-Ньютона, демонстрируют быструю сходимость к истинному решению при условии подходящего выбора начального приближения. Алгоритм Гаусса-Ньютона демонстрирует устойчивое поведение, однако, его сходимость к истинному решению не гарантирована, если начальное приближение не лежит в окрестности истинного решения, но существует другой минимум. Алгоритм Ньютона-Рафсона часто демонстрирует неустойчивое поведение, что делает его малоприменимым для оценки разностно-дальномерного метода. В качестве устойчивого и быстросходящегося численного метода был рассмотрен метод

Лебенберга-Марквардта, объединяющий свойство устойчивости метода наискорейшего спуска вдали от решения и скорость методов второго порядка в его окрестности.

В результате проведенного исследования показано, что метод Лебенберга-Марквардта обладает лучшими характеристиками для решения задачи численной оптимизации при использовании дальномерного и разностно-дальномерного способа оценивания. Кроме того в работе был рассмотрен способ перехода от разностно-дальномерной постановки задачи оценивания к дальномерной постановке за счёт альтернативного представления уравнений модели.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-37-00395 «мол\_а» и № 15-08-08951 «а».

## **Разработка цифрового квадратурного понижающего преобразователя системы когнитивного радио**

Нужнов М.С.

НПП «Гамма», г. Москва

В современной радиотехнике все большее распространение получают программно-определяемые радиосистемы(SDR). Эти системы позволяют проводить оцифровку радиосигнала в реальном времени для последующей обработки программными или аппаратными цифровыми средствами – цифровыми сигнальными процессорами или ПЛИС. Ключевой особенностью SDR является возможность программным путем изменять рабочие радиочастотные параметры (диапазон частот, тип модуляции и т.д.).

Новейшей разновидностью SDR являются системы когнитивного радио(CRS). Эти системы способны получать сведения об особенностях собственной эксплуатации и на основе этих данных корректировать свои параметры работы.

Одним из ключевых элементов такой системы является цифровой понижающий преобразователь частоты (DDC), который выполняет преобразование частоты и цифровую фильтрацию сигнала от аналого-цифрового преобразователя к блоку интеллектуальной цифровой обработки сигналов. Цифровое преобразование частоты может вестись как на процессорах общего назначения или цифровых сигнальных процессорах, так и на ПЛИС и специализированных микросхемах. Использование процессоров упрощает отладку и реконфигурацию, а применение специализированных микросхем позволяет достичь высоких скоростей обработки сигнала. Применение ПЛИС позволяет совместить достоинства обоих подходов, предоставляя возможность реконфигурации в сочетании с высочайшими скоростями обработки. Для упрощения отладки и модификации была разработана аппаратно-ориентированная модель DDC, позволяющая автоматически получать реализацию преобразователя на языке описания аппаратуры интегральных схем. Для верификации блока он был реализован на ПЛИС Virtex-7 и подключен к высокоскоростному АЦП ADC12D1800, обеспечивающему непрерывный поток данных 1.8 миллиардов выборок в секунду. Проведена оценка параметров преобразователя и верификация его на ПЛИС Virtex-7. Рассмотрены сложности, возникающие при реализации высокоскоростной цифровой обработки сигналов

на ПЛИС. Подробно рассмотрено влияние аппаратных особенностей реализации на цифровой сигнал.

Разработанный DDC позволяет программным путем изменять свои рабочие параметры (коэффициент децимации, промежуточную частоту, коэффициенты фильтра и т.д.), что делает возможным его применение в SDR и CRS. Разработанная модель DDC позволяет производить отладку на ПК без использования ПЛИС.

## **Повышение качества приёма информации при квазистатической линейзации характеристики усилителя мощности СВЧ сигнала**

Лыгу Хай Нам

Научный руководитель – Сизякова А.Ю.

МЭИ, г. Москва

Современные требования к системам спутниковой связи по скорости передачи информации заставляют применять сигналы со сложными видами модуляции и лучшей спектральной эффективностью. Для широкополосных передающих каналов также предъявляются повышенные требования обеспечения высокой линейности тракта при большом пик-факторе, в частности для широкополосных передатчиков и широкополосных усилителей мощности (УМ).

Для осуществления линейзации характеристики нелинейного УМ наиболее простой и эффективной является технология ввода предсказаний. Цифровой предсказывающий линейризатор (ЦПЛ) используется для линейзации характеристик нелинейного УМ. Характеристика идеального ЦПЛ должна быть обратной характеристике используемого нелинейного УМ, чтобы после прохождения ЦПЛ и УМ сигнал был линейно усилен во всем диапазоне мощностей и во всей полосе частот.

В работе рассмотрена полиномиальная модель характеристики нелинейного УМ с памятью [1] на основе рядов Вольтерра. Модель Вольтерра является наиболее полной и общей из поведенческих моделей динамических нелинейных систем. Одним из недостатков модели Вольтерра является экспоненциальное увеличение количества определяемых параметров (ядер) при увеличении порядка нелинейности системы и глубины памяти. Поэтому в последнее время широко разрабатываются различные модификации данной модели, позволяющие уменьшить количество параметров, необходимых для её идентификации.

Для определения коэффициентов модели ЦПЛ автором составлена переопределенная система линейных уравнений [2]. При решении этой системы минимизирована средняя квадратичная ошибка оцениваемого решения. Конкретные значения порядка нелинейности модели УМ ( $N = 5$ ) и глубины памяти ( $M = 5$ ) выбраны в зависимости от сложности модели. Увеличение значений порядка нелинейности модели и глубины памяти приводит к большей точности модели ЦПЛ и повышению эффективности алгоритма линейзации ценой повышения сложности вычислений.

Исследование проведено методом имитационного цифрового моделирования тракта, состоящего из нелинейного усилителя сигналов 4ФМ или 8ФМ и

демодулятора приемника этих сигналов. Показано, что при использовании ЦПЛ амплитудная характеристика УМ линейризуется в рабочей области донасыщения; уменьшается мощность комбинационных составляющих и компонент спектра выходного сигнала УМ вне главного лепестка на 15... 20 дБ; устраняется неконтролируемый фазовый сдвиг сигнала, достигается выигрыш в отношении сигнал-шум на входе демодулятора приемника цифрового сигнала. Также показано, что повышается энергетическая эффективность системы передачи информации: можно повысить мощность сигнала в рабочей точке на входе УМ на 5,5 дБ для сигнала 4ФМ и на 6,5 дБ для сигнала 8ФМ.

Литература.

[1] Dennis R., Morgan A. Generalized memory polynomial model for digital predistortion of RF power amplifiers. //IEEE Transactions on signal processing. V. 54, N 10, October 2006. P. 3852–3860.

[2] Сизякова А.Ю., Лыу Хай Нам. Цифровой предсказывающий линейризатор на основе рядов Вольтерра для нелинейного усилителя мощности. //Тез. докл. 22-ой Междунар. научно – технич. конф. студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»: т. 1. –М.: Изд. дом МЭИ, 2016. С. 108.

### **Нарушение целостности сигнала в приемном тракте переходными процессами ключа и аттенюатора**

Воронков А.В., Лосев А.М.

Научный руководитель – Парамонов А.А.

НПО «Алмаз», г. Москва

При построении приемных устройств современных и перспективных радиолокаторов основную часть выполняемых ими операций стараются реализовать в цифровом виде. Вместе с тем, несмотря на большую гибкость и удобство цифровой реализации, она не лишена ряда недостатков. В их число входят нелинейность тракта, влияние параметров аналого-цифрового преобразователя на результаты обработки сигнала, появление специфических помех.

Работа посвящена исследованию реального устройства преобразования сигналов (УПС). Исследовано влияние отдельных элементов этого устройства на характеристики оцифрованного сигнала. Изучено влияние формы управляющего сигнала на работу элементов УПС.

Настройка УПС на тот или иной режим работы производится подачей на его входные элементы команд управления в виде логических уровней или импульсов. От формы и параметров управляющих команд может зависеть целостность принимаемого сигнала, а также чувствительность радиолокатора.

В линии передачи управляющих сигналов присутствуют паразитные емкости, индуктивности, имеют место несогласованность сопротивлений линий передачи и нагрузки и наводимые от цифровых элементов помехи. Эти факторы искажают форму управляющего импульса, что отражается на УПС. При дальнейшем преобразовании возникшие ошибки практически неустраняемы.

Представленные экспериментальные данные и аналитические расчеты позволяют подобрать согласующий элемент для уменьшения влияния

погрешностей формы управляющего сигнала на работу УПС. С целью оценки возможности уменьшения влияния проанализированы различные варианты реализации входящих в схему элементов.

Установлено, что при изменении режимов работы элементов приемного тракта возникают пульсации по шине питания, которые необходимо снизить, чтобы уменьшить их влияние на чувствительные к ним элементы. Хорошие результаты дает использование нескольких каскадов фильтрации. Каждый такой каскад должен быть рассчитан на определенный диапазон частот. Наряду с этим, для всего устройства целесообразно применение общего фильтрующего звена, уменьшающего уровень шума на 40 дБ или больше в диапазоне от 100 Гц до 100 МГц. Этот главный фильтр используется как входной фильтр питания, обеспечивающий широкополосную фильтрацию, общую для всех линий питания. На входах питания отдельных микросхем устройства имеет смысл установка более простых локальных фильтрующих звеньев, обеспечивающих развязку на высоких частотах и фильтрующих шум на 60 дБ или более в диапазоне 1–100 МГц.

Необходимо учитывать, что дополнительное уменьшение уровня помех можно обеспечить правильным выбором компоновки системы. Чтобы минимизировать уровень шумов, необходима грамотная трассировка печатной платы с минимально возможной длиной сигнальных цепей. Управляющие и сигнальные цепи должны быть тщательно защищены от цифровых цепей, в том числе и от выхода аналого-цифрового преобразователя.

### **Анализ тенденций и перспектив развития рынка аналого-цифровых преобразователей**

Азаров А.В., Магомедгаджиев А.М.

Научный руководитель – Ходоровский А.З.

МАИ, г. Москва

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) входят в состав большинства современных бортовых систем сбора, обработки и передачи информации. Разнообразие требований, предъявляемых к этим устройствам в различных сферах применения, привело к бурному развитию данного сектора рынка электронных компонент. Достаточно сказать, что сегодня на рынке присутствуют более двух тысяч микросхем АЦП, представленных десятком фирм производителей. Широкий ассортимент данного вида изделий, различающихся параметрами, архитектурой и конструктивными особенностями, делают сложной задачу выбора микросхем, в наибольшей степени отвечающих условиям применения. Задача усугубляется, когда при выборе АЦП от потребителя требуется учесть не только собственные параметры преобразователя, но и такие общесистемные показатели как стоимость, аппаратные затраты, объёмы памяти регистрирующих и запоминающих устройств, требуемые ширину полосы пропускания каналов связи и т.д. По существу, выбор микросхем в этом случае превращается в сложную многокритериальную задачу. Облегчить выбор позволяет тот факт, что большинство из указанных параметров напрямую связаны с производительностью АЦП. Минимизация этого показателя, при заданных

ограничениях на точностные и динамические свойства, позволяет произвести выбор микросхем АЦП, в наибольшей степени отвечающих общесистемным требованиям. В докладе даются рекомендации по выбору микросхем в этом случае. Выбор основан на преобразовании множества допустимых параметров преобразования в множества оптимальных и квазиоптимальных параметров, обеспечивающих при заданной погрешности преобразования минимальную интенсивность потока данных на выходе АЦП. Применительно к рынку АЦП эта процедура трансформируется в операцию перехода от множества допустимых микросхем, отвечающих точностным требованиям, к множеству квазиоптимальных структур, обеспечивающих помимо этого ещё и минимальную производительность. Наряду с рекомендациями по выбору микросхем АЦП, проведенный анализ позволил выявить приоритетные сегодня и перспективные в будущем направления развития данного вида продукции. Эти результаты могут оказаться полезными разработчикам при выборе направлений исследований. Из доминирующих сегодня на рынке архитектур АЦП, на наш взгляд, следует выделить две: структуры на основе сигма-дельта модуляции, потеснившие в последние годы, интегрирующие АЦП, а также конвейерные архитектуры, построенные на базе различных вариантов параллельно-последовательных алгоритмов. Ещё одной из тенденций современного рынка является развитие, так называемого, сегмента встраиваемых АЦП. Речь в данном случае идёт о преобразователях, предназначенных для использования в программируемых системах сбора и обработки информации. Дополнительными требованиями, к которым, являются гибкость и возможность программного изменения в широких пределах их параметров. В рамках данного направления, представляется целесообразным проведение исследований по разработке архитектур многофункциональных программируемых кодеров, способных в широких пределах менять структуры и параметры аналого-цифрового преобразования. Исследование рынка проводилось на основе анализа АЦП, выпускаемых ведущими компаниями производителями. При этом анализ проводился по совокупному рынку и дифференцированно, по каждому производителю. Такой подход позволил выявить общие закономерности развития рынка и оценить особенности, присущие продукции каждого из поставщиков.

### **Проблемы выбора АЦП по критерию минимального объёма данных на выходе**

Азаров А.В., Магомедгаджиев А.М.  
Научный руководитель – Назаров А.В.  
МАИ, г. Москва

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) являются неотъемлемой частью современных систем сбора и передачи информации. Основными параметрами преобразователей, содержащимися в паспортных данных, являются число разрядов и частота опроса. Ими определяются погрешности квантования и дискретизации, образующие методическую часть общей погрешности преобразования. Поскольку увеличение разрядности связано, как правило, с удорожанием микросхем, то на практике за число разрядов часто берут

минимальное целое, при котором ошибка квантования не превышает общей погрешности. Оставшаяся часть относится к динамической составляющей. Расчёт требуемой частоты производят исходя из величины этой ошибки, с учётом способа восстановления и динамических свойств кодируемого сигнала. Если имеющиеся в наличии микросхемы не обеспечивают требуемого быстродействия, то число разрядов увеличивают и соответственно пересчитывают в сторону уменьшения частоты. Эту процедуру можно повторять до тех пор, пока не найдется микросхема, отвечающая требуемым параметрам. Такой подход гарантирует выполнение требований по точности, но не учитывает объёмов формируемых выходных данных. А ведь от этого показателя в значительной степени зависят ключевые параметры вспомогательных устройств, таких как требуемая ширина полосы пропускания каналов связи, мощности передающих и принимаемых устройств, объёмы памяти регистрирующих и запоминающих устройств, и т. д. Соответственно стоимость и эффективность всей системы также во многом определяются этим показателем.

Уменьшение объёма данных на выходе АЦП возможно за счёт:

- рационального выбора параметров микросхем;
- применения линейных и нелинейных видов разностной модуляции;
- использования в процессе преобразования методов адаптивной дискретизации.

В докладе проводится сравнительный анализ существующих методов сжатия данных в АЦП и даются рекомендации по их практическому применению. Рассматриваются возможности совершенствования структур АЦП за счёт создания кодеров с программируемой архитектурой.

## **Разработка поведенческой модели аналого-цифрового преобразователя**

Смолин И.Д.

НПП «Гамма», г. Москва

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) является неотъемлемым элементом цифровых устройств и предназначен для преобразования непрерывных сигналов в цифровую форму с целью их последующей обработки с помощью специализированных аппаратных и программных средств цифровой обработки сигналов. Для выбора АЦП, удовлетворяющего техническим требованиям, предъявляемым к разрабатываемому устройству, на этапе проектирования необходимо проводить количественную оценку искажений, вносимых преобразователем в сигнал, порой не обладая самим преобразователем. Традиционно данная оценка проводится с помощью физического моделирования АЦП на уровне электронных схем (SPICE-модели). Такие модели дают наибольшую точность при учете неидеальностей реального преобразователя, однако, теряют независимость от его аппаратной реализации, а также приводят к значительному увеличению времени симуляции.

Для устранения данных недостатков физическую модель можно заменить на поведенческую, которая позволяет учитывать физические эффекты преобразования с помощью их математических моделей. Для создания такой



модели в работе был проведен обзор аппаратных реализаций АЦП, их основных характеристик и параметров (характеристика преобразования, частота дискретизации, разрядность и т.д.), а также выделен ряд эффектов, сопровождающих процедуру преобразования (шумы квантования, джиттер тактового сигнала, нелинейные искажения). С учетом рассмотренных параметров, характеристик и эффектов, была разработана обобщенная поведенческая модель АЦП в среде Simulink для преобразования сигнала фиксированной промежуточной частоты (ПЧ). Для проверки работоспособности модели ее параметры были установлены в соответствии со спецификацией на АЦП AD9467 от AnalogDevices. В качестве результатов моделирования представлены значения основных параметров, характеризующих искажения: коэффициент нелинейных искажений (THD), отношение сигнал/шум (SNR), отношение сигнал/шум/искажения (SINAD), свободный от гармоник динамический диапазон (SFDR), эффективное число бит (ENOB). Расчет указанных параметров поведился в спектральной области, при подаче на вход модели тестового гармонического сигнала ПЧ с фиксированной амплитудой. Для верификации результатов было проведено сравнение вычисленных значений с соответствующими значениями, полученными в среде VisualAnalog с использованием готового блока АЦП AD9467. Сравнение также производилось со значениями, полученными на основе реальных измерений с выхода АЦП 12D1800 от TexasInstruments.

Разработанная модель может быть использована при моделировании цифрового тракта разрабатываемого устройства, для более полного анализа характеристик цифровой системы в целом. В качестве дальнейшего развития модели планируется использование частотных характеристик АЦП для преобразования полосовых сигналов с любой центральной частотой во всем частотном диапазоне преобразования.

### **Алгоритм тематической классификации гиперспектральной информации**

Третьяков В.А., Данилов Р.Ю., Акопов А.К.

Научный руководитель — Асташкин А.А.

ФГУП ЦНИИмаш, г. Москва

В настоящее время в нашей стране гиперспектральное (ГС) ДЗЗ является активно развивающимся направлением. Для интерпретации данных ГС ДЗЗ и решения тематических природоресурсных задач требуется разработка алгоритмов, в основе которых лежат методы статистического распознавания объектов. Существует множество отечественных и зарубежных публикаций, в которых описываются подобные методы, а также результаты применения их в тематической обработке ГС данных. Однако анализ литературных источников показал, что не существует универсального инструмента для решения подобных задач. В данной работе не совершенствуется существующий научно-методический аппарат, а разрабатывается алгоритм для решения задачи распознавания пораженной и здоровой пшеницы с помощью средств ДЗЗ. В основе разрабатываемого алгоритма лежит метод контролируемой классификации – метод максимума правдоподобия. Признаками распознавания

являются коэффициенты спектральной яркости (КСЯ) объектов, по которым строятся нормальные распределения рассматриваемых классов. Особенностью их построения в данной работе является обоснованное использование количества КСЯ, которое станет основой для получения обучающей выборки. Ещё одной рассматриваемой проблемой является уменьшение количества спектральных признаков и поиск информативных зон. Объем выборки и количество спектральных информативных зон для распознавания объектов с заданной точностью определяются в условиях оценки нижней границы вероятности ошибки: проведение классификации объектов по тестовой выборке, равенство ковариационных матриц двух рассматриваемых классов, отсутствие корреляции спектральных признаков.

В перспективе полученная выборка из минимально необходимого количества спектров и минимально необходимого количества спектральных признаков позволит сделать шаг в сторону получения более точной выборки, которая может быть использована в качестве обучающих образов при распознавании двух классов объектов на ГС изображениях, полученных из космоса.

В результате проведенных исследований разработан алгоритм тематической классификации гиперспектральной информации с оптимистическим нижним пределом вероятности ошибки. Выполнены практические расчеты с использованием экспериментально отработанных методик получения и обработки КСЯ растительности на основе опыта многолетних наземных спектральных измерений, проведенных на Краснодарском тестовом участке с целью отработки разработанного алгоритма.

Дальнейшим шагом в исследованиях станет рассмотрение процесса обучения классификатора и обоснование количества обучающей выборки и спектральных диапазонов с учетом снятия наложенных ограничений, связанных с нижней границей вероятности ошибки распознавания двух классов объектов, тем самым приближаясь к реальным условиям обработки космической ГС информации.

## **Система распознавания образов с использованием искусственных нейронных сетей**

Игонин Д.М.

Научный руководитель – Сverdлов Б.Г.

МАИ, г. Москва

Система распознавания используется в разных областях техники, в частности в радиолокации. Задача исследования заключается разработка системы распознавания образов летательных аппаратов на фоне подстилающей поверхности. В качестве устройства обработки была предложена искусственная нейронная сеть типа однослойный персептрон.

Задача распознавания образов летательных аппаратов на подстилающей поверхности имеет свою специфику. На качество распознавания влияет уровень шумов, угол поворота изображения, масштаб, разрешающая способность полученных изображений и т.д.

Система распознавания образов включает:

- устройство получения и передачи изображений подстилающей поверхности на летательном аппарате,

- устройство обработки изображения на наземном пункте управления.

На наземном пункте управления происходит обработка полученных изображений и распознавание с помощью искусственных нейронных сетей. Решение поставленной задачи выполнялось в несколько этапов. Для отработки принципов распознавания и тестирования работы алгоритма искусственной нейронной сети был рассмотрен процесс распознавания цифр. Это позволило понять возможности использования искусственной нейронной сети для решения более сложных задач. Цифры были представлены изображением размером 8x8 пикселей. Обученная нейронная сеть распознавала изображения на фоне шумов. Качество распознавания зависело от выбранной процедуры обучения искусственной нейронной сети и от схожести символов. Распознавание изображений цифр проводилось на рисунке размером 64x64 пикселей. В работе приведены результаты, показывающие, что при увеличении количества циклов обучения, увеличивается качество распознавания. На основе полученных результатов был осуществлен переход к решению основной задачи.

В качестве исходных данных были использованы изображения самолетов размером 32x40 пикселей, при этом размер подстилающей поверхности содержит не менее 512x512 пикселей. Это обстоятельство существенно увеличивает загрузку и время распознавания, поскольку искусственной нейронной сети будет предложено большое количество распознаваемых изображений. В связи с этим предложена следующая модернизация первоначального алгоритма распознавания:

- добавлены признаки, классифицируемых летательных аппаратов;
- обычные умножения были заменены на тривиальные;
- улучшена точность вычисления за счет разделения обработки на несколько этапов;
- значительно увеличено быстродействие, за счет использования массива координат областей подстилающей поверхности;
- уменьшена вероятность пропуска цели, за счет фильтрации шумов.

В результате сравнительного анализа полученных результатов были сделаны следующие выводы:

- – скорость распознавания увеличена в 20 раз по сравнению с не модернизированным алгоритмом;
- – увеличилась вероятность правильного обнаружения на 5% по сравнению с немодернизированным алгоритмом.

### **Помехоустойчивость квазигогерентного демодулятора сигнала BPSK, выполненного на основе системы GLSS**

Алексеев Г.А.

Научный руководитель – Мартиросов В.Е.

МАИ, г. Москва

Квазигогерентные демодуляторы на основе систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) нашли широкое распространение в современных телекоммуникационных системах различного назначения. Это обусловлено высокой помехоустойчивостью квазигогерентных алгоритмов демодуляции, близкой к потенциальным значениям (BER) когерентного приема. В тоже время

реализация эффективных квазикогерентных систем является нетривиальной задачей, поскольку на практике предъявляются жесткие и зачастую противоречивые требования ко всему комплексу параметров таких систем. Так например, зачастую требуется обеспечение расширенной полосы захвата по частоте и снижение времени вхождения в синхронный режим работы при наличии высоких фильтрующих свойств и отсутствии остаточной фазовой ошибки (астатизм) в режиме слежения.

В данной работе приведены результаты сравнительного исследования качества функционирования двух структур квазикогерентной демодуляции сигналов BPSK (англ. binaryshiftkeying): получившая широкое распространение схема Костаса, и предложенная авторами инновационная структура, выполненная на базе глобально линеаризованной системы синхронизации (англ. GLSS).

Исследования проводились в условиях характерных для функционирования телекоммуникационных систем использующих каналы радиосвязи: передаваемый сигнал подвергался воздействию аддитивного белого гауссова шума (АБГШ), частота и фаза передаваемого сигнала имели случайное значение вследствие эффекта Доплера и задержки распространения в канале связи.

Сравнение систем проводилось по следующим параметрам: вероятность битовой ошибки BER (англ. biterrorrate) и ширина полосы захвата по частоте. Исследования проводились при выровненных эквивалентных шумовых полосах (фильтрующих свойствах) алгоритмических реализаций указанных структур. На данном этапе исследований вводилась идеализированная тактовая синхронизация демодуляторов.

В данном сообщении показаны результаты исследований, полученные методом имитационного моделирования в среде MATLAB/Simulink. Полученные результаты могут быть использованы для обоснования выбора структуры и параметров квазикогерентного демодулятора BPSK сигнала при проектировании современных систем связи.

## **Влияние приаэродромной застройки на работу радиолокационных объектов**

**Григорьева Е.Р., Иванова П.И.**

**Научный руководитель – Соколов О.А.**

**СПбГУ ГА, г. Санкт-Петербург**

Речь в данной работе идет о размещении средств РТОП на аэродроме. То, или иное оборудование устанавливается на аэродроме, в соответствии с приказом ФСБТ РФ от 11.08.2000 № 248. Однако, за последние 20 лет сложилась повсеместная практика хаотичной и бесконтрольной застройки территории вблизи многих аэродромов России, без учета основных требований к строительству. Так, в жилой зоне, где уровень электромагнитной энергии превышает предельно допустимые величины, должны производиться необходимые мероприятия по его снижению. К таким мероприятиям относятся: ограничение мощности радиопередающих объектов, изменение направления угла излучения и высоты установки антенн, вынос радиопередающего объекта за пределы жилой застройки и т.п. Таким образом, в данной работе

рассматривается вопрос, какие документы регламентируют установку средств РТОП, а какие застройку в приаэродромной зоне, т.к. данные постройки влияют как на безопасность полетов, так и на жизни тысяч людей, которые приобрели жилье на приаэродромной территории и проживают в заведомо вредных условиях.

Казалось бы абсурдным то, что застройщики получают разрешение на строительство, выданное Администрацией и одновременно нарушают действующее законодательство РФ. Яркий пример тому нашумевший случай произошедший в г. Саратове, когда дома уже начали вводиться в эксплуатацию и к удивлению дольщиков, обнаружилось, что претензии к домам имеет транспортная прокуратура. Как оказалось, здания мешают радиолокаторам, работающим на территории аэропорта. По заключению специалистов госкорпорации по организации воздушного движения, «создан угол закрытия воздушного пространства, что приводит к существенному ухудшению эффективности работы радиолокатора и дальности обнаружения им физических объектов, это снижает пропускную способность на нескольких воздушных трассах». Это далеко не единственный случай, данный вопрос остается открытым во многих городах России.

К сожалению, вопрос в наши дни остается открытым, как же обязать компетентный орган по выдаче разрешение на строительство учитывать нормы ВК РФ и других нормативных документов, регламентирующих застройку в приаэродромной зоне. Ведь жилье вблизи аэропортов весьма привлекательно, как близостью для работников, так и зачастую своей стоимостью.

## **Модель программно-определяемой радиосистемы обмена информацией**

Брюханова Е.Н.

МАИ, г. Москва

Программно-определяемые радиосистемы (Software-definedradio (SDR)) активно развиваются, благодаря большому спросу на современное телекоммуникационное оборудование, имеющее широкие возможности настройки. SDR позволяет программно устанавливать и изменять рабочие радиочастотные параметры, такие как диапазон частот и тип модуляции. Главным преимуществом SDR системы является ее универсальность, выражающаяся в том, что систему можно перепрограммировать на любую модуляцию и стандарт передаваемой информации.

Разработанная модель позволяет обрабатывать сигналы на основе стандарта IEEE 802.11. Прием радиосигнала осуществляет устройство bladeRF в диапазоне 2.412 – 2.462 ГГц в соответствии с заданным стандартом. В свою очередь, bladeRF соединено с персональным компьютером посредством интерфейса USB 3.0. Разработанный программный продукт анализирует принятые данные и управляет приемником.

В среде моделирования MatlabSimulink реализован приемный тракт сигнала стандарта IEEE 802.11 и устройства.

- Создана приемная часть для физического уровня, а именно фильтрация, демодуляция цифрового сигнала.

- Создано декодирование потока информационных бит, т.е. чтение пакетов уровня передачи данных (кадров).

- Осуществлен текстовый вывод данных в принятых кадрах, таких как идентификатор беспроводной сети (ServiceSetIdentifier), MAC адреса отправителя и получателя, тип кадра (служебный, управляющий, информационный).

Блок `bladerf_source` представляет источник сигнала, в котором задаются параметры устройства: несущая частота, частота дискретизации, ширина полосового фильтра и коэффициент усиления сигнала. Сигнал поступает из этого блока в комплексной форме, без несущей частоты. Далее сигнал усиливается и поступает на блок контроля принимаемого сигнала `ReceiverController`. Данный блок управляет декодером, анализируя за счет обратной связи PLCP заголовок, несущий информацию о возможности дальнейшего декодирования в нем MPDU пакета (определяется видом модуляции), а также его длину. Также в этом блоке осуществляется сужение спектра сигнала, поэтому частота дискретизации сигнала на выходе уменьшается с 22 МГц до 1 МГц. После блока синхронизации данные поступают на блок декодера.

В декодере сигнал демодулируется в поток бит, декодируется в блоке дискремблера. Биты поступают в блок `PacketParser`, являющегося функцией, которая определяет начало и длину PPDU пакета, передавая его следующему блоку для декодирования. В блоке `PacketDecoder`, в котором вычисляется и сравнивается контрольная сумма PPDU пакета, анализируется его заголовок, из PPDU пакета извлекается MPDU. Все полученные данные из пакетов PPDU и MPDU поступают на блок вывода `Received MPDU`, параллельно передавая управление блоку синхронизации `ReceiverController`. Широкополосный сигнал представляет собой сигнал, расширенный с помощью последовательности Баркера и оцифрованный приемником с частотой дискретизации 22 МГц. Затем сигнал преобразован в узкополосный с помощью другой 11-битной последовательности Баркера, путем скалярного произведения векторов. В результате каждому отсчету соответствует одно значение фазы, несущей 1 бит. Положительная амплитуда синфазной составляющей узкополосного сигнала соответствует фазе 0 радиан, а отрицательная  $\pi$  радиан. Так как модуляция относительная, изменение фазы означает "1", а сохранение "0".

## **Моделирование узкополосных шумов и смеси сигнала и шума на выходе амплитудного детектора**

Юнусова В.С.

Научный руководитель – Ильин А.Г.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Качество приема радиоприемных устройств зависит от их помехоустойчивости. В данной работе повышение помехоустойчивости предлагается добиться за счет нелинейного преобразования смеси сигнала и шума.

Автором исследуется структура и особенности шумов первых каскадов радиоаппаратуры, т.к. их влияние на общий уровень шума системы наиболее

высокое. Для описания узкополосных шумов в настоящее время наибольшее применение нашла модель, основанная на теории амплитудно-модулированных колебаний, в которой случайный процесс рассматривается как квазигармоническое колебание. Однако, при таком рассмотрении остаются необъяснимыми такие явления как расширение спектра на выходе детектора и перескок фазы высокочастотного колебания на  $\pi$  при переходе огибающей через ноль.

Для уточнения модели узкополосных шумов было произведено моделирование прохождения случайного процесса через квазиоптимальный линейный фильтр и амплитудный детектор в среде Matlab.

По результатам проведенного моделирования были сделаны следующие выводы: Корректное моделирование узкополосного шума дает адекватные результаты только в случае использования уточненной модели узкополосных шумов, согласно которой узкополосные шумы на выходе линейного фильтра могут быть представлены в виде квазигармонических колебаний со структурой сигнала биений. Таким образом, перескоки фазы объясняются тем, что узкополосные шумы являются сигналами биений двух боковых полос. При этом частота перескоков фазы определяется полосой пропускания узкополосного фильтра.

Далее для подтверждения гипотезы, что смесь сигнала и шума и просто шума имеют спектральные отличия в своей структуре после прохождения через нелинейные цепи, было проведено моделирование прохождения узкополосного шума и смеси узкополосного шума и прямоугольных импульсов через амплитудный детектор.

Таким образом, с помощью созданных математических моделей было доказано, что существуют структурные отличия между смесью сигналом и шумом и просто шумом на выходе амплитудного детектора.

Также с помощью созданных математических моделей было рассмотрено распределение огибающей на выходе амплитудного детектора. Если полоса пропускания амплитудного детектора намного шире полосы пропускания фильтра на его входе, то амплитудное распределение сигнала на выходе детектора подчиняется экспоненциальному закону. При полосе пропускания детектора близкой к полосе пропускания фильтра распределение огибающей близко к закону Рэлея. Когда полоса пропускания детектора намного меньше полосы пропускания фильтра на его входе, то распределение амплитуд выходного сигнала подчиняется нормальному закону.

Полученные особенности могут быть использованы для повышения помехоустойчивости существующих радиоприемных устройств.

## **СЕКЦИЯ № 28. Радиоэлектронные системы и комплексы**

Руководитель секции: д.т.н., с.н.с. Сычёв М.И.

---

### **Радиолокационное распознавание траектории движения цели**

Ашряпов М.И.

Научный руководитель – Охотников Д.А.

МАИ, г. Москва

Методы радиолокационного распознавания статичного или линейного движущегося объекта достаточно широко описаны в литературе. Идентификация такого объекта происходит по уникальному именно для него радиолокационному портрету.

Современная элементная база позволяет создавать радиолокационные системы, способные вести наблюдение за человеком, так называемые системы биорадиолокации. Такие устройства уже используются в медицине, при спасении людей, в антитеррористических операциях. Отличительной особенностью таких систем является возможность не только произвести обнаружение человека, но и способность анализа траектории его движения, что часто используется в медицинских приборах, например, при бесконтактном определении частоты дыхания и сердцебиения человека. Анализ же осознанных движений человека позволит создать устройства распознавания его жестов, что достаточно актуально для современных систем управления, что требует более сложных систем распознавания, чем системы, работающие по статичным или линейно перемещающимся целям. Такие системы могут использоваться для решения достаточно широкого перечня задач: начиная от игровых систем (кинекты) и систем управления бытовой техникой, заканчивая системами, используемыми в военных целях.

Сравнительно низкая полоса частот движений человека, позволяет проводить корреляционный анализ сигнала на доплеровских частотах, что делает систему менее требовательной к вычислительным ресурсам и дает возможность одновременного распознавания большего числа заданных траекторий при той же вычислительной мощности в режиме реального времени.

Радиолокатор, на базе которого построена система, использует корреляционную схему с двумя квадратурными каналами. Зондирующим сигналом является короткий радиоимпульс длительностью 2 нс и частотой заполнения 6.5 ГГц.

Ядро системы состоит из блока настраиваемых фильтров и базы эталонных сигналов. Фильтры выполняют алгоритм корреляции с входным сигналом и имеющимся предположительным сигналом. Фильтрация может выполняться параллельно, что также снижает нагрузку на вычислительные мощности системы.

В докладе приведены результаты моделирования распознавания траектории движения цели с переменной эффективной площадью рассеяния, а также результаты экспериментов с применением сверхширокополосного



радиолокатора при распознавании движения руки человека, пишущего буквы русского алфавита.

## **Использование сферической модели земли при расчёте высокодетальных режимов съёмки в космических РСА**

Булыгин М.Л.

Научный руководитель – Орлов В.П.

МАИ, г. Москва

Современные космические радиолокаторы синтеза апертуры (РСА) реализуются как многорежимные радары бокового обзора Земной поверхности. Высокие технические требования, предъявляемые к размерам кадра и величине разрешающей способности, в таких радиолокаторах достигаются за счет реализации сложных режимов съёмки, одним из которых является режим скользящей прожекторной съёмки (SlidingSpotlight).

Подход к реализации данного режима основан на азимутальном сканировании лучом диаграммы направленности (ДН) в процессе съёмки. При этом скорость сканирования выбирается таким образом, что бы обеспечить разрешение по азимуту выше, чем в обычной маршрутной съёмке.

Реализуемый размер кадра вдоль линии пути космического аппарата (КА) в данном режиме многократно превышает размеры следа луча ДН на поверхности Земли. Это достигается за счет полного использования возможностей антенны по отклонению луча ДН в азимутальной плоскости: азимутальный сектор сканирования лучом ДН в таком режиме в несколько раз превосходит ширину луча ДН. Это приводит к тому, что при расчетах характеристик такого режима невозможно пренебрегать сферичностью Земли вдоль линии пути космического аппарата (КА).

Основными особенностями расчета режима скользящей прожекторной съёмки при использовании сферической модели Земли будут следующие:

- Поскольку высота орбиты современных РСА составляет примерно 10% от среднего радиуса Земли, то скорость движения КА и скорость перемещения подспутниковой точки, а значит и скорость перемещения следа луча по поверхности Земли, будут отличаться друг от друга. Расчеты показывают, что скорость перемещения луча будет примерно равняться скорости движения подспутниковой точки, которая отличается от линейной скорости КА на величину коэффициента сферичности.
- Величина углового интервала вращения ДН (отсчитываемого из точки вращения, лежащей далеко за пределами кадра) будет больше величины азимутального сектора сканирования ДН антенны (который отсчитывается от нормали к апертуре). Причем согласно расчетам, указанные величины будут отличаться друг от друга на величину примерно равную коэффициенту сферичности.

Учет указанных особенностей визирования при расчете основных характеристик режима и алгоритма управления БА при реализации скользящей прожекторной съёмки позволяет выявить значительные отличия модели плоской и сферической Земли. Например, азимутальная разрешающая способность

улучшится примерно на 10% при сохранении протяженности кадра вдоль линии движения КА.

Таким образом, на примере режима скользящей прожекторной съемки показана необходимость использования соотношений сферической модели Земли при расчете высокодетальных режимов наблюдения Земной поверхности в космических РСА. Представленные особенности необходимо учитывать как при теоретическом расчете режимов, так и при разработке алгоритмов управления бортовой аппаратурой.

### **Селекция движущихся целей в РЛС с синтезированием апертуры антенны при вращении фазового центра реальной антенны: анализ и тенденции развития**

Дроздов Д.О.

Научный руководитель – Татарский Б.Г.  
МАИ, г. Москва

Одним из главных направлений развития вооруженных сил РФ в XXI веке стала разведка, так как обладание оперативной, достоверной, полной информацией является решающим фактором успеха при введении боевых действий, информационных войн. Среди технических средств разведки выделяются активные радиолокационные станции (РЛС) воздушного базирования со сверхвысокой разрешающей способностью. Такие системы способны обеспечивать непрерывное детальное наблюдение земной и морской поверхности на большом удалении от самолета-разведчика, независимо от метеорологических условий и времени суток. Поэтому они играют важную и всё возрастающую роль в информационном обеспечении боевых действий войск.

В РЛС воздушной разведке благодаря реализации принципа синтезированной апертуры антенны и быстрым алгоритмам цифровой обработке сигналов удается получить разрешающую способность на радиолокационном изображении, сравнимую с оптической, причем информация о объекте наблюдения содержится не только в интенсивности, но и в частоте, фазе и поляризации отраженных радиолокационных сигналов. В отличие от оптических систем РЛС с синтезированием апертуры позволяют вести наблюдение объектов и местности через туман, облака, дымовые и пылевые завесы, растительные, снежные и ледовые покровы. Широкое использование принципа синтезированной апертуры антенны позволило применить этот режим не только в РЛС воздушной и космической разведки, но и в многофункциональных РЛС неразведывательной авиации для решения навигационных и ударных задач по наземным и морским объектам. При этом могут обнаруживаться как неподвижные, так и движущиеся объекты.

Важнейшей задачей РЛС с синтезированием апертуры является обнаружение движущихся наземных и морских целей, а также их селекция на фоне местности и неподвижных объектов. В качестве целей могут быть танки, автомашины, подвижные ракетно-артиллерийские системы, корабли. Необходимо решение задачи селекции наземной движущейся цели (СНДЦ) при наведении высокоточного оружия по движущимся объектам противника, осуществлении безопасного десантирования, обнаружении перемещающихся скоплений войск,

а также при навигации. Наряду с военными задачами режим СНДЦ может быть применен при обнаружении движущихся айсбергов, нефтяных пятен, на поверхности взволнованной морской поверхности, оценки волнения моря, оперативного контроля чрезвычайных ситуаций (пожаров, наводнений, землетрясений, катастроф транспортных средств) и во многих других задач.

В докладе рассматривается классификация методов и алгоритмов решения задачи СНДЦ (некогерентные, когерентные, алгоритмы ЧПК, обнаружение в режиме радиолуча, а также в режимах доплеровского облучения луча и РСА: моноимпульсный, интерферометрический, с остановкой фазового центра (ФЦ) реальной антенны). При рассмотрении данных методов учитывается возможность использования перечисленных алгоритмов при синтезе апертуры в условиях вращения ФЦ реальной антенны, который имеет существенные особенности по сравнению с классическим методом синтезирования.

### **Особенности частотного планирования бортовых РЭС для целей обеспечения их ЭМС**

Васин А.А., Короткова К.М.

Научный руководитель – Пономарёв Л.И.

МАИ, г. Москва

В последние годы наблюдается интенсивное увеличение числа радиоэлектронных средств (РЭС) различного назначения, используемых на борту самолетов. Причем каждое РЭС имеет собственную антенную систему для выхода в эфир. Число антенн для различных типов самолетов может достигать нескольких десятков, а в некоторых случаях доходит до сотни [1]. При этом РЭС, расположенные на самолете, находятся в ограниченном объеме, определяемом геометрией и размерами борта. В результате при одновременной работе они создают значительный уровень непреднамеренных помех друг другу по антенному каналу. Поэтому проблема их электромагнитной совместимости (ЭМС) является чрезвычайно важной и актуальной.

В настоящей работе рассматривается алгоритм анализа электромагнитной обстановки для различных РЭС, размещенных на борту самолета. В ходе имитационного моделирования параметры отдельных РЭС задавались по случайному закону в границах, определенных на основе обзора литературы. В соответствии с разработанным алгоритмом на выходе линейной части приемного устройства каждой РЭС определяется уровень дополнительных непреднамеренных помех, возникающих из-за излучений передающих устройств соседних РЭС. Для принятия решения об электромагнитной совместимости отдельных РЭС используется энергетический подход [2].

Для расчета уровня мощности дополнительных помех на входе РЭС от соседних РЭС необходимо знать параметры антенно-фидерных устройств не только в рабочей полосе частот. Для оценки коэффициентов усиления антенн на рабочих частотах используется два подхода:

- использование приближенных аналитических выражений, приведенных в [3];
- использование метода статистического усреднения [4] большого числа антенн с различной направленностью.

В случае нарушения ЭМС бортовых систем предлагается использовать алгоритм уменьшения области пересечения полос пропускания радиоприемных устройств и полос излучения радиопередающих устройств за счет оптимального выбора частотного плана каждой из конфликтующих РЭС. При этом рассматриваются области пересечения основных и побочных каналов излучения и приема (включая излучение и прием на гармониках и субгармониках), а также интермодуляционных и иных каналов приема. Предложенный алгоритм позволяет провести оптимизацию частотного плана бортового радиотехнического комплекса в целом для обеспечения совместной работы нескольких десятков РЭС при условии, что каждая РЭС имеет порядка десяти каналов приема и излучения.

### **Мониторинг зоны ответственности транспортных средств с помощью распределенной радиолокационной системы с режимом синтезирования апертуры**

Майстренко Е.В.

Концерн радиостроения «ВЕГА», г. Москва

Системы обзора окружающего транспортное средство пространства на сегодняшний день являются наукоемкими и актуальными. Во многом они предназначены для решения задач безопасного движения, раннего предупреждения о различного рода препятствиях, в том числе предотвращения несчастных случаев с участием людей и транспорта, статистика которых сегодня не утешительна. Тем не менее, современные системы как правило строятся на основе средств оптического и реже ИК диапазона, имеющих ряд известных существенных недостатков. В сложившихся условиях становится актуальной разработка более универсальных с точки зрения указанных параметров систем, что является возможным в радиодиапазоне.

Предлагаемый алгоритм, лежащий в основе формирования радиолокационного изображения в интересующем секторе наблюдения является по сути искусственным формированием апертуры антенны. Тем не менее, реализован на согласованном во времени попеременном переключении приемопередающих модулей, фиксированно расположенных в априорно известных позициях, что позволяет сформировать эталонный сигнал и получить достаточную энергетику для формирования радио-яркого изображения.

В докладе представлен обзор проведенных исследований по теме радиомониторинга области, окружающей носитель радиолокационной системы. Рассмотрены алгоритмы формирования изображений, основанные на принципах синтеза апертуры реальной антенны при вращении ее фазового центра. При этом показана возможность синтеза апертуры за счет электронного управления приемо-передающих модулей с априорно известным расположением. Данный способ формирования изображений в ряде случаев качественно не уступает известным принципам синтеза, что подтверждается результатами детально проведенного моделирования. Приведен результат интерферометрической обработки принимаемых сигналов, позволяющей существенно улучшить информативность в целом системы радиомониторинга.

В докладе приводятся результаты сформированных моделей указанных систем радиовидения, предполагаемых к размещению в автомобилях и поездах. Проведенный анализ моделей систем радиовидения позволяет с уверенностью говорить о работоспособности данных систем.

## **Пеленгация точечных источников излучения в условиях многолучевого распространения радиоволн**

Мерьков А.Ю.

Научный руководитель – Сычев М.И.

МАИ, г. Москва

В современной радиолокации и радионавигации крайне важную роль играют методы определения углового положения цели. Они могут быть использованы как для определения местоположения потребителя, для решения навигационных задач, так и для пеленгации источников сигналов для задач радиоразведки (для этих задач подходят только пассивные системы так, как необходима повышенная скрытность и пониженное энергопотребление). Особенный интерес вызывают пассивные системы, которые позволяют пеленговать в сложных условия местности, например в городе, где много побочных отражателей (в условиях многолучевого распространения). В такой местности сигнал от пеленгуемого источника может приходить к системе разными путями, отражаясь от многих объектов. В этих условия крайне сложно различить истинный сигнал, пришедший напрямую, и ложный, отраженный от какого либо объекта, так как они сильно коррелированы друг с другом.

В настоящее время существует большое количество пассивных методов определения углового положения источников радиоизлучения, начиная от самых простых: амплитудных, фазовых методов до сложных, с множеством этапов обработки.

У всех предыдущих методов существует общий недостаток это то что, они могут пеленговать только один полезный сигнал, если же сигналов много, то они не могут различить их.

Чтобы различить большое множество сигналов необходимо применять методы пространственно-временной обработки. Они подразумевают использование антенной решетки в сочетании с многоканальным приемником для формирования пространственно-временного распределения поля по апертуре и цифрового вычислительного блока, реализующего алгоритм обработки. Для получения комплексного сигнала необходимо иметь квадратурный демодулятор в каждом канале приемника. В качестве алгоритма оценивания угловых координат целей, реализуемого в процессоре пространственно-временной обработки в работе используется метод MUSIC (MultipleSignalClassification). Он позволяет пеленговать близко расположенные точечные источники излучения. В его основе лежат свойства собственных значений (СЧ) и собственных векторов (СВ) пространственно-временной корреляционной матрицы. Однако точность данного алгоритма серьезно ухудшается при работе системы в условиях многолучевого распространения. В работе рассмотрены методы повышения точности работы алгоритма. Среди них:

- учет точечного характера источников излучения;

- усреднение по апертуре.

По результатам моделирования в среде Matlab можно сделать выводы о высокой эффективности выбранных методов и о возможности их применения в реальной системе пеленгации, построенной по рассматриваемой ранее структуре.

## **Многопозиционный радиолокатор для охраны периметра аэродрома**

Пащенко А.А., Свердлов Б.Г.

Научный руководитель – Охотников Д.А.

МАИ, г. Москва

Целью данной работы являлось создание многопозиционного радиолокатора, основная функция которого заключается в охране периметра аэродрома. Данное устройство крайне необходимо в связи с несовершенностью существующих методов охраны, так как видеонаблюдение за территорией периметра, ее обход крайне затруднительны ввиду многих природных и человеческих факторов. На данный момент существует множество радиолокационных приборов, позволяющих непрерывно следить за территорией. Разрабатываемый прибор, в отличие от представленных на рынке радиолокационных обнаружителей, имеет возможность измерения расстояния от прибора до постороннего, а также вычисления скорости его передвижения в пределах охраняемой территории.

Первым этапом разработки данного устройства являлось создание основного узла радиолокатора на основе корреляционной схемы с двумя квадратурными каналами. Данная схема является оптимальным решением для обработки отраженного от объекта аналогового сигнала с несущей частотой 3.5 ГГц. Использование двух квадратурных каналов корреляционной схемы обеспечивает повышенную точность обнаружения объекта. Принцип действия основывается на том факте, что сигнал, отраженный от подвижного объекта, отличается от сигнала, отраженного от неподвижных предметов. Устройство регистрирует сигнал от подвижного объекта и позволяет точно определить его скорость и местоположение.

Вторым этапом разработки являлось внедрение в схему АЦП и дальнейшую программную обработку полученного с коррелятора сигнала. Под программной обработкой подразумевается программа, написанная с использованием языков C и C++. Программа по заданному алгоритму объединяет сигналы с двух квадратурных каналов и с помощью порогового устройства определяет, есть ли посторонний в заданной зоне или нет.

На третьем этапе происходит анализ данных всех позиций с целью определения макрозон, в которых произошло нарушение периметра.

В экспериментальной части разработки была проведена серия экспериментов, в течение которых разработанное устройство испытывалось в различных ситуациях. Имитировалось нахождение постороннего человека в зоне действия радиолокатора на расстояниях от 1 до 100 метров, а также происходило тестирование работы устройства и его программного обеспечения. Эксперименты показали устойчивое обнаружение постороннего на всем диапазоне работы прибора.

Результатом выполненной работы является рабочий прототип многопозиционного радиолокатора, а так же документация и программное обеспечение.

### **Уточнение системы координат единой радиолокационной карты при решении задачи сшивки**

Романов А.А.

Научный руководитель – Татарский Б.Г.

МАИ, г. Москва

Совмещение и сшивка радиолокационных изображений (РЛИ) земной поверхности является актуальной задачей.

Совмещение нескольких РЛИ одного участка местности, полученных в разное время, позволяет выявлять изменения на местности, возникающие в результате деятельности человека или природных катаклизмов.

Съемка огромной территории множеством различных радиолокационных станций (РЛС) землеобзора способствует формированию большого числа отдельных РЛИ земной поверхности. В таких случаях в целях повышения эффективности дешифрирования и вторичной обработки целесообразно формирование единого многослойного изображения – единой радиолокационной карты – путем совмещения (сшивки) отдельных РЛИ земной поверхности воедино.

Ключевым этапом совмещения РЛИ земной поверхности является этап ориентации. Данный этап заключается в поиске преобразования из системы координат (СК) каждого РЛИ в некоторую единую СК – систему координат искомой единой радиолокационной карты. При отсутствии или больших погрешностях в географической привязке и элементах внешнего ориентирования РЛИ в качестве единой СК выступает СК одного из обрабатываемых РЛИ, которое называется базовым. По результатам анализа возможных геометрических искажений и аналитического обзора литературы в качестве математической модели искомых преобразований СК было выбрано проективное.

Если плоскость базового изображения не параллельна земной поверхности (например, базовое РЛИ не прошло радарграмметрическую обработку), сшивка РЛИ, полученных с различных ракурсов, может привести к некорректным результатам, порождающим изображения бесконечного размера, что делает невозможным создание искомой единой радиолокационной карты в этом случае.

В данном докладе предложен алгоритм уточнения системы координат искомой единой радиолокационной карты, который позволяет избежать возникновения изображений бесконечного размера при сшивке путем уточнения ориентации базового РЛИ земной поверхности.

## **Исследование влияния фазовых нестабильностей дискретов ДКЧС Костаса на характеристики сжатия радиолокационного сигнала**

Сапронов Д.И.

Научный руководитель – Каменский И.В.

МАИ, г. Москва

С момента появления первых радиолокационных станций задача выбора зондирующего сигнала стала одной из основных проблем радиолокации. Результатом поиска сигналов, позволяющих добиваться совместной высокой разрешающей способности по дальности и по частоте, стало появление сложных сигналов с внутриимпульсной модуляцией. Одним из наиболее ранних открытых способов такой модуляции является линейная-частотная модуляция, используемая в локаторах в 40-ых годах и сохранившая популярность по сей день. Однако функция неопределённости (ФН) таких сигналов далека от идеального «кнопочного» вида, за счёт взаимной корреляции частотных составляющих внутри сигнала и, как следствие, появления диагональных боковых лепестков в ФН. Открытые позже способы внутриимпульсной модуляции были направлены на то, чтобы уменьшить уровень боковых лепестков функции неопределённости. Среди множества таких сигналов можно выделить дискретно кодированные по частоте сигналы ДКЧС, с кодом частоты называемым «массивом Костаса», предложенным в 1965 году американским учёным Дж. П. Костасом. Такие ДКЧС были изучены и развиты в дальнейшем, как зарубежными (С.В. Голомб, Х. Тейлор, Э.Л. Титлебаум и др.), так и отечественными учёными (Плёткин В.Я., Каменский И.В., Власов В.Н. и др.) Особенностью данных сигналов является функция неопределённости почти идеального «кнопочного» вида, и, как следствие, высокая помехозащищённость и скрытность работы РЛС с их использованием.

Однако, несмотря на довольно хорошую теоретическую освещённость ДКЧС Костаса, вопросы их применимости в реальных радиолокационных задачах нуждаются в дополнительном изучении. Так, до сих пор не решены задачи нахождения массивов Костаса любой размерности, и последние исследования либо решают проблему лишь для некоторых конкретных случаев, либо посвящены ускорению алгоритмов поиска среди наборов чисел заданной размерности. Кроме того, практически отсутствуют аналитические обоснования выбора параметров для формирования и обработки ДКЧС. Например, до сих пор открытым является вопрос об устойчивости ДКЧС к шумам и помехам различного рода. Изучению влияния фазовых шумов (нестабильностей) на характеристики сжатия ДКЧС Костаса посвящена данная исследовательская работа.

В рамках исследовательской работы определены типы фазовых нестабильностей, подлежащие изучению, выведена удобная для анализа формула взаимнокорреляционной функции (ВКФ) двух дискретно-кодированных сигналов (ДКС) с возможностью кодирования по амплитуде, фазе и частоте. На основе выведенной формулы разработан алгоритм и программа на языке МАТЛАВ, позволяющая производить оценку характеристик ВКФ двух ДКС. С помощью данной программы проведено экспериментальное исследование влияния фазовых нестабильностей на ВКФ ДКЧС Костаса. По



результатам проведённых исследований предъявлены требования к суммарным фазовым нестабильностям приемо-передающего тракта РЛС с использованием ДКЧС Костаса.

## **Анализ тенденции развития инновационных наукоёмких технологий в производстве РЛС**

Сыренова Э.Л.

Научный руководитель – Кучеева Е.А.

МАИ, г. Москва

На современном этапе развития радиолокация получила широчайшее применение. Радиолокация как наука окончательно сформировалась во время Второй Мировой войны. В то время использование радиолокационных станций давало огромное преимущество перед противником. И благодаря этому радиолокация получила огромный толчок для быстрого развития. Радиолокационные методы и средства используются для обнаружения объектов и контроля обстановки в воздушном, наземном, космическом и надводном пространствах. Современная радиолокационная техника позволяет с большой точностью измерять координаты положения самолета или ракеты, также следить за их движением, определять не только формы объектов, но и структуру их поверхности. Такие радиолокационные методы открывают возможность изучать недра Земли и даже внутренние неоднородности поверхностных слоев на других планетах. Также если говорить о гражданском и военном применении радиолокации, то ее методы незаменимы, например, в организации управления воздушным движением, распознавании объектов, наведении и определении их принадлежности.

Одним из важных требований для РЛС обнаружения является их мобильность. Принцип их работы рассчитаны на движение своим ходом по различным дорогам. На их свертывание и развертывание уходит от 5 до 15 минут. Здесь конструкторам пришлось пойти на резкое ограничение массы и габаритов РЛС. Но стоит отметить, что решение этой задачи во многом удалось без ухудшения основных параметров по дальности, точности, зоне обзора, темпу обзора. А фазированная решетка стала одним из ее главных элементов. В ее основе заложена идея электронного сканирования.

Недостатком такой антенны является ее большая стоимость, и чрезвычайная сложность структуры и обслуживания. Но стоимость, затраченная на такую антенну, полностью окупает себя, так как сфера задач, решаемых ею, очень сложна.

Подводя итоги можно сказать, что благодаря радиолокации основано действие многих приборов, широко применяемых как в повседневной жизни, так и в военной области. А лицом современной радиолокации и радиолокации будущего будут радиолокационные станции с фазированными антенными решетками.

Литература.

1. Божанов С.А. «Что такое радиолокация» М. «Радио и Связь» 1968 г.
2. Венедикт О.Г. статья «Фазированная антенная решетка – глаза радиотехнической системы» ж-л «Радиотехник» № 2, 1997 г.

3. Козлов А. И. статья «Радиолокация. Физические основы и проблемы» ж-л «Радиотехник» № 6, 1996 г.
4. Лившиц М. С. «Радиолокация и эхо локация» ж-л «Новое в жизни науки и технике» серия «Физика» № 4, 1980 г
5. Смирнов Г. А., Панов В. И., «Современная радиолокация» ж-л «Новое в жизни науки и технике» серия «Радиоэлектроника и связь» № 2, 1972 г.
6. «Современная радиолокация». «Радио» журнал, №10, 1995.
7. <http://www.rlnc.sakv.ru/rlnc-2007.htm>
8. <http://www.computerra.ru/offline/>

### **Фазоразностный способ определения ускорения сближения истребителя с воздушной целью**

Широкий А.С.

Научный руководитель – Рязанцев Л.Б.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Поведение воздушной цели (ВЦ) при ведении воздушного боя характеризуется выполнением сложных маневров с большими перегрузками. Маневрирование цели оказывает сильное влияние на качество сопровождения. Несвоевременное обнаружение начала маневра цели достаточно часто приводит к срыву автосопровождения в силу появления больших ошибок следящих измерителей из-за несоответствия моделей, заложенных в них, реальному поведению ВЦ. Повторный захват требует дополнительного времени, а это – причина срыва первой атаки, которая в условиях высокоманевренного боя имеет большое значение.

Для исключения срыва автосопровождения в состав бортовых систем сопровождения включают устройства обнаружения начала маневра цели, обеспечивающие коррекцию параметров или структуры следящих измерителей. Традиционным способом определения начала маневра является вычисление статистических характеристик отклонений реальных и предполагаемых параметров движения цели. Это требует получения измерений в течение нескольких периодов обзора пространства бортовой радиолокационной станцией (БРЛС). Другим способом определения начала маневра цели является использование информации об ускорении сближения ВЦ и истребителя, однако известные способы для этого используют дополнительные датчики, например, оптико-локационную систему сопровождения.

Существенно сократить время, затрачиваемое на определение начала маневра до одного контакта диаграммы направленности антенны БРЛС с ВЦ и исключить использование дополнительных датчиков, возможно анализируя изменение характеристик отраженного эхо-сигнала, вызванных ее маневрированием.

Суть предлагаемого способа заключается в том, что после каждого радиолокационного контакта диаграммы направленности антенны бортовой радиолокационной станции с воздушной целью измеряется крутизна линейно-частотной модуляции принятой пачки эхо-сигналов, которая пропорциональна ускорению сближения. Оценка крутизны линейно-частотной модуляции осуществляется корреляционным способом и заключается в том, что принятый

эхо-сигнал разделяется на две равные по времени части, которые комплексно сопряженно перемножаются. При этом положение в частотной области максимума полученной корреляционной функции пропорционально ускорению сближения.

Адаптация системы сопровождения под реальный маневр осуществляется путем изменения параметров модели или структуры следящих измерителей на основе сравнения вычисленного значения ускорения сближения с порогом. Величина порога выбирается исходя из того, что фильтры сопровождения на основе модели прямолинейного движения с постоянным ускорением способны сопровождать воздушные цели с величиной ускорения сближения до  $10 \text{ м/с}^2$ , которое обуславливается разгоном или торможением, что подтверждается результатами моделирования ближнего маневренного боя.

В работе проведено моделирование предложенного способа в среде MATLAB, получены его точностные характеристики. Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что предложенный способ позволяет уже на этапе первичной обработки информации определить ускорение сближения истребителя с ВЦ. При этом точность определения ускорения квадратично повышается при увеличении времени контакта луча диаграммы направленности антенны БРЛС с ВЦ.

### **Модель цифрового фильтра сжатия дискретно-кодированных по частоте сигналов Костаса**

Симонов А.В.

Научный руководитель – Каменский И.В.

МАИ, г. Москва

Задача синтеза радиолокационных сигналов, обеспечивающих высокую совместную разрешающую способность по дальности и скорости, низкий уровень боковых лепестков тела трехмерной функции неопределенности (ФН), а также высокую энергетическую и структурную скрытность остается актуальной до настоящего времени. Любой вид сигнала помимо своих преимуществ имеет и определенные недостатки. Сложные сигналы с внутриимпульсной модуляцией, такие, как сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ сигнал) или фазокодированный (ФКМ сигнал), не являются исключением. В зависимости от обстановки какой-либо сигнал является предпочтительней другого. Вследствие чего возникла задача поиска новых сложных сигналов, отвечающих выше перечисленным достоинствам. Представляет научный и практический интерес анализ предлагаемых устройств приема и последующей обработки таких сигналов, имеющих ФН максимально приближенную к «кнопочному» виду.

Появление и развитие дискретной, а, в дальнейшем, и цифровой техники положили начало изучению дискретно-кодированных сигналов (ДКС). Американский ученый Дж. П. Костас предложил вид когерентного дискретно-кодированного по частоте сигнала (ДКЧС) с высокой разрешающей способностью по скорости и дальности, и при этом, с низким уровнем боковых лепестков. Кроме того, отличительными особенностями ДКЧС Костаса также являются его высокая помехозащищенность и скрытность работы.

Тем не менее, остается малоисследованным ряд вопросов об эффективном использовании формирования и обработки ДКЧС Костаса. Например, представляет интерес проверка предложенных аналитических решений устройств обработки с помощью апробированных систем компьютерного моделирования, таких как Simulink фирмы TheMathWorks, Inc. Также остается открытым вопрос моделирования влияния доплеровской поправки частоты на качество работы тракта обработки, оценка влияния мешающих факторов, в частности влияния белого гауссовского шума при различных отношениях сигнал/шум на входе цифрового фильтра сжатия (ЦФС) ДКЧС Костаса, и других помеховых воздействий.

В данной работе разработана модель цифрового фильтра сжатия ДКЧС Костаса и сформированы модели входных воздействий в графической среде имитационного моделирования Simulink фирмы TheMathWorks, Inc. Модель реализует работу ЦФС в различных условиях, в частности при наличии доплеровского сдвига, а также при наличии белого гауссовского шума на входе цифрового фильтра сжатия. Создание многоканального фильтра по скорости позволило провести моделирование работы системы с различными доплеровскими поправками частоты отраженного сигнала, как без, так и при наличии белого гауссовского шума на входе ЦФС. В процессе создания модели выявлена необходимость использования дополнительных фазовращателей на 180° для обеспечения синфазного сложения выходов с фильтров в составе ЦФС. По результатам экспериментов корректность полученной Simulink модели подтверждена сравнением выходного сигнала с расчетным видом сечения трехмерного тела функции неопределенности ДКЧС Костаса заданной размерности и кода частоты.

### **Повышение точности измерения угловых координат цели в РЛС с нефокусированным синтезированием апертуры**

Татарский Б.Г., Ясенцев Д.А.  
МАИ, г. Москва

Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенны (РСА) дают возможность получать детальные радиолокационные изображения (РЛИ) подстилающей поверхности, которые позволяют обнаруживать, в том числе, малоразмерные наземные и надводные цели. Одной из основных решаемых далее задач является высокоточное определение координат обнаруженных целей с использованием полученных радиолокационных изображений. Это, в частности, необходимо для сопровождения обнаруженных целей и выдачи целеуказания управляемым или неуправляемым средствам поражения.

Традиционно подобные задачи решались путём слежения за сигналом, отражённым от самой цели. Однако в некоторых случаях сопровождение наземной цели (НЦ) по отраженному от нее сигналу становится весьма сложной задачей. Такие случаи возникают, например, при активном маневрировании носителя РЛС в картинной плоскости. В таких ситуациях переход на сопровождение цели по РЛИ становится единственным способом, позволяющим выполнить поставленную перед бортовой РЛС задачу.

При детальности изображения, сравнимой с габаритами обнаруживаемых целей, точность определения углового положения цели будет высокой, ошибки при этом не будут превышать размеров элемента разрешения РЛИ. Однако для получения столь детальных изображений требуется реализовать фокусированную обработку принимаемого траекторного сигнала, что является сложной задачей, решение которой требует применения специализированных прецизионных навигационных систем в составе РСА, ресурсоёмких алгоритмов обработки траекторного сигнала и вычислительную систему с высоким быстродействием.

Альтернативой формированию изображения в режиме фокусированного синтеза апертуры является нефокусированное синтезирование (иногда называемое доплеровским обужением луча, ДОЛ), позволяющее получать изображения с худшим разрешением, но с использованием более простых алгоритмов обработки. Чаще всего подобные алгоритмы удаётся свести к доплеровской фильтрации сигнала за небольшое время (десятки или сотни миллисекунд). Соответственно, и точностные характеристики РСА в данном режиме будут хуже, чем при фокусированной обработке.

Для повышения точности оценки угловых координат обнаруженных целей предлагается использовать амплитудную моноимпульсную обработку выходных сигналов доплеровских фильтров РСА, получаемых в результате картографирования подстилающей поверхности. В работе приводится описание алгоритма обработки, позволяющего повысить точность оценки углового положения цели, и исследуется его эффективность при различных условиях наблюдения наземных целей (разрешающей способности, габаритов цели и т. д.).

### **Декодер Хэмминга (63,57,3) на основе оценок, полученных из демодулятора 16-QAM**

Телешов А.В.

Научный руководитель – Орлов В.П.  
МАИ, г. Москва

В настоящее время, для борьбы с искажением информации, при передаче через канал с помехами, применяют помехоустойчивое кодирование. Цель помехоустойчивого кодирования в получение требуемого коэффициента битовых ошибок при меньшем соотношении сигнал-шум в канале передачи.

В классической схеме цифровой радиосистемы передачи информации, в передатчике кодер добавляет избыточные, специальным образом подобранные, проверочные символы к исходной информационной последовательности. Закодированные символы поступают на модулятор, который преобразует их в аналоговый сигнал. В приемнике демодулятор преобразует принятый сигнал в последовательность чисел, представляющих оценку переданных данных – метрики. Метрики поступают в декодер, который исправляет возникающие при передаче ошибки, используя внесенную кодером избыточность.

В данной работе рассматривается синдромный декодер для кода Хэмминга (7,4,3) и Хэмминга (63,57,3) с мягкими решениями, который позволяет вероятностными методами декодировать сообщения с ошибками второй и

третьей кратности. Применение алгоритмов декодирования с мягкими решениями позволяет получить достижимый требуемого коэффициента битовых ошибок (biterrorrate, BER) при меньшем соотношении сигнал шум.

Было проведено моделирование в среде Matlab. Для этого были построены три модели системы, моделирующие систему передачи информации. В первой модели информационный вектор поступал на вход модулятора 16-QAM без кодирования, после чего имитировалась передача информации путем наложения аддитивного белого гауссовского шума с математическим ожиданием  $\mu=0$  и стандартным отклонением  $\sigma=1$ . Далее происходила демодуляция сообщения и сравнение переданного и полученного информационного вектора.

В двух других моделях в передатчике осуществлялось кодирование информации алгоритмом Хэмминга (63,57), после чего в одном случае в приемнике происходило декодирование алгоритмом с мягкими решениями, а в другом классическим алгоритмом с жестким решением.

Проведенное моделирование доказало, показало что применение данного метода позволяет получить энергетический выигрыш кодирования (ЭВК) до 2-3 дБ при коэффициенте битовых ошибок (BER) 10-5 по сравнению в алгоритмом жесткого декодирования.

## **Оптимизированные алгоритмы многопозиционной угломерной локации источников излучения**

Волков А.М.

Научный руководитель – Юдин В.Н.

МАИ, г. Москва

Угломерный метод радиолокации широко известен. Его суть заключается в следующем. Пеленгаторы измеряют тем или иным способом углы, отсчитываемые от выбранного опорного направления в плоскости измерения. Измерения угловых направлений на источник излучения, составляющие сущностную основу угломерного метода, являются первичными измерениями. Результаты измерения угловых направлений в виде пеленгов задают в плоскости измерения линии положения источника излучения. Применительно к угломерной системе линии положения представляют собой прямые. В общем случае пеленгование источника излучения может выполняться с более чем двух разнесенных позиций. При этом возникает задача отыскания оценок координат источника излучения на основе совокупности пеленгов, взятых на приемных позициях. Эта задача имеет существенные особенности. При пеленговании неизбежно возникают ошибки, причиной которых обычно являются различные помехи. Наличие ошибок приводит к тому, что линии положения не пересекаются в одной точке. Из сказанного выше следует, что в многопозиционной угломерной системе радиолокации для отыскания координат источника излучения следует применять другие способы обработки результатов первичных измерений.

Располагая линиями положения логично в качестве искомой точки взять точку, наиболее близкую (в смысле некоторого критерия), ко всем полученным линиям положения по сравнению с любыми другими точками. Оценки координат источника излучения, полученные с использованием упомянутого

критерия, можно считать наилучшими (оптимальными) в смысле этого критерия. В соответствии с критерием наименьших квадратов в качестве искомой точки следует взять точку, сумма квадратов расстояний от которой до всех полученных линий положения – наименьшая по сравнению с любыми другими точками. Вышеописанный способ дает наилучшие (оптимальные) по критерию наименьших квадратов оценки координат источника излучения. Смысл оптимальности состоит в том, что, располагая результатами пеленгования источника излучения с приемных позиций нельзя указать на плоскости измерения другую точку, более близкую (в смысле критерия наименьших квадратов) ко всем найденным линиям положения, чем точка, определяемая при помощи вышеописанных алгоритмов.

Располагая результатами первичных измерений в виде совокупности пеленгов, полученных на приемных позициях, можно сформировать апостериорное распределение вероятностей координат лоцируемого источника. В качестве оценки координат источника излучения берется аргумент максимума апостериорной плотности распределения вероятностей координат источника излучения. Оценка координат, сформированная на основе максимизации плотности распределения вероятностей координат источника излучения, является оценкой, оптимизированной по критерию наибольшей апостериорной вероятности.

## **Диаграммы Юнга в математическом моделировании бортовых регенеративных электронных систем летательных аппаратов**

Савкин Л.В.

ПАО «Радиофизика», г. Москва

Целью работы является разработка и исследование эффективных способов описания процессов взаимодействия функциональных и контролирующих сред, которые представляют собой однородные аппаратные архитектуры и входят в состав ранее предложенных бортовых регенеративных электронных систем (РегЭС) летательных аппаратов (ЛА). Основной элементной базой РегЭС являются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) класса FPGA, поэтому реализация функциональных и контролирующих сред осуществляется на низком аппаратном уровне ПЛИС FPGA. Общее количество конфигурируемых логических блоков (КЛБ) составного реконфигурируемого вычислительного поля (РВП)  $N_{\text{общ}} \approx 3,6 \cdot 10^6$  ед.

В ранних работах по проектированию РегЭС ЛА с целью применения обобщенного подхода к описанию особенностей аппаратной реализации архитектур в РВП РегЭС использовался метод конфигурационных функций. Данный метод полностью базировался на графоаналитическом моделировании функциональных фрагментов единого РВП, которое, не смотря на удобное описание логико-арифметических связей между вершинами орграфов аппаратных архитектур, обладало рядом существенных недостатков.

Во-первых, графоаналитическое моделирование внутренних топологических особенностей аппаратных архитектур РегЭС не учитывало временных задержек, возникающих в процессе прохождения цифровых сигналов через наборы КЛБ и,

что особенно важно, не позволяло однозначно оценить рассинхронизацию цифровых потоков в той или иной точке схемы.

Во-вторых, метод конфигурационных функций, рассматривающий аппаратные архитектуры выделенных фрагментов РВП в виде орграфов различных размерностей, не позволял учитывать комбинаторные особенности прилегающих друг к другу соседних областей КЛБ-вершин. Этот факт, в свою очередь, при проектировании РегЭС являлся прямым следствием невозможности проведения качественного анализа матричных наборов КЛБ на предмет наличия в них предикатных коллизий (логических, арифметических, регистровых и др.), возникающих внутри функционального орграфа  $G(W, X)$ . Здесь  $W$  – множество функциональных КЛБ-вершин,  $X$  – множество дуг (направленных ребер) орграфа архитектуры фрагмента единого РВП.

В работе с целью избавления от обоих вышеперечисленных недостатков разработан модифицированный способ аналитического описания аппаратных архитектур РВП, который предлагается применять при математическом моделировании функциональных и контролирующих сред бортовых РегЭС ЛА. Данный способ основан на формальном совмещении метода конфигурационных функций с диаграммами Юнга и позволяет, помимо топологических особенностей аппаратной реализации фрагментов РВП, учитывать еще и комбинаторные свойства матричных наборов КЛБ – вершин. Предлагаемый способ математического моделирования РегЭС, так же как и метод конфигурационных функций, позволяет описывать полную архитектуру РВП РегЭС по иерархическому принципу, учитывая функциональные и структурные особенности построения системы на всех условных уровнях ее аппаратной иерархии.

На основе разработанного метода приводятся примеры описания изолированных друг от друга и совмещенных друг с другом аппаратных архитектур функциональных и контролирующих сред РегЭС. Показаны основные преимущества разработанного способа математического моделирования бортовых РегЭС ЛА перед методом конфигурационных функций.

### **Применение в электронных системах отслеживания местоположения воздушных судов информационного канала декаметрового диапазона**

Сирота Я.Р.

Научный руководитель – Кобзарь В.А.  
Иркутский филиал МГТУ ГА, г. Иркутск

Россия обладает огромными территориями, через которые проходят трансконтинентальные маршруты полетов воздушных судов (ВС). Особой экономической эффективностью обладает эксплуатация кроссполярных трасс. По ним проходит в общей сложности 45 тысяч полетов в год. Если проанализировать международные воздушные трассы регулярных рейсов гражданской авиации, то очевидно, что до 2/3 трассы дальнемагистрального воздушного судна проходит над территориями, слабо оснащенными наземными системами и средствами организации воздушного движения (океаны, полярные



районы и т.п.). Это существенно усложняет задачу поиска и своевременного оказания помощи пострадавшим в авиационной катастрофе экипажу и пассажирам.

При поиске пропавших самолетов и вертолетов вероятность нахождения еще живыми потерпевших бедствие уменьшается с каждым часом. Исследования показывают, что до 60% всех пострадавших в авиационном происшествии могут получить ранения различной степени тяжести, при этом после первых суток пребывания их в аварийной ситуации только 20–25% из всех раненых еще остаются живыми, если им не было оказано первой медицинской и доврачебной помощи. Вероятность обнаружить живыми тех, кто получил травмы, через трое суток без оказания им адекватной помощи извне – вообще крайне мала.

В настоящее время основным источником информации для систем отслеживания гражданских самолётов являются вторичные радиолокаторы. Первичные радарные системы в настоящее время используются в качестве средств поддержки и резервных систем. По мере удаления самолета на расстояние более 240 км в сторону моря радарное обнаружение перестает действовать, и экипаж самолета поддерживает связь с авиадиспетчерами по радио в высокочастотном диапазоне.

Современные самолеты оснащены системой глобального спутникового позиционирования (GPS), однако ее данные предназначены для облегчения ориентации пилотов по карте и обычно не передаются авиадиспетчерам. Некоторые из самых современных самолетов способны передавать данные GPS на спутниковые системы слежения, однако, такие системы должны справляться с огромными объемами данных. Покрытие таких систем не распространяется на океаны и моря. Поэтому целесообразно для отслеживания местоположения дальнемагистральных ВС задействовать информационные возможности декаметрового диапазона волн.

На современных магистральных самолетах установлено 2 комплекта радиостанций дальней связи. Они применяются в качестве дублирующей системы связи в случае невозможности организовать информационный обмен по радиостанциям метрового диапазона волн. Как правило, в полете задействован лишь один комплект радиостанции ДКМВ – диапазона. Поэтому имеется возможность систематической передачи навигационных параметров воздушного судна наземным службам по каналам ДКМВ-диапазона.

Существенно снижают качество функционирования ДКМВ линий связи – замирания сигналов, обусловленные влиянием неоднородной и нестационарной структуры ионосферы и магнитного поля Земли. Это приводит к известным ионосферным эффектам: отражение ЭМВ от различных ионосферных слоев, рефракция на ионосферных неоднородностях, магнитоионное расщепление, рассеяние на неоднородностях. Электромагнитные волны ДКМВ диапазона, излучаемые антенной, могут достигать места приема по одному или нескольким путям (лучам) различной длины. Из-за многолучевого распространения в месте приема может возникнуть интерференция волн вплоть до полного подавления принимаемого сигнала (замирания сигналов). Снизить уровень поляризационных замираний можно, разделив интерферирующие магнитоионные компоненты, используя их временные, пространственные, частотные и поляризационные отличия.

Таким образом, внедрение в электронные системы нового поколения «отслеживания местоположения гражданских самолётов» информационного канала ДКМ диапазона, оснащенного радиосистемами с поляризационной обработкой сигналов ортогональных антенн, позволит повысить достоверность и качество получения информации о траектории полёта ВС. Это существенно сократит время на проведение поисково-спасательных работ в случае катастрофы воздушного судна.

### **Снижение ошибок экипажа в режиме посадки на основе синтезированных карт**

Казанцева А.И.

Научный руководитель – Кобзарь В.А.

Иркутский филиал МГТУ ГА, г. Иркутск

Примерно треть всех катастроф столкновения с подстилающей поверхностью происходит на конечном этапе захода на посадку, когда самолет находится в посадочной конфигурации и снижается с нормальной вертикальной скоростью. Уменьшить возможные ошибки экипажа в режиме посадки способны электронные (синтезированные) карты.

Синтезированная карта показывает участок земной поверхности вокруг ЛА в одном из двух вариантов: или как проекция сверху, или как «вид из окна». Изображение рельефа облегчает ориентирование, снижает нагрузку на экипаж при выполнении посадки в сложных метеоусловиях. Системы могут содержать не только базу данных о рельефе, но и базу данных о высоких препятствиях – небоскребах, мачтах, вышках. Наличие синтезированной карты уменьшает информационную нагрузку на экипаж в любых условиях полета.

В обязательную предполетную подготовку экипажей входит процедура изучения маршрута полета и маневрирования в районе аэродрома. Выполнение полета с соблюдением всех установленных ограничений, а также соблюдение метеорологических минимумов гарантирует безопасный пролет всех препятствий.

Синтезированная карта способна показывать участок земной поверхности вокруг ВС. На электронной карте отмечено и текущее положение ВС, которое определяется по данным спутниковой или инерциальной навигационной системы. По мере движения ВС движется и изображение на экране. Многие современные системы предупреждения приближения земли также включают базу данных о рельефе. Этот класс систем получил обозначение EGPWS. У них индикация синтезированного по базе данных рельефа служит, в первую очередь, не для навигации, а для предупреждения пилота об опасности столкновения с землей. Вывод осуществляется на навигационно-плановый дисплей по протоколу ARINC 708.

Возможно два режима отображения информации о подстилающей поверхности:

- Информация о подстилающей поверхности на экранном индикаторе нанесена по отношению к местоположению ВС таким образом, чтобы пилот может определить относительный азимут и дальность до подстилающей поверхности, представляющей интерес.

- Отображение подстилающей поверхности может быть сориентировано по курсу или путевой скорости.

Цвета и их насыщенность на индикаторе определяются высотой элементов подстилающей поверхности по отношению к текущей высоте ВС.

Важным режимом современных электронных карт является режим «Дорога в небо». С помощью приборов пилот может контролировать отклонение своего ЛА от заданной траектории движения. Изображение заданной траектории с позиции наблюдения пилота называют «дорогой в небе». В этом случае траектория полета изображается в виде контуров мощеной плитам дороги или туннеля. Задача пилотирования сводится к тому, чтобы на экране двигаться внутри туннеля, стремясь удержать директорную метку в центре плоскости скользящей со скоростью движения самолета. Трехмерная индикация заданной траектории больше соответствует создающейся у пилота мысленной модели окружающего мира, позволяет уменьшить мысленную работу пилота, облегчить осознание ситуации в полете.

Разработка и внедрение в бортовые информационные системы синтезированных карт существенно облегчает ориентирование и снижает информационную нагрузку на экипаж при выполнении посадки в сложных метеоусловиях.

## **СЕКЦИЯ № 29. Системы наблюдения радио- и оптического диапазонов**

Руководитель секции: д.т.н., с.н.с. Меркишин Г.В.

---

### **Разработка алгоритма измерения скорости движения транспортного средства с помощью автомобильного радара**

Буй Чи Тхань, Марин Д.В.

Научный руководитель – Расторгуев В.В.

МАИ, г. Москва

В докладе рассматривается возможность оценки полного вектора скорости движения автомобиля в результате обработки радиолокационного изображения (РЛИ), формируемого автомобильной РЛС (АРЛС) предупреждения столкновений. Для формирования оценок скорости предлагается использовать аппарат нахождения взаимной корреляционной функции (ВКФ) соседних кадров РЛИ, формируемых движущейся автомобильной РЛС.

Поэтому целью данной работы является рассмотрение особенности и оценка точности корреляционного алгоритма измерения полного вектора (модуль и направление вектора скорости автомобиля) скорости движения автомобиля.

Автомобильная РЛС, созданная группой специалистов Московского авиационного института (национального исследовательского университета), МАИ, позволяет формировать высокодетальное РЛИ местности (участка дороги) перед автомобилем. В АРЛС используется непрерывный зондирующий сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) в Ка-диапазоне длин волн. При движении автомобиля РЛИ, полученное в АРЛС, также смещается по координате. Применение корреляционного метода, позволяет оценить пространственное смещение РЛИ, и, тем самым, позволяет измерить полный вектор скорости движения автомобиля.

В работе представлены результаты формирования и анализа взаимной корреляционной функции (ВКФ) между соседними (по времени формирования) кадрами РЛИ. Анализируются параметры ВКФ (максимум, ширина, модальность), полученные в результате обработки экспериментальных РЛИ, и делается вывод о возможности использования этой функции в качестве инструмента оценки компонент полного вектора скорости движения автомобиля.

В результате в работе предложен алгоритм измерения скорости перемещения центра масс автомобиля (а потенциально и скорости поворота строительных осей относительно поверхности) с помощью АРЛС, который является независимым относительно традиционного спидометра и объективным в случае утраты сцепления колёс с дорогой.

Проведённая работа позволила по реальным РЛИ сформировать оценки скорости движения автомобиля, подтвердить справедливость и плодотворность.

Оценки точности измерения вектора скорости движения автомобиля, полученные в результате обработки экспериментальных РЛИ, показали, что применение корреляционного метода позволило подтвердить справедливость и плодотворность выбранного подхода для решения поставленной задачи.

## **Влияние метеорологического обеспечения полётов на работу авиации**

Верхогурова Н.А.

Научный руководитель – Лежанкин Б.В.

Иркутский филиал МГТУ ГА, г. Иркутск

В настоящее время эффективность работы воздушного транспорта, в частности безопасность полетов, во многом зависит от условий погоды.

Статистические данные ИКАО свидетельствуют о том, что за последние 25 лет около 20% авиационных происшествий были связаны с неблагоприятными метеоусловиями. В 30% случаях они явились косвенными или сопутствующими причинами таких происшествий.

Значимую роль во всем объеме авиационных происшествий занимают происшествия, связанные с неблагоприятными метеоусловиями. Например авиакатастрофа воздушного судна (ВС) Ту-154 в Смоленской области 10 апреля 2010 года при заходе на посадку в аэропорту «Северный» разбился в условиях сильного тумана - 96 человек погибло.

Кроме метеорологических условий, на безопасность полетов могут оказывать прямое или косвенное влияние недостатки в метеорологическом обеспечении полетов, основными из которых являются:

- несвоевременное доведение метеоинформации до органов организации воздушного движения (ОрВД) и экипажей воздушных судов;
- ошибки в производстве метеорологических наблюдений;
- несвоевременное составление предупреждений о фактических и (или) ожидаемых опасных для авиации метеорологических явлениях, условиях погоды ниже минимума аэродрома (посадочной площадки);
- нарушение требований нормативных документов, регламентирующих метеорологическое обеспечение полетов и органов ОрВД;
- несоответствие фактической и прогнозируемой погоды на аэродромах и маршрутах полетов.

К атмосферным явлениям, опасным для авиации, относятся грозы, шквалы (порывы ветра от 12 м/сек и выше, штормы, ураганы), туманы, обледенение, ливневые осадки, град, метели, пыльные бури, низкая облачность.

Эффективным средством обнаружения метеорологических явлений является метеорологические радиолокационные станции (РЛС). Метеорологические РЛС служат для анализа метеорологической обстановки с целью повышения безопасности и регулярности навигации при ОрВД. При этом используются радиолокаторы, позволяющие исследовать облака и осадки, а также турбулентные атмосферные образования. Они позволяют непрерывно наблюдать за атмосферными образованиями в области пространства радиусом до нескольких сотен километров, измерять характеристики этих образований и классифицировать их, получать горизонтальные и вертикальные разрезы атмосферы, определять структуру облачных слоев и измерять их высоту [1].

Своевременное использование достоверных прогнозов метеоявлений, получаемых с помощью рассмотренного оборудования, позволит существенно повысить безопасность полетов, увеличить пропускную способность перевозок,

за счет оптимального использования аэродромов и воздушных трасс, а также повысить комфорт нахождения пассажиров на борту ВС.

### **Оптоэлектронная двухпозиционная система посадки самолёта в сложных метеоусловиях**

Вильчевская П.М., Киселев В.О., Шило А.А.

Научный руководитель – Меркишин Г.В.

МАИ, г. Москва

В данной работе рассматривается малоканальная оптическая система посадки, отличающаяся от существующих систем малыми габаритами, высокой точностью, универсальностью. Система не требует установки дополнительного оборудования на самолете. За счет высокой чувствительности система позволяет более точно определять координаты и вектор скорости самолета в условиях плохой видимости и является дешевой альтернативой существующих систем.

Основной функциональной задачей системы посадки является измерение координат самолета в условиях сильного тумана. Обнаружение происходит по вспышкам от проблесковых огней самолета, и далее передается на мониторы в кабину пилота.

В данном случае сигнал будет очень быстро ослабляться с увеличением дальности и без усиления зарегистрировать отклонение амплитуды в каналах будет практически не возможно, поэтому в работе рассматривается схема фотоприемника на основе усилителя с высоким сопротивлением нагрузки, где большое сопротивление нагрузки фотодиода обеспечит высокую чувствительность приемника.

Приводится методика расчета системы и зависимости ошибок измерений для разных метеоусловий и параметров системы (диаметр линзы, фокусное расстояние, угол обзора, размер фоточувствительной площадки).

В качестве источников погрешности рассматриваются флуктуации тока через фотодиод, обусловленные током тепловой генерации в p-n-переходе фотодиода, фототоком сигнала, током фоновой засветки, тепловым шумом нагрузки и шумом усилителей.

В качестве фотодетектора используется 4-х-площадочный кремниевый фотодиод. Зона, которую обслуживает система, представляет собой глиссаду снижения самолета, начиная с высоты 100 метров.

### **Влияние аппаратных искажений на качество формирования РЛИ методом инверсного синтеза апертуры**

Егоров В.В.

Научный руководитель – Харламов А.Н.

МАИ, г. Москва

В последние годы в виду широкого применения радиолокационных систем с высоким разрешением вопросы, связанные с формированием высокоинформативного изображения движущейся цели, становятся всё более актуальны. В частности, эти вопросы решаются в задачах прямого и инверсного

синтеза апертуры при формировании двумерных дальностно-доплеровских образов объектов.

Разрешение по дальности зависит от параметров зондирующего сигнала. Величина разрешения по координате синтеза (азимутальной) зависит от того, насколько значительны были изменения ракурса объекта относительно линии визирования за время синтеза, то есть косвенно связана со временем синтеза.

Однако даже при достаточном энергетическом потенциале разрешающая способность РЛС не достигает своих потенциальных значений. При высоком отношении сигнал/шум качество РЛИ в основном снижается за счет ошибок оценки траекторных параметров и флуктуаций движения объекта. Известные методы автофокусировки позволяют повысить детальность получаемых изображений, однако дальнейшее увеличение информативности изображений при фиксированной базе зондирующего сигнала возможно только за счет расширения динамического диапазона РЛИ. Динамический диапазон РЛИ зависит от уровня боковых лепестков (УБЛ) сигнальной функции. Применяя оконную обработку или различные методы спектрального оценивания, можно снизить УБЛ, однако потенциальный УБЛ в реальной аппаратуре не достигается ввиду влияния аппаратных искажений и фазовых шумов опорных генераторов, порождающих некомпенсируемые остатки при сжатии сложных сигналов.

На основании параметров реальной аппаратуры был промоделирован случай движения многоточечного объекта по линейной траектории и получено РЛИ методом инверсного синтеза апертуры. В процессе обработки в модели сигналов вносились аппаратные искажения (такие как нелинейные искажения квадратурных сигналов, фазовый и амплитудный разбаланс квадратур, появление постоянной составляющей в сигнале комплексной огибающей) и фазовые шумы опорных генераторов и оценивалось качество получаемых РЛИ в зависимости от уровня искажений.

Проведенные исследования позволили выдвинуть требования к уровням аппаратных искажений в системе, при которых РЛИ по методу инверсного синтеза апертуры формируется с заданным динамическим диапазоном.

### **Оптико-электронная система по обнаружению координат световой вспышки**

Ивашкин Я.Ю., Лобанов В.В.

Научный руководитель – Меркишин Г.В.

МАИ, г. Москва

Рассматривается возможность создания работающей скрытно, в автоматическом режиме, оптико-электронной системы оперативного определения координат огневых целей вероятного противника, обнаруживающих себя вспышкой выстрела.

Актуальность задачи обусловлена современными методами ведения боевых действий с использованием оптических систем.

Предложенная концепция основана на идее двухканальной регистрации световой вспышки с помощью многоэлементных фотоприёмных устройств (ФПУ), последующем анализе и преобразовании электронных сигналов по специальной методике и выдачи полярных координат найденных целей в

цифровой форме. Использование многоэлементных ФПУ должно обеспечить возможность последовательной регистрации координат всех целей, попавших в поле зрения прибора, при минимальных временных интервалах между световыми вспышками.

Компоновочное решение для этой оптической системы предполагается выбрать как единую визирную ось с параллельными осями двух фотоприёмников.

Электронная схема анализа и преобразования сигналов с автоматической выдачей полярных координат целей в цифровой форме структурно состоит из блока преобразователей, блока первичной обработки информации и специализированного вычислительного устройства. Блок входных преобразователей содержит два информационных канала на различные спектральные диапазоны – видимый и инфракрасный (ИК). Блок первичной обработки информации обеспечивает аналого-цифровое преобразование, временную разностную обработку сигналов изображения и ввод данных в вычислительное устройство, которое производит логическую обработку сигналов, поступающих со всех информационных датчиков, сопоставляет характеристики излучения каждого элемента и формирует результаты (целеуказание) для средств огневого поражения.

### **Оптоэлектронная однопозиционная система посадки самолёта с осевой симметрией**

Каминская Е.В., Прудников И.Л., Сидоров С.В.

Научный руководитель – Меркишин Г.В.

МАИ, г. Москва

Анализируется возможность успешной посадки самолета с использованием однопозиционной системы с осевой симметрией. Такая оптическая система посадки, отличающаяся от существующих систем малыми габаритами, высокой точностью, универсальностью. Система не требует установки дополнительного оборудования на самолете.

Имеется один 4-х-фотоприемник, расположенный на оси взлетно-посадочной полосы, определяющий координаты самолета. Местоположение определяется как точка пересечения двух прямых, одна из которых соединяет проблесковые огни на фюзеляже и крыле, а вторая прямая является направлением на самолет и проведена из точки наблюдения. Так же необходимо определить дальность самолета от взлетно-посадочной полосы или от точки наблюдения. Затем пилоту передается информация о координатах, дальности и правильном направлении на взлетно-посадочную полосу.

В работе представлена методика расчета системы и построение зависимости ошибки измерений для разных метеоусловий. В качестве источников погрешности рассматриваются флуктуации тока через фотодиод, обусловленные током тепловой генерации в р-п-переходе фотодиода, фототоком сигнала, током фоновой засветки, тепловым шумом нагрузки и шумом усилителей.



В качестве фотодетектора используется 4-х-площадочный кремниевый фотодиод. Зона обслуживания представляет собой глиссаду снижения самолета, начиная с высоты 100 метров.

**Определение координат огневых позиций предполагаемого противника по восстановленной баллистической траектории движения снаряда с помощью метода отслеживания объекта в видеопотоке предлагаемой оптико-электронной системы**

Лобанов В.В., Ивашкин Я.Ю.

Научный руководитель – Меркишин Г.В.

МАИ, г. Москва

В условиях современной геополитической обстановки, обуславливающей периодическое возникновение повсеместных вооруженных конфликтов и контактов вооруженных сил с использованием огнестрельного оружия, остается актуальной проблема определения местоположения огневой позиции предполагаемого противника.

Одним из возможных способов решения этой задачи является восстановление баллистической траектории снаряда и дальнейший расчет точных координат оружия по сигналам оптического диапазона, излучаемым поражающим средством. В работе проводится сравнение различных вариантов технической реализации информационной системы.

Осуществляется разработка структурной схемы с использованием фотоприемных устройств (ФПУ) с различным числом фотодетекторов. Рассматривается применение систем видимого и инфракрасного диапазонов и рассчитывается требуемое быстродействие отдельных элементов структурной схемы.

Существует несколько возможных алгоритмов работы такой системы. Предполагается возможность совмещения различных способов работы в системе. Выбор алгоритма зависит от многих факторов. Возможные варианты рабочих алгоритмов системы:

- трекинг для одного ФПУ (последовательный анализ каждого кадра, на котором присутствуют движущиеся объекты);
- трекинг по двум кадрам (отмечаются перемещения на текущем и предыдущем кадре, анализируется скорость, направление движения объекта, размеры. Вычисляются наиболее вероятные перемещения объектов, затем складываются в траекторию);
- трекинг по нескольким кадрам (анализ последовательности кадров, непрерывная постобработка полученных результатов, определение траектории с высокой точностью с учетом истории переходов объекта между положениями на разных кадрах);
- трекинг по нескольким ФПУ (установка разнесенных синхронизированных ФПУ, наблюдающих за связанными областями. При этом объект постоянно находится в поле зрения ФПУ, переходя из одной области в другую, что позволяет с высокой точностью определить параметры траектории объекта). Метод не всегда является технически возможным.

В работе проведен анализ эффективности перечисленных алгоритмов работы, предложен оптимальный технический и программный состав системы.

### **Опто-электронная однопозиционная система посадки самолёта с выносом фотоприёмника за пределы трассы**

Майоров А.А., Прудников И.Л., Соломатин Д.Н.

Научный руководитель – Меркишин Г.В.

МАИ, г. Москва

В данной работе рассматривается возможность успешной посадки самолета в плохих метеоусловиях с использованием однопозиционной системы и сигналов проблесковых огней самолета. Имеется один фотоприемник, который должен определить координаты самолета и передать пилоту информацию о правильном направлении на взлетно-посадочную полосу.

Предполагается, что информация о вертикальной плоскости посадки, проходящей через осевую линию ВПП, известна в результате работы других средств (курсовой маяк, радиолокатор). Также в материале приводится методика расчета и построение зависимостей ошибки измерений для разных метеоусловий.

Система представляет собой фотодиод, состоящий из четырех фоточувствительных, изолированных площадок. Местоположение самолета определяется как пересечение вертикальной плоскости глиссады и прямой линии, проведенной из точки расположения фотоприемника в направлении источника сигнала. Под зоной обслуживания системы подразумевается глиссада снижения самолета, начиная с высоты 100 метров.

Источниками погрешностей в данной системе являются шумы приемного тракта и ошибки ориентации системы.

### **Установка равновесия аэродинамических сил под лопастями несущего винта вертолёта**

Мальцев Н.А., Назаров А.Н., Субботин П.В.

Научный руководитель – Меркишин Г.В.

МАИ, г. Москва

При наличии несоконусности лопастей равнодействующая аэродинамических сил несущего винта (НВ) смещена в сторону от оси вращения, что вызывает тряску вертолета не только в полете, но и на земле. В настоящее время существует множество методов определения соконусности лопастей НВ вертолета: от примитивных, измеряющих только высоту прохождения лопастей по методу так называемого «отбития конуса» до сложных современных оптических, определяющих и высоту, и угол отклонения с высокой точностью. На практике в среднем в 70% случаев при балансировке винтов требуется от 2 до 5 испытательных полетов, чтобы добиться снижения уровня вибраций ниже допустимых пределов.

Однако даже после многократных испытаний и внесения коррекций баланс движения может быть не достигнут по причине физической и механической

неоднородностей материалов лопастей, оказывающих наибольшее влияние на создаваемый нисходящий поток.

Рассматриваемая система позволяет решить поставленные проблемы. Состав устройства включает в себя, в грубом приближении, промышленный лазер, который может быть закреплен на борту ЛА и четырехконовый фотоприемник, принимающий луч лазера. Принцип измерения основывается на рефракции лазерного луча, проходящего через неоднородную среду, от лопастей НВ вертолета. Известно, что проходящий через неоднородные слои луч лазера будет отклоняться в сторону более плотной среды. Данное отклонение фиксируется фотоприемником, полученные данные обрабатываются и передаются инженерному составу ЛА. В ходе обработки можно определить, какая именно лопасть нарушает баланс аэродинамических сил, создавая повышенное или пониженное давление относительно других лопастей.

Стоит упомянуть, что неправильно сбалансированный НВ вызывает не только тряску вертолета, но и зачастую приводит к вибрациям, преждевременно разрушающим втулку. Поэтому вопрос создания соконусного движения лопастей отходит на второй план, а первоочередным становится создание баланса аэродинамических сил под лопастями НВ вертолета, обеспечивающих более плавное движение ЛА, улучшение маневрирования в полете, а также увеличение срока эксплуатации лопастей, втулок и шарниров.

### **Параметры вихревых движений в среде за движущимся объектом**

Назаров А.Н., Картуков А.В., Никитин Д.А.

Научный руководитель – Меркишин Г.В.

МАИ, г. Москва

При движении в воздушной среде объект (самолет, автомобиль) оставляет после себя возмущенную область, параметры которой в ряде случаев необходимо знать: спутный след самолёта и автомобиля, дозаправка в воздухе, аэродинамическое сопротивление как объекта в целом, так и отдельных навесных предметов на нём и др. Существующие методы исследования (типа дым канала и др.) на позволяют регистрировать быстрые изменения параметров и колебания неоднородностей в воздушной среде и дают усреднённую в некотором интервале времени картину.

Разработанная на кафедре аппаратура позволяет проводить регистрацию изменений плотности среды, возникающей за движущимся объектом, в виде функции времени с временным разрешением менее 0,1 мсек.

Представлены угловые характеристики колебания лазерного луча, прошедшие через возмущающую среду после четырёх-оконого преобразования на квадратной фотоприёмной матрице. Измерения проводились перпендикулярно трассе движения автомобилей (типа джип), который пересекал лазерный луч на скоростях 20, 40, 60 км/ч. Отмечается образование вихрей после проезда автомобиля длительностью соответственно 15 мсек., 7,5 мсек., 5 мсек. Данный метод, в отличие от существующих, позволяет оценивать числовые характеристики возмущённой среды и колебания плотности среды и давления.

## **Моделирование движения самолёта и визуализация окружающей среды при заходе и выполнении посадки**

Прудников И.Л.

Научный руководитель – Картуков А.В.

МАИ, г. Москва

Одним из наиболее сложных и ответственных этапов полета является посадка самолета, особенно в сложных метеоусловиях. На сегодняшний день существуют раз систем посадки, в разной мере упрощающих процесс посадки. Рассматриваемая ниже система основана на приеме оптического сигнала проблескового маяка самолета, нуждается в каком-либо оповещении пилота об успешном ходе выполнения этапов посадки, либо об отклонении от нормы, и способна с высокой точностью определять текущие координаты самолета и его вектор скорости. Для уменьшения психоэмоциональной нагрузки пилота целесообразно представлять на монитор пилота трехмерную картину положения самолета относительно взлетно-посадочной полосы (ВПП) в реальном времени.

Была создана среда для визуализации данных с приемников системы с возможностью оптимального и достоверного предоставления информации, которая служит для контроля за самолетом на сверхблизких расстояниях (контроль положения самолета относительно ВВП). Система должна обеспечивать высокую точность определения местоположения самолета и при этом не требовать размещения дополнительного оборудования на борту самолета.

В программе для оптической системы посадки в условиях плохой видимости реализован визуальный метод подачи информации пилоту для точной и своевременной реакции самолёта в условиях дождя, снега, тумана и т.д. В центре виртуального пространства находится ВПП согласно реальным размерам полосы. В качестве самолёта была создана модель реального летательного аппарата.

## **Алгоритмы обработки изображений в РЛС переднего обзора транспортных средств**

Саблинский Д.А.

Научный руководитель – Расторгуев В.В.

МАИ, г. Москва

В данной работе рассматривается принцип работы автомобильной радиолокационной системы (АРЛС), описание интерфейса и алгоритма формирования, записи и обработки радиолокационного изображения (РЛИ) в АРЛС, задачи вторичной обработки РЛИ, а также представлены результаты обработки некоторых РЛИ.

АРЛС представляет собой малогабаритную, интегрированную, всепогодную, информационно-измерительную систему, представляющую новое поколение панорамных радиолокационных станций переднего обзора местностей современных транспортных средств. Данная система не имеет аналогов на мировом рынке и является очень полезной в условиях отсутствия или ограниченной оптической видимости.

Преимуществами АРЛС являются: высокое пространственное разрешение системы в двух плоскостях (азимут и дальность), что обеспечивает надёжную идентификацию подвижных и неподвижных объектов; высокая стабильность радиолокационных изображений (РЛИ) объектов; малое энергопотребление и экологическая чистота (низкий уровень средней излучаемой мощности); работа в разрешенном частотном диапазоне, которая не влияет на работу других радиоэлектронных устройств.

Важной задачей при создании АРЛС является разработка алгоритмов обработки сформированных РЛИ для адекватного восприятия обстановки водителем, а также управления движением транспортного средства. Обработка и отображение РЛ информации осуществляется с помощью персональной ЭВМ. Изображение в конечном итоге выводится с помощью стандартного дисплея в виде жидкокристаллической панели, которые в отличие от индикатора с круговой развёрткой (как в классических РЛС) имеют строчную развёртку, прямоугольный (телевизионный) растр.

### **Измерение параметров воздушной подушки при посадке самолёта**

Субботин П.В., Мальцев Н.А., Никитин Д.А.

Научный руководитель – Меркишин Г.В.

МАИ, г. Москва

Рассматривается возможность создания системы, позволяющей в реальном масштабе времени измерить параметры воздушной подушки, возникающей на малых высотах при посадке самолета, а также передать информацию о ней экипажу воздушного судна.

Актуальность задачи обусловлена опасностью авиационных катастроф при пилотировании самолета, связанных с неоднородностями рельефа поверхности.

Измерение параметров воздушной подушки основано на явлении рефракции лазерного луча при прохождении через неоднородную среду, в данном случае через воздушную подушку самолета. Как известно луч в неоднородных слоях будет отклоняться в сторону более плотной среды, в результате изображение исходного сигнала сместится в плоскости фоторегистрации от своего начального положения, что можно зарегистрировать опико-электронными средствами и представить информацию в доступной для экипажа самолета форме.

Рассматривается структура системы, работающей в оптическом диапазоне, которая может быть установлена на самолете и позволит регистрировать факт возникновения воздушной подушки, оценить ее параметры. Система состоит из источника лазерного излучения и фотоприемника, включающего в себя линзу и четырехоконный фотодетектор на фотодиодах. Все компоненты должны быть смонтированы в едином корпусе и установлены на борту самолета.

В перспективе, данная система может быть усовершенствована путем установки лазерного дальномера в носовой части самолета, измеряющего высоту подстилающей поверхности впереди по курсу самолета. На основе серии измерений можно будет создать сигнал экипажу, оповещающий об ожидаемом изменении параметров воздушной подушки самолета, сделать эту систему автоматизированной, работающей автономно в реальном масштабе времени.

В результате получим структуру, которая будет обеспечивать сигнал экипажу в случае возникновения воздушной подушки на малой высоте полета. Экипаж, располагая данной информацией, сможет своевременно прогнозировать свои действия с учетом наличия воздушной подушки.

## **Применение ВОЦАП бортовых системах сбора информации**

Теряева О.В.

Научный руководитель – Гречишников В.М.

СГАУ им. С.П. Королёва, г. Самара

Среди применяемого на борту приборного оборудования значительную группу составляют бинарные преобразователи (датчики конечных положений), работающие в составе различных систем ЛА (механизация крыла, шасси, СОС и др.). Как правило, датчики располагаются в зонах с тяжелыми условиями эксплуатации (перепады температур, электромагнитные помехи), что снижает достоверность получаемой с них информации. Кроме того, наличие индивидуальных каналов связи для каждого датчика ухудшает массогабаритные показатели бортового приборного оборудования. В связи с этим актуальной является задача создания мультиплексированных волоконно-оптических датчиков перемещения шторочного типа при помощи волоконно-оптических цифро-аналоговых преобразователей перемещений (ВОЦАП).

Система содержит формирователь оптических логических сигналов (ФОЛС), преобразующий информацию о конечных положениях  $x_0, x_1, \dots, x_{n-1}$  элементов механизации в соответствующий набор оптических логических сигналов  $p_0, p_1, \dots, p_{n-1}$ . ФОЛС представляет собой набор механических элементов, осуществляющих функцию прерывания оптического излучения при достижении контролируемым элементом конечного положения. В ВОЦАП входные оптические сигналы  $p_0, p_1, \dots, p_{n-1}$  умножаются на соответствующие весовые коэффициенты и с помощью У-ответвителя преобразуются в выходном световоде в общий оптический сигнал  $p_s$ . Таким образом, ВОЦАП реализует функцию «весового» мультиплексирования измерительных каналов и создает возможность передачи суммарного сигнала на весьма большие расстояния по моноволоконному или жгутовому световоду. Для последующего восстановления параллельного формата сигналов в электрической форме суммарный сигнал подается на фотоприемник (ФП), усиливается по амплитуде в усилителе (Ус) и оцифровывается в АЦП, с выхода которого снимаются электрические логические сигналы  $u_0, u_1, \dots, u_{n-1}$  значения которых однозначно связаны со значениями входных сигналов  $x_0, x_1, \dots, x_{n-1}$ . Как и электронные ЦАП, оптические ЦАП могут реализовываться по схемам с суммированием или умножением весовых коэффициентов. Рассмотренная конструктивная схема применения ВОЦАП в составе бортовой системы сбора информации, может быть положена в основу создания мультиплексированной системы сбора информации с бинарных датчиков механизация ЛА (механизация крыла, шасси, СОС).

## **Оценка психоэмоционального состояния человека по его видеоизображению**

Яшунин А.М., Нелин И.В.

Научный руководитель – Охотников Д.А.

МАИ, г. Москва

Задача оценки психоэмоционального состояния человека актуальна при исследовании работы человека в условиях повышенных физических и эмоциональных нагрузок, например, при занятиях на авиационном тренажере. Частота сердцебиения является одним из важнейших показателей допустимости испытываемых нагрузок.

Традиционные и аппаратные методы измерения частоты сердцебиения, к которым можно отнести традиционные (пальцами рук), аппаратные (электрокардиограф, пульсоксиметр, пульсомер), обладают большим недостатком – необходимостью контакта с кожей.

Поставленной задачей является разработка универсального бесконтактного метода получения частоты сердцебиения человека с помощью камеры во время занятия на тренажере.

Камеры является элементом более крупного комплекса, который рассчитывает полную информацию о текущем состоянии пилота во время испытаний на авиационном тренажере. Помимо видеокамер комплекс бесконтактного наблюдения за испытуемым снабжен бесконтактными датчиками радиолокационного исследования, что позволяет увеличить достоверность результатов исследования.

Во время съемки камерой лица испытуемого получаемый поток видеоряда передается по проводной связи на компьютер. Программное обеспечение перехватывает этот видеопоток и производит его обработку. Задачей программного обеспечения на начальном этапе является нахождение лица испытуемого на видеоизображении с помощью алгоритма Виолы-Джонса. В момент нахождения координат лица происходит поиск незакрытых участков кожного покрова. Изменение во времени среднего значения красной составляющей цвета на лице во всех обнаруженных точках колеблется с частотой прилива крови к кожному покрову испытуемого, что позволяет, проведя частотный анализ этого сигнала, найти значение частоты пульса и построить его тренд во времени.

После получения значения частоты пульса производится расчет показателя активности регуляторных систем (ПАРС), который отражает психоэмоциональное состояние испытуемого в данный момент времени. К примеру: состояние умеренного напряжения регуляторных систем, когда для адаптации к условиям окружающей среды организму требуются дополнительные функциональные резервы. Такие состояния возникают в процессе адаптации к трудовой деятельности, при эмоциональном стрессе или при воздействии неблагоприятных экологических факторов (ПАРС = 3-4).

Результаты экспериментов показали:

- Видеонаблюдение наряду с радиолокационными методами позволяет сформировать бесконтактный комплекс наблюдения за психоэмоциональным состоянием человека.

- Разработано бесконтактное устройство, измеряющее частоту сердцебиения человека на основе анализа видеоизображения человека.
- Был проведен эксперимент в ходе которого было установлено, что предполагаемый метод имеет ошибку не более 5% в отличие от контактного метода.

На основе выше перечисленных пунктов сделан вывод, что имеется возможность применения данного метода в целях бесконтактного наблюдения за частотой сердцебиения человека.



## **СЕКЦИЯ № 34. Вычислительные и информационные системы**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Брехов О.М.

---

### **Программно-алгоритмическое обеспечение прототипа системы раннего предупреждения о приближении земли**

Гарастюк Е.В.

Научные руководители – Силаева Т.А., Неретин Е.С.

МАИ, г. Москва

Для повышения безопасности полетов самолеты оборудуются специальной системой непрерывного автоматического контроля текущей высоты полета – системой раннего предупреждения приближения земли (СРППЗ), которая обеспечивает непрерывный автоматический контроль истинной высоты полета и формирует предупреждающую сигнализацию для экипажа в случае возникновения ситуаций, развитие которых может привести к столкновению самолета с поверхностью земли.

Основное назначение СРППЗ состоит в своевременном информировании экипажа об опасных ситуациях и предотвращении авиационных происшествий. Решение этой задачи осуществляется посредством обработки по специальному алгоритму параметров, поступающих от различных систем самолета, и последующей выдачи предупреждения экипажу в виде визуальной и звуковой сигнализации.

Сигналы предупреждения вырабатываются системой при значениях текущей геометрической высоты ниже установленных минимальных значений или при отклонении вниз от равносигнальной зоны радиотехнической глиссады (РТГ), превышающих максимально допустимые.

В настоящее время признано, что одним из основных путей совершенствования навигационного оборудования самолетов является создание комплексных навигационных систем (КНС). Сущность комплексирования состоит в использовании информационной и структурной избыточности для повышения точности, надёжности и помехозащищённости при измерении одних и тех же параметров. Информационная избыточность заключается в том, что на борту самолета обеспечивается получение однородной информации от нескольких датчиков различной физической природы с последующей совместной обработкой этой информации в специализированном вычислительном устройстве. При этом для вторичной обработки информации используются оптимальные алгоритмы оценивания, полученные на основе методов Калмановской фильтрации. Этот метод базируется на двух основных схемах объединения навигационных систем (НС) в комплекс – схеме компенсации и схеме фильтрации.

В результате проведенных исследований сделан вывод о том, что основным методом совершенствования существующего навигационного оборудования является создание комплексных измерительных систем, в частности, совместное использование радиолокационного и барометрического высотометров. Их

ошибки в силу физических принципов работы имеют различные частотные характеристики. В работе предложена структурная схема радиобарометрического высотомера, построенного по схеме компенсации с оптимизацией информации на основе фильтра Калман.

Полученные в работе результаты позволяют сделать вывод о том, что предложенное в работе комплексирование сигналов радиолокационного и барометрического высотомеров с использованием фильтра Калмана позволяет повысить точность и надёжность измерения высоты в СРППЗ, что, в свою очередь, повышает уровень безопасности полета.

## **Разработка интерпретатора для написания, компилирования и выполнения пользовательских программ на С++**

Горбунов М.С.

Научный руководитель – Чернова Т.А.

МАИ, г. Москва

Разработана программа-интерпретатор Wanton С++, на основе языка программирования С++, для оптимизации реализации разработанных математических моделей на ЭВМ. Указанные качества обеспечены за счёт введения нового типа данных – списков, для которых предусмотрено динамическое выделение памяти ЭВМ. Кроме того, в программе-интерпретаторе реализован автоматический контроль правильности ввода числовых данных.

Разработано две версии интерпретатора Wanton С++:

- текстовая, выполняемая в командной строке;
- графическая или оконная.

В первом случае код программы печатается в простом текстовом файле (блокнот), а вызов функций осуществляется из командной строки, т.е. командная строка выполняет роль строки интерпретатора.

В графическом варианте окно представляет собой два текстовых поля: однострочное и многострочное. В многострочном текстовом поле печатается текст программы, а однострочное текстовое поле выполняет роль строки интерпретатора.

В строке интерпретатора могут выполняться стандартные операции С++.

Разработанный интерпретатор Wanton С++ обеспечивает:

- экономию оперативной памяти ЭВМ и времени расчетов путем формирования гибких списков;
- упрощение описания и задания разных типов данных;
- автоматический контроль правильности ввода числовых данных в списках;
- работу с математическими функциями и выражениями.

Разработаны инструктивно-методические указания по использованию интерпретатора Wanton С++ при реализации прикладных алгоритмов программ на ЭВМ.

Спланирован и реализован вычислительный эксперимент по моделированию методом наименьших квадратов нелинейных процессов и характеристик электромагнитных устройств на ЭВМ на основе разработанного интерпретатора Wanton С++, проверена его правильность в различных режимах, подтверждена

эффективность. Исходные данные для моделирования электронных и электротехнических устройств взяты из справочных отраслевых источников.

Таким образом, представленное ПО позволяет писать, компилировать и выполнять программы на C/C++ посредством выполнения функции main или любых других функций по отдельности. Интерпретатор Wanton C++ представляет собой программное обеспечение (ПО) для рационализации разработки пользовательских прикладных программ различного назначения.

## **Влияние ориентации модели в рабочей зоне 3D принтера на качество поверхности**

Горелов А.О.

Научный руководитель – Неретин Е.С.

МАИ, г. Москва

Развитие технологий в области послойного синтеза (3D-печати) привело к их широкому распространению в различных областях науки и техники. Наиболее популярной и распространённой является технология моделирования методом послойного наплавления (Fused Deposition Modeling (FDM)) в связи с оптимальным соотношением цена/качество изготавливаемого изделия.

Одним из основных направлений работы производителей 3D принтеров является улучшение качества поверхности готового изделия. Производители идут по пути уменьшения толщины наплавленного слоя, что, в свою очередь, позволяет точнее повторять форму виртуальной модели изделия в связи с уменьшением шага дискретизации.

Достичь улучшения качества поверхности в виде снижения выраженности «ступенчатости» можно не только уменьшением толщины слоя экструзии, но и изменением ориентации объекта в рабочей зоне 3D-принтера [1]. Наилучшее качество достигается у горизонтальных поверхностей и у поверхностей, близких к вертикальным. Наихудшее качество присуще поверхностям, близким к горизонтальным.

Таким образом, можно выделить три условные зоны качества поверхности изготавливаемого изделия в зависимости от угла между рабочей плоскостью (столом) и поверхностью модели: наилучшее, среднее и наихудшее. Помимо трёх зон качества можно выделить четвёртую зону, в которой строятся служебные опоры – зону поддержек. Наличие поддержек увеличивает шероховатость поверхности и требует дополнительной механической обработки. Зона поддержек полностью перекрывает зону наихудшего качества и частично захватывает зону среднего качества [2].

На основе проведенного анализа выполнено моделирование объектов различной сложности по форме, после чего изготовлена серия образцов с различным расположением объекта в зоне 3D-принтера. Для изготовления образцов использован 3D принтер Cubex Duo. Образцы оценивались с точки зрения качества отдельных поверхностей и изделия в целом.

Результаты экспериментов доказывают работоспособность идеи и необходимость разработки программного комплекса для автоматического анализа и ориентирования моделей в рабочей зоне 3D-принтера. Одной из

проблем при этом является сложность анализа моделей для оценки расположения детали в рабочей зоне 3D-принтера.

Васильев Ф.В. Снижение себестоимости изделий для авиационно-космической техники, изготавливаемых методами послойного синтеза. // Электронный журнал «Труды МАИ». 2011. №49

Васильев Ф.В. Автоматизация процесса подготовки моделей для быстрого прототипирования. // Литейное производство. №4, 2004.

## **Применение объектно-ориентированной системы имитационного моделирования для построения имитационных моделей**

Дервянкин Д.С.

Научный руководитель – Хахулин Г.Ф.

МАИ, г. Москва

Имитационное моделирование является мощным средством исследования сложных систем.

На кафедре «Автоматизированные системы обработки информации и управления» Московского авиационного института на базе современного объектно-ориентированного языка программирования высокого уровня C# разработана новая, более совершенная по сравнению с имеющимися, система имитационного моделирования (СИМ) для автоматизации процессов создания и исследования различных классов имитационных моделей (ИМ) сложных технических систем (дискретных (ДИМ) и непрерывно-дискретных (НДИМ)), получившая условное название СИМ-С#.

В отличие от имеющихся СИМ, в том числе, разработанных ранее на этой же кафедре (например, СИМ Modelling) СИМ-С# при том же целевом назначении за счет использования в полной мере возможностей и механизмов объектно-ориентированного программирования (ООП), таких как: инкапсуляция, наследование, полиморфизм, - обладает целым рядом дополнительных возможностей и преимуществ, таких как: возможность построения ИМ моделируемой системы (МС) в виде многоуровневой системы взаимосвязанных ИМ, отображающих различные составные части МС, совместное использование событийного и агрегативного подходов к формализованному описанию процесса функционирования МС.

Целью данной работы является тестовая проверка работоспособности и эффективности СИМ-С# и создаваемых с ее помощью ИМ.

Для решения этой задачи с использованием СИМ-С# осуществлена разработка и исследование моделей двух классов: ДИМ и НДИМ.

Модель класса ДИМ была разработана для исследования сложной технической системы под условным названием «Вычислительная сеть», состоящей из трех вычислительных узлов с устройствами ввода, обработки и вывода данных, связанных полудуплексными каналами передачи данных и способных помогать друг другу при обработке входных потоков заявок.

Модель класса НДИМ была разработана для исследования сложной технической системы передачи данных (СПД) между двумя космическими аппаратами (КА) в процессе их относительного движения «СПД КА».

При разработке обеих ИМ с использованием средств автоматизации СИМ-С# осуществлено формализованное описание процессов функционирования моделируемых систем, разработаны имитационные программы.

В ходе имитационных экспериментов (ИМЭ) показана работоспособность обеих ИМ, работоспособность и эффективность использования СИМ-С# в процессе разработки ИМ и проведения ИМЭ. Показаны возможности использования, разработанных ИМ для выбора оптимальных вариантов построения и алгоритмов функционирования моделируемых систем.

## **Применение концепции интегрированной модульной авионики при разработке бортовых вычислительно-управляющих устройств объектов авиационной техники**

Долгова М.А.

Научный руководитель – Неретин Е.С.

МАИ, г. Москва

Перспективным направлением развития комплексов бортового оборудования (КБО) объектов авиационной техники (АТ) является применение концепции интегрированной модульной авионики (ИМА).

В основе концепции ИМА лежит открытая сетевая архитектура и единая вычислительная платформа. Функции самолётных систем выполняют программные приложения, разделяющие общие вычислительные ресурсы. Данные решения обеспечивают модульность при решении вычислительных задач на единой платформе ИМА.

Вычислительная платформа реализуется в виде базовой конструкции с набором сменных электронных модулей (процессорных модулей, модулей памяти, сетевого коммутатора и электропитания). Конструкция модуля основана на едином стандарте, обеспечивающего принцип унификации и взаимозаменяемости.

Для организации информационного обмена между функциями, датчиками и исполнительными элементами в платформе ИМА применяются перспективные протоколы связи, обеспечивающие эффективное построение динамических структур с сетевой организацией.

Открытая архитектура комплекса предполагает сопряжение устройств различного назначения с единым вычислительным ядром системы через концентраторы данных.

Проектирование бортовой авионики с применением концепции ИМА по сравнению с федеративной архитектурой имеет следующие преимущества:

- Сокращение массо-габаритных показателей и потребляемой мощности блоков авионики.
- Повышение конкурентоспособности.
- Снижение себестоимости разработки за счет:
  - внедрения современных открытых стандартов, процедур и технологий;
  - расширения кооперации исполнителей;
  - сокращения сроков проектирования, испытаний, сертификации, доработки по бюллетеням, модернизации;

- Снижение стоимости поддержки в эксплуатации за счёт унификации применяемого оборудования.

Целью работы является разработка бортового вычислительно-управляющего блока с применением концепции ИМА.

В рамках работы проведен анализ современного состояния интегрированных бортовых вычислительных систем, разработаны архитектура измерительно-управляющего устройства, требования к аппаратному и программному обеспечению и пример конструктивного исполнения блока.

Разработанная архитектура соответствует требованиям документов КТ-178В (DO-178С), КТ-254 (DO-254), Р-297 (DO-297), ARINC 653.

## **Методы передачи данных по цепи питания постоянного тока ЛА**

Домени А.С.

Научный руководитель – Васильев Ф.В.

МАИ, г. Москва

Для питания бортового оборудования и систем летательных аппаратов (ЛА) в настоящее время применяются несколько типов электроэнергии, одним из которых является постоянный ток напряжением 27 вольт. Power Line Communication (связь по линии питания, PLC) – технология передачи данных по проводнику, который одновременно используется для передачи постоянного или переменного тока потребителям. Для внедрения в бортовую аппаратуру ЛА технологии PLC необходимо рассмотреть существующие методы передачи цифровых данных по цепи постоянного тока и их ограничения.

Наиболее распространенными из методов передачи цифровых данных являются методы, основанные на импульсной модуляции. В импульсной модуляции переносчиком сообщения является серия импульсов, характеризуемая рядом параметров: амплитудой, длительностью, положением во времени, числом импульсов и т.д. В простейшем случае (с импульсами прямоугольной формы) максимальное значение амплитуды сигнала означает логическую единицу, минимальное (обычно нулевое) значение амплитуды сигнала – логический ноль. Однако для создания подобного прямоугольного импульсного сигнала в цепи постоянного тока необходимо подключиться к цепи с разрывом контура. Для цепи питания постоянного тока генерировать сигналы с нулевым значением амплитуды недопустимо, из чего можно сделать вывод, что данный метод не подходит для задачи.

Модификацией описанного выше метода является реализация на основе амплитудной модуляции и мощного ключа (транзистора), который своим переходом кратковременно шунтирует цепь, что приводит к небольшому уменьшению напряжения в сети. На приемнике в таком случае установлен чувствительный детектор, считывающий колебания амплитуды напряжения в сети и демодулирующий сигналы. Однако в реалиях сетей бортовой аппаратуры ЛА подобный метод, во-первых, имеет очень малую помехоустойчивость к колебаниям напряжения в сети, вызванными нагрузкой и другими устройствами, а во-вторых, уменьшает надежность цепи.

Следующим возможным методом является создание для передатчика независимого контура с переменным током, модуляция сигнала в соответствии с

передаваемым информационным сообщением в нем любым предпочтительным способом (частотная, фазовая, амплитудная), наложение модулированного сигнала на контур с постоянным током и последующее разделение, считывание и демодуляция сигнала на приемнике с аналогичным независимым контуром переменного тока. Подобное наложение сигнала возможно реализовать без разрыва цепи с помощью гальванической развязки, то есть не уменьшая надежность цепи питания. Высокочастотный сигнал обеспечит необходимую скорость передачи данных. Данный метод имеет определенные недостатки:

- наложение дополнительного сигнала в цепь питания может привести к превышению допустимых значений максимального напряжения в цепи;
- распространение высокочастотного сигнала может создать помехи в работе устройств, не имеющих фильтров в точке подключения к цепи питания. Однако эти недостатки теоретически не являются критичными и непреодолимыми для системы.

### **Модуль конвертации данных для системы автоматизированного проектирования информационного взаимодействия компонентов авионики**

Дуброво А.И.

Научный руководитель – Неретин Е.С.

МАИ, г. Москва

При информационном обмене современных комплексов бортового оборудования (КБО) значительный объем передаваемых данных конвертируется из одного интерфейса в другой при передаче информации между самолётными системами. Наибольшее распространение из применяемых стандартов для кодовых линий связи на борту получили ARINC 429, ARINC 664, ARINC 825 и прочие.

Каждый интерфейс обладает уникальным протоколом передачи информации и структурой пакета данных.

Ручная перекодировка данных из одного интерфейса в другой при разработке КБО представляет трудоёмкий процесс с высокой вероятностью ошибок, вызванных человеческим фактором. Поэтому при проектировании современных КБО необходимо применять автоматизированную конвертацию данных.

Разработанный модуль конвертации данных представляет собой средство, позволяющее выполнять автоматизированную конвертацию данных входных кодовых линий связи в набор данных выходных кодовых линий связи в соответствии со стандартами ARINC 429 и ARINC 664 со следующими направлениями конвертации:

- ARINC 429 → ARINC 429;
- ARINC 429 → ARINC 664.

Входные и выходные данные для разработанного модуля конвертации данных представляют собой таблицы формата «xls». Таблицы содержат конвертируемые данные и служебную информацию, необходимую для перекодировки информации из одного интерфейса в другой.

В рамках данной работы создано программно-алгоритмическое обеспечение модуля конвертации данных для автоматизированной среды проектирования КБО самолёта транспортной категории.

Программная реализация модуля представляет собой макрос редактора электронных таблиц Microsoft Excel, разработанный на языке программирования Visual Basic.

Разработанное программно-алгоритмическое обеспечение полностью отлажено и протестировано. Результаты тестирования подтвердили работоспособность разработанных алгоритмов и программного обеспечения для решения поставленной в работе задачи.

Созданный модуль конвертации данных позволяет значительно сократить время разработки КБО, исключив при этом ошибки, вызванные человеческим фактором, при конвертации данных из одной кодовой линии связи в другую.

Модуль конвертация данных внедрён в ООО «ОАК-Центр комплексирования» в рамках проекта по разработке комплекса бортового радиоэлектронного оборудования среднемагистрального пассажирского самолёта МС-21 в части системы автоматизированного проектирования информационного взаимодействия компонентов авионики.

### **Программный комплекс хранения и обработки большого объёма неструктурированных данных**

Душелюбов А.И.

Научный руководитель – Гурченков А.А.

МАИ, г. Москва

За последние несколько лет получило развитие такое понятие как «BigData» или «большие данные». Это понятие обозначает большой объем данных, отвечающий следующим характеристикам: большой объем, крайне медленная скорость обработки имеющимися программными средствами, высокая сложность обработки в силу неоднородности данных и их структуры. Для решения проблем обработки таких данных, ряд компаний-разработчиков программного обеспечения, а также организация-фонд Apache Software Foundation разрабатывают инструменты, позволяющие обрабатывать такие данные. Одним из решений применяемым в данной сфере является Apache Spark. Он относится к экосистеме проектов Hadoop, разработанной для решения подобного рода задач. Apache Spark – представляет из себя масштабируемую вычислительную систему, позволяющую обрабатывать слабоструктурированные или не структурированные данные как с использованием экосистемы Hadoop, так и без. Данный программный комплекс так же имеет следующие преимущества: горизонтальное масштабирование нагрузки, отказоустойчивость, высокая скорость обработки.

В рамках данного доклада рассматривается задача обработки и хранения большого объема различной информации, например, о людях, транспорте или компаниях, с учетом их взаимосвязи. Обработка состоит из нескольких подзадач: структурирование как имеющихся, так и новых данных для возможности организации последующего поиска по ним, создание, обновление и поддержка связей между данными разного типа. Проблемой данной задачи



является то, что требуемый функционал должен обеспечивать постоянную обработку данных без нарушения работы поисковых сервисов. Так же немаловажной проблемой является то, что имеющийся объем данных практически невозможно обрабатывать за адекватное время без использования каких-либо средств обработки BigData. Для поставленной задачи было разработано решение, состоящее из базы данных отвечающей за хранение и поиск по имеющимся данным, а также из некоторого набора приложений на платформе Apache Spark, которые производят постоянную обработку всех данных.

Apache Spark был выбран в качестве инструмента, позволяющего при помощи нескольких виртуальных машин организовать обработку большого объема данных непосредственно в оперативной памяти, не нагружая поисковые сервисы. В качестве средства хранения данных используется база данных MongoDB, предоставляющая функционал быстрого поиска. Таким образом было реализовано решение, которое состоит из нескольких этапов: берутся имеющиеся данные, при помощи Apache Spark приводятся к необходимой для поиска структуре, обработанные данные сохраняются в базу данных, загружаются новые данные.

Данная разработка находится на этапе доработки и тестирования в компании ФГУП ГлавНИВЦ УДП РФ.

### **Прототип системы синтетического видения перспективного объекта авиационной техники**

Дяченко С.А.

Научный руководитель – Неретин Е.С.

МАИ, г. Москва

Система синтетического видения (ССВ) представляет собой программно-аппаратное средство, формирующее в бортовом вычислителе и отображающее на пилотажных индикаторах изображение топографического участка местности, наблюдаемого из кабины пилота, используя навигационную информацию и базы данных (БД) подстилающей поверхности, препятствий, объектов аэродромной инфраструктуры.

ССВ предназначена для обеспечения ситуационной осведомленности экипажа относительно окружающего пространства в процессе полёта в ночное время и в условиях низкой видимости, а также для снижения нагрузки на экипаж за счёт возможности быстрой оценки пространственного положения и ориентации летательного аппарата (ЛА) относительно заданного курса полёта, рельефа земной поверхности и аэродрома.

Целью работы является разработка прототипа ССВ для перспективного среднемагистрального гражданского самолёта транспортной категории.

Информационное обеспечение ССВ включает следующие входные данные:

БД подстилающей поверхности, препятствий, объектов аэродромной инфраструктуры, загружаемые в бортовой вычислитель перед вылетом;

текущие углы тангажа, рыскания, крена от инерциальной навигационной системы (ИНС);

текущие широту, долготу и высоту полёта борта от GPS/ГЛОНАСС;

текущие барометрическую высоту и барокоррекцию высоты от системы воздушных сигналов (СВС);

текущую истинную высоту полета от радиовысотомера;

аэропорты вылета и посадки, взлётно-посадочные полосы (ВПП) вылета и посадки, запасные аэропорт и ВПП от вычислительной системы самолётовождения (ВСС);

визуальную информацию о непреднамеренном сближении ЛА с подстилающей поверхностью от системы раннего предупреждения приближения к земле (СРППЗ).

Программно-алгоритмическая часть прототипа ССВ представляет собой приложение центрального вычислителя авионики (ЦВА). Разработка и отладка программно-алгоритмического обеспечения осуществлены в среде моделирования MATLAB.

Для восстановления 3D-плана подстилающей поверхности на основном пилотажном кадре применён модифицированный алгоритм, использующий информацию из БД СРППЗ.

Разработанный прототип ССВ соответствует требованиям руководящих документов КТ-178В (DO-178С), КТ-254 (DO-254), Р-297 (DO-297), DO-315.

Результаты проведённого моделирования подтвердили работоспособность программно-алгоритмического обеспечения прототипа ССВ. Предложенный в работе подход применим для решения поставленных задач.

### **Система обратной связи, как необходимая составляющая информационной системы управления бизнес-процессами**

Ермолаева Ю.В.

Научный руководитель – Рубцов Е.А.

МАИ, г. Москва

В последнее время в компаниях появляется все больше информационных систем для управления различными бизнес-процессами. При использовании любой информационной системы возникают сопутствующие вопросы и проблемы:

- Эффективное администрирование и обслуживание.
- Адаптация к изменениям бизнес-процессов компаний.
- Адаптация к изменениям условий эксплуатации.
- Отказы или сбои в работе.
- Оптимизация производительности.
- Сбор информации о пожеланиях и замечаниях пользователей к работе системы.

Для решения этих задач нужна система обратной связи со службой технической поддержки. Система обратной связи может существовать отдельно от информационной системы, используемой в компании. Однако, для улучшения качества обратной связи система обратной связи может быть встроена внутрь информационной системы и стать ее неотъемлемой частью.

Система обратной связи, встроенная в информационную систему, позволит пользователям оперативно передавать информацию службе технической поддержки о своих замечаниях и пожеланиях к работе информационной

системы. Благодаря встроенной системе обратной связи, служба технической поддержки получит возможность быстро реагировать на обращения пользователей.

Встроенная система обратной связи должна в первую очередь позволять пользователем передавать в службу технической поддержки текстовые сообщения. Но осуществлять процедуру набора текста не всегда удобно (например, если пользователь работает с информационной системой через мобильное устройство). Так же ввод текста может отвлечь пользователя от его основной работы. Альтернативой вводу текста является запись аудио сообщения и отправка этого файла в службу технической поддержки. Для передачи более детальной информации пользователь должен иметь возможность прикреплять к сообщению любые файлы. Так же пользователю нужна возможность оперативного создания и автоматического прикрепления к сообщению снимка экрана, на котором можно наглядно увидеть проявление описываемой проблемы.

Система обратной связи должна присутствовать во всех модулях информационной системы, с которыми работают пользователи (включая мобильные приложения и веб-системы), чтобы пользователь мог оперативно, не выходя из информационной системы сформировать сообщение для службы тех поддержки.

Все сообщения от пользователей должны попадать автоматически в центральную базу данных для их дальнейшей обработки.

## **Инструменты управления ИТ-ресурсами компаний: как избавиться от хаоса и считать каждую копейку**

Карасев Н.С.

Научный руководитель – Гуснин С.Ю.

МАИ, г. Москва

Чтобы понять, насколько качественно работает ИТ, какой подход использовать для оптимизации работы ИТ-активов в компании и как снизить затраты на ИТ-ресурсы — нужно иметь ориентиры. В их основе обычно используют лучшие практики — ITIL, Cobit, ISO 2000 и прочее. Это те концепции, которые впервые озадачились эффективностью организации работ ИТ и заложили основные принципы, широко применяемые теперь во всем мире. Именно эти концепции рекомендуют выделять в деятельности ИТ такие сущности, как процессы и ИТ-сервисы, и выстраивать работу ИТ-подразделений вокруг них.

Основные вопросы, которые стоят перед ИТ-департаментом:

Сколько стоит предоставление той или иной услуги компании?

- Сколько времени необходимо для решения тех или иных ИТ-процессов?
- Как не только организовать процессы и автоматизировать их, но и централизованно контролировать их работу?
- Насколько качественно работает ИТ?

Для решения выше поставленных вопросов существуют различные средства управления ИТ-ресурсами, но мы рассмотрим наиболее эффективную систему

для большинства компаний-Service Manager. Основной задачей данной системы является работа с инцидентами/процессами, но ее ключевой особенностью является возможность интеграции с уже существующими решениями в инфраструктуре компании. Такая особенность позволяет получить руководству компании наиболее важную для них информацию – статистику работы ИТ-службы, а пользователям более качественную поддержку. Основным преимуществом использования Service Manager является ее гибкость и совместимость с другими системами, Service Manager поддерживает работу с следующими сервисами компании:

- Системы списания времени (clarity, jira и т.д.).
- Почтовая система.
- Базы знаний (blog, cmdb и т.д.).
- Active Directory, nsi.
- Ерр системы.
- Incident tracker.
- Система отчетов (target).
- CRM системы.

При должном внедрении Service Manager в инфраструктуру компании, достигается аудит подразделений и процессов, автоматизируется большая часть задач, разгружаются первые и вторые линии техподдержки, ведется учет активов. В рамках почти любой компании использование данного решения является необходимым условием для эффективной работы ИТ-службы.

Начиная строить работу своих ИТ-департаментов именно так: сначала тикеты, чтобы ничего не терялось и были понятные приоритеты; затем другие процессы; управление каталогом услуг, конфигурациями изменения; потом — точное понимание, что именно сколько стоит и какую долю в каждом проекте компании составляет ИТ и комплексный контроль качества работы ИТ-департамента через сбалансированные показатели. В итоге ИТ-департамент, призванный автоматизировать работу компании, автоматизирует и свою работу тоже.

### **Повышение надёжности производства ракетно-космической техники с применением обработки телеметрической информации на базе нейросетевой модели**

Левченков Б.М.

Научный руководитель – Цырков А.В.

МАИ, г. Москва

Современные методики обработки информации на базе локальной вычислительной сети, позволяют провести определённое количество аналитических исследований по поведению объекта. После того как алгоритм обработки закончит расчет и предоставит вывод, пользователь сможет провести дополнительную оценку о возможной тенденции того или иного узла на изделии.

Теория нейронных сетей, при их внедрении с тщательно подобранным аппаратным комплексом, позволяют максимально оптимизировать задачу обработки, путем решения параллельных задач. Поскольку изделие Ракетно-

Космической техники (РКТ), является совокупностью различного рода параметров, то сложность решения подобной задачи возрастает многократно. Для понимания поведения параметра или группы параметров, разрабатывается определенная математическая модель поведения, которая с запасом определенных критериев, пытается охватить максимально возможно поле действия. Данная модель служит неким эталоном, по которому алгоритм программы (или аналитик), проводит анализ по тому, как ведет себя параметр на участках динамической работы.

Применяя теорию нейронных сетей, а конкретнее, применяя программное обеспечение, построенное на базе сети компьютеров с нейропроцессорами. Появляется возможность обучить нейросеть вероятному поведению определенного параметра, параметров или системы в целом. Имея перечень математических моделей, пользователь, загружая их в среду программного обеспечения, и проводит так называемое «Обучение с учителем». Такая методика заполнения базы данных нейросети выстраивает концепцию работы обработки информации, которая в дальнейшем должна перейти в принцип работы, и передачи части функций по оценке состояния объекту непосредственно самой нейросети.

Последующая динамика поведения параметров в поле действия математической модели, реализованной на базе нейросети, помогает сузить вероятность появления тех или иных событий, которые могут негативно влиять на работу систем РКТ в целом. Выявленные факторы динамического изменения показателей и оценка, проведенная программным обеспечением на базе нейросети, позволяют указать участок в конструкции изделия, где появилась тенденция к расширению аномалии. А поскольку нейросеть имеет возможность обучаться, то можно моделировать поведение вводя новые коэффициенты в алгоритм обработки информации самой сети.

В ходе обработки на базе нейросети и последующего анализа поведения изделия, можно вносить предложения и проводить дополнительные исследования непосредственно самих узлов и агрегатов, надежность которых вызывает настороженность со стороны качества их работы, или производства.

### **Магнитокалорическая система охлаждения**

Смирнова К.П., Терновский В.В., Терновсков В.Б.

ГКА им. Маймонида, г. Москва

Разработка относится к области электроники, в частности к охлаждению теплонапряженных компонентов электронных устройств. Сущность: теплоотвод – сердечник электромагнита из инверсного магнитокалорического сплава приклеен с помощью термогенераторной пасты к поверхности теплоотведения.

Технический результат: повышение качества процесса охлаждения путем преобразования выделяемого тепла в холод. Достижимый технический результат состоит в устранении шумов и энергопотребления, при одновременном повышении быстродействия, надежности и эффективности системы охлаждения.

Использование представленного устройства снижает нагрев окружающих систем, повышает скорость кондукции, уменьшает термоинертность и габариты радиатора, полностью устраняет шумы и энергозатраты модуля охлаждения и

тем самым, увеличивает эффективность работы вычислительной системы в целом.

Многие современные электронные приборы содержат элементы, рассеивающие при работе большое количество тепла. Для обеспечения рабочих тепловых режимов таких элементов необходимы специальные меры по их охлаждению. Наиболее актуально проблема охлаждения стоит в компьютерной технике, где плотности теплового потока, рассеиваемые с поверхности быстродействующих процессоров, могут достигать 70-100 Вт/см<sup>2</sup>.

Общеизвестна активная система охлаждения компьютерных блоков, которая состоит из набора индивидуальных радиаторов, сопряженных с вентиляторами. Стандартный компьютер настольного исполнения содержит 3-4 вентилятора. Основными недостатками такого охлаждения является повышенный шум и низкая надежность, связанная с ограниченным сроком службы вентиляторов. Кроме того, интенсивный обмен и перемешивание воздуха ведут к сильному запылению внутренности блока и нагреву соседних модулей, осложняющему условия работы остальных элементов.

В заявляемой разработке самые значительные недостатки систем охлаждения - неизотермичность радиатора, энергозависимость, шум и т.п. превращены в основные достоинства.

### **Блок преобразования информации для авионики**

Иванов А.С., Копылов И.А., Лосяков Е.И.

Научный руководитель – Неретин Е.С.

МАИ, г. Москва

Современные комплексы бортового оборудования включают в себя широкий спектр датчиков и исполнительных механизмов, обеспечивающих самолётные системы информацией о параметрах полёта и состоянии агрегатов и узлов бортового оборудования.

Преобразование входной аналоговой и дискретной информации является одним из критичных этапов работы авионики, влияющий как на работоспособность самолётных систем, так и на безопасность полёта в целом.

Расположение датчиков самолётных систем по всей длине самолёта обуславливает необходимость прокладки информационных линий связи от первичных преобразователей до вычислителей, располагаемых в отсеке бортового радиоэлектронного оборудования самолёта под кабиной экипажа, что приводит к увеличению массы кабельной сети самолёта и низкой помехозащищённости передаваемых аналоговых сигналов

Целью работы является разработка прототипа блока преобразования информации (БПИ), предназначенного для установки в местах максимальной концентрации датчиков бортовых систем (в носу самолёта, в центроплане, в хвосте) в непосредственной близости от первичных преобразователей. БПИ должны обеспечивать приём аналоговой и дискретной информации от датчиков и сигнализаторов самолётных систем, их первичную обработку и передачу в вычислители самолётных систем по кодовым линиям связи.

Предлагаемая архитектура позволит значительно сократить массу кабельной сети самолёта, повысить помехозащищённость передаваемых сигналов и качество преобразования информации входной аналоговой информации.

БПИ представляет собой микропроцессорное устройство, обеспечивающие первичное преобразование информации датчиков самолётных систем и передачу результатов преобразования по кодовой линии связи в соответствии с требованиями стандартов ARINC 429 или ARINC 825 в вычислители самолётных систем.

БПИ обеспечивает обработку следующих типов входных сигналов:

- резистивных;
- потенциометрических,
- токовых.

Архитектура блока предусматривает четыре режима работы: стартовый режим, рабочий режим, режим расширенного контроля и технологический режим (режим программирования).

При подаче питания блок автоматически переходит в стартовый режим, в котором выполняется: инициализация аппаратуры блока и стартовый контроль аппаратуры.

Переход в режим расширенного контроля возможен только на земле по запросу бортовой системы технического обслуживания.

Технологический режим (режим программирования) работы доступен только в лабораторных условиях на демонтированном с самолёта блоке.

В рабочем режиме блок функционирует в соответствии с заложенными алгоритмами.

Входящие в состав БПИ микроконтроллер и программируемые логические интегральные схемы позволяют обеспечить низкое энергопотребление блока, высокую тактовую частоту работы, а, следовательно, и скорость выполнения решаемых задач.

Прототип БПИ удовлетворяет требованиям P4754 (ARP4754a), P297 (DO-297), КТ-178В (DO-178С).

### **Разработка подсистемы бортового программного обеспечения для управления, сбора и обработки данных полезной нагрузки спутника**

Жданов П.А., Матюшенко М.В.

Научный руководитель – Брехов О.М.

МАИ, г. Москва

В рамках проекта по созданию спутника осуществляется разработка его бортового программного обеспечения (БПО), выполняющего задачи по управлению различными служебными подсистемами космического аппарата и целевой полезной нагрузкой.

Доклад посвящен разработке одной из основных подсистем бортового программного обеспечения, отвечающей за управление, сбор и обработку данных приборов научного комплекса.

В докладе представлены задачи, решаемые разрабатываемой подсистемой, приведены требования, предъявляемые к программному обеспечению, его

архитектура, состав, назначение основных модулей, протоколы их взаимодействия, алгоритмы работы и особенности реализации.

Разрабатываемая подсистема функционирует в автономном режиме в соответствии с заложенным полётным заданием. При этом существует возможность выполнения разовых команд, поступающих с наземного пункта управления, а также изменения действующего полётного задания.

Объектом управления является совокупность приборов полезной нагрузки, выполненных в виде единого комплекса научных инструментов. Взаимодействие с ним (управление и сбор данных) осуществляется посредством передачи специальных командных сообщений. Под обработкой данных понимается накопление служебной и научной информации, её сжатие (с помощью библиотеки Zlib) и формирование выходных пакетов для последующей передачи на наземный комплекс управления.

Целевой платформой, для которой разрабатывается программное обеспечение, является бортовая машина инженерного образца спутника на базе процессорной платы Eurotech CPU-1421, работающая под управлением операционной системы реального времени (ОСРВ) RTEMS 4.11. В докладе описаны основные этапы разработки приложений для ОСРВ RTEMS: установка необходимых программных средств и настройка рабочего окружения. Редактирование, компиляция и первоначальная отладка кода осуществляется на инструментальной машине (кросс-разработка), функционирующей под управлением операционной системы Debian или Ubuntu.

Разработка программного обеспечения ведётся на языке программирования C. В целях повышения безопасности и надёжности ПО разработка осуществляется в соответствии со специализированными стандартами кодирования, такими как JPL Institutional Coding Standard for the C Programming Language, MISRA-C, The Power of Ten.

Тестирование разрабатываемого программного обеспечения предварительно осуществляется на инструментальной машине с помощью эмулятора QEMU и отладчика GDB. Затем тестирование выполняется непосредственно на целевой системе. В докладе приведена структура тестового стенда, описано аппаратное и программное обеспечение, непосредственно процесс тестирования и методы отладки, используемые в случае возникновения ошибок.

## **Исследование влияния размера изображения на качество обучения глубокой нейронной сети**

Мельниченко М.А.

Научный руководитель – Визильтер Ю.В.

МАИ, г. Москва

Свёрточная нейронная сеть (СНС) представляет собой специальную архитектуру искусственных нейронных сетей (ИНС), предложенную Яном Лекуном и нацеленную на эффективное распознавание изображений. СНС входит в состав технологий глубокого обучения, является одним из лучших алгоритмов по распознаванию и классификации изображений, устойчива к повороту и сдвигу распознаваемого изображения и обучается при помощи классического метода обратного распространения ошибки (ОРО).



Использование классических нейронных сетей (НС) для распознавания и обнаружение объектов на изображениях затруднено, как правило, большой размерностью вектора входных значений НС, большим количеством нейронов в промежуточных слоях и, как следствие, большими затратами вычислительных ресурсов на обучение и вычисление сети. СНС в меньшей степени присущи описанные выше недостатки, но они существенны.

Целью исследовательской работы разработать топологию СНС для распознавания исходной базы изображений и определить минимальный вектор входных значений, при котором СНС показывала высокий уровень обучения.

В качестве исходных данных для разработки топологии СНС используются следующие данные:

- в качестве основы нейронной сети была взята широко известная Convolutional Neural Networks (CNN) AlexNet;
- исходная выборка бинарных изображений, представляющая описание 70 классов объектов.

На основе построенных структур CNN были получены высокие результаты обучения СНС не только на исходных изображениях большой размерности, но и на выборках с малыми размерами (вплоть до изображения размерность 7x7 пикселей). Во-первых, что вопреки уменьшению размерности изображения исходной выборки для обнаружения и распознавания объектов, получается больший эффект, то есть, при минимальном количестве введенных эталонных объектов, используемых для обучения нейронной сети (30 изображений для каждого класса) и при минимально возможной матрице рецепторов (7x7), получается высокий уровень обучения (распознаны все классы из исходной выборки). Во-вторых, существенное уменьшение базы данных набора и повышения эффективности распознавания объектов.

Разработка топологии СНС осуществлена в среде моделирования НС «Caffe».

Разработана топология CNN, которая показала высокий уровень обучения на минимальном входном векторе значений. Таким образом, доказано, что существует методы уменьшения затрат вычислительной мощности и времени на обучение сети, одним из которых является уменьшение входного вектора значений.

## **Использование ПЛИС для реализации системы автономного адаптивного управления**

Мишустин И.А.

Научный руководитель – Преображенский Н.Б.

ИТМиВТ, г. Москва

Актуальность состоит в том, что рассматривается реализация системы автономного адаптивного управления (ААУ), в виде специализированной нейронной сети с использованием Программируемых Логических Интегральных Схем (ПЛИС)

- Система Автономного Адаптивного Управления (ААУ) подразумевает возможность переобучения, что отличает ее от классической нейросетей, в которых обязательно предварительное обучение.

- Система ААУ позволяет решать не только задачу распознавания как в классических нейросетях, но и задачу управления.

- На данный момент не была реализована система ААУ на ПЛИС.

Проблематика состоит в том, что, на данный момент, система автономного адаптивного управления реализовывалась либо чисто программным способом (компьютерные программы), либо программно-аппаратным способом (микроконтроллеры). ПЛИС же не имеют системы команд, а являются перепрограммируемыми матрицами триггеров, что в свою очередь влияет на структуру и специфику написания синтезируемой конструкции на языке Verilog. Также из-за исторически сложившихся обстоятельств, необходимо следить за синхронизацией между микросхемой ПЛИС и возможными периферийными устройствами, а также за ресурсами, используемыми при различных вариантах исполнения.

Цель – создание платформенезависимого модуля, реализующего функцию нейрона автономного адаптивного управления на языке Verilog, с заданными задержками и синхронизацией. Создание генератора Verilog кода на языке Lua для создания нейронных сетей на ПЛИС. Проверка на реальной микросхеме Xilinx Spartan 3e.

Результаты: Создан платформенезависимый модуль, реализующий функцию нейрона на языке Verilog. Данный модуль был улучшен путем введения структурного порога реализованный с помощью мультиплексорной схемы. Данный модуль был улучшен путем введения падающего структурного порога. Создан генератор Verilog кода для создания нейронных сетей. Проверено в симуляторе modelsim.

Литература.

Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. Изд-е 2-е (монография) 359 с.

## **Применение оптоэлектронных процессоров в бортовых вычислительных системах**

Бражник А.С., Дудкин С.О., Неретин Е.С.  
МАИ, г. Москва

Интегрированный комплекс бортового оборудования (ИКБО) перспективных летательных аппаратов (ЛА) должен удовлетворять следующим требованиям:

- высокая эксплуатационная пригодность и надёжность выполнения полётного задания при приемлемой стоимости эксплуатации;
- эволюционность и адаптируемость функционального потенциала к различным типам ЛА, возможность проведения архитектурной модернизации;
- уменьшение времени принятия решений при многокритериальности выбора оптимального варианта решения;
- работоспособность в условиях усложнения тактической обстановки и повышения динамики её изменения;
- высокая информационная поддержка экипажа при выполнении полётного задания.

Информационным ядром ИКБО является бортовая вычислительная система (БВС). БВС представляет собой распределённую сеть микропроцессорных

устройств, выполняющую обработку больших массивов информации в режиме реального времени. В связи с постоянным ростом объёмов неиспользуемой информации и усложнением алгоритмов её обработки возникает необходимость применения в БВС процессоров большей производительных.

Перспективной элементной базой БВС являются оптоэлектронные процессоры (ОЭП), в которых эффективно сочетаются оптические и электронные методы обработки информации. Преимущества оптических методов обработки информации – высокие помехозащищенность и быстродействие, низкое энергопотребление – особенно востребованы в бортовом оборудовании ЛА.

ОЭП являются специализированными вычислителями. Предложено множество различных архитектур, отличающихся по функциональному назначению, характеристикам, распределению операций между оптической и электронной частями ОЭП. Также созданы ОЭП, выполняющие широко распространённые операции, например, векторно-матричные перемножители, конвольверы, корреляторы, которые в перспективе могут стать универсальной элементной базой БВС.

ОЭП в составе БВС способны решать следующие задачи:

- обработку изображений (распознавание целей, оптоэлектронная разведка, формирование трёхмерных изображений полётной и тактической обстановки в режиме реального времени);
- управление диаграммой направленности фазированных антенных решеток;
- пилотажно- и прицельно-навигационные вычисления;
- обработку первичной информации датчиков (нормализация, фильтрация, спектральный и корреляционный анализ).

К недостаткам ОЭП следует отнести невысокую гибкость в отношении используемых алгоритмов вычислений. Данный недостаток преодолевается соответствующим решаемым задачам построением электронной части ОЭП.

Для интеграции БВС на основе ОЭП в ИКБО необходимы высокопроизводительные линии передачи данных, например, MIL-STD-1553 или Fibre Channel, которые могут быть использованы для обмена данными между БВС на основе ОЭП и другими устройствами ИКБО.

Таким образом, применение ОЭП в БВС отвечает современным тенденциям построения ИКБО и обеспечивает перспективные требования к его характеристикам.

### **Модуль оценки опасности полётной ситуации на основе параметра двигательной активности лётчика в канале продольного управления самолётом**

Копылов А.А., Нафиков М.А., Родионов Я.В.

Научный руководитель – Полуэктов С.П.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Постоянное усиление противоречия между возрастающим уровнем сложности летательного аппарата (ЛА), обусловленным стремлением к повышению эффективности его применения, и недостаточным уровнем

собственных защитных свойств системы «экипаж-ЛА» порождает проблему, состоящую в необходимости его разрешения путем повышения уровня собственных защитных свойств системы «экипаж-ЛА».

Основным практическим направлением решения указанной проблемы следует считать разработку и внедрение бортовых средств активного обеспечения безопасности полета [1]. Принципы построения активных систем обеспечения безопасности полета (АСБП) были научно обоснованы еще 30 лет назад. Однако ни один современный российский самолет до сих пор еще не оснащен бортовой АСБП.

Одним из ключевых подходов к разработке АСБП является научно-методический аппарат оценки опасности полетной ситуации, позволяющий получить количественную оценку степени опасности полетной ситуации, на основе которой реализуются методы принятия решения, выработки и реализации интеллектуальных защитных управляющих воздействий в АСБП.

Традиционно оценка опасности полетной ситуации осуществляется экипажем и лицами группы руководства полетами с последующим активным участием летчика в управлении ЛА либо включением им соответствующих режимов работы системы автоматического управления [2]. Но данные методы становятся нереализуемыми в случае внезапной потери летчиком работоспособности.

В качестве одного из путей расширения функциональных возможностей АСБП авторами предлагается в модуле оценки опасности полетной ситуации использовать параметр двигательной активности летчика, в котором содержится информация о соответствии характера движения ручки управления самолетом фактической и прогнозируемой траектории движения летательного аппарата. Введение предлагаемого дополнительного информационного канала в АСБП позволит повысить надежность оценки опасности полетной ситуации, что в итоге приведет к усилению активных защитных свойств системы «экипаж-ЛА».

Литература.

1 Жмеренецкий В.Ф. Активное обеспечение безопасности полета летательного аппарата. Методология, модели, алгоритмы / В.Ф. Жмеренецкий, К.Д. Полулях, О.Ф. Акбашев. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 320 с.

2 Эргатические интегрированные комплексы летательных аппаратов: монография / Под ред. М.М. Сильвестрова. – М.: ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2007. – 512 с.

## **Разработка программного комплекса для конструирования и коррекции стереопар**

Сакалюк Е.Г.

Научный руководитель – Костиков Ю.А.

МАИ, г. Москва

Целью данной работой является разработка программного решения для конструирования стереопар с помощью алгоритмов спектрального разделения ракурсов, а также применение метода совмещения стереопары, основанный на корреляции изображений для цифровой коррекции параметров существующих изображений стереопар.

Данный программный комплекс построен на программной платформе Microsoft.Net Framework 5.0 с использованием языка программирования C#. Графический интерфейс приложения разработан с помощью Windows Forms API, позволяет пользователю создавать новые стереоизображения и редактировать существующие, используя определенный набор настроек.

Изображения стереопары при проекции на экран накладываются одно на другое, и так как одно изображение несколько отличается от другого, то не все одноименные точки правого и левого изображения сольются: часть из них разойдется в одну сторону, часть – в другую, т.е. будет иметь место горизонтальный параллакс. Параллакс – взаимное смещение сопряженных точек в изображениях стереопары.

Стереопара формируется посредством геометрического трансформирования одного из исходных изображений в плоскость другого и позволяет ограничить область поиска одноименных точек, изображения стереопары  $A(x, y), B(x', y'), x = \overline{1, X}, y = \overline{1, Y}, x' = \overline{1, X'}, y' = \overline{1, Y'}$ .

Далее необходимо решить задачу совмещения отдельных снятых кадров стереопары методом совмещения стереопары, основанном на выделении объекта в изображении, создании градиентов изображений, а также нахождении максимальной корреляции между объектами. Корреляция (корреляционная функция) определяется следующим выражением:

$$G_{\Pi}(x, y) \otimes G_{\text{Л}}(x, y) = \frac{1}{VW} \sum_{v=0}^{V-1} \sum_{w=0}^{W-1} G_{\Pi}(v, w) G_{\text{Л}}(x + v, y + w),$$

где  $G_{\Pi}(x, y), G_{\text{Л}}(x, y)$  – градиенты правого и левого изображений выделенного объекта, соответственно, размером  $V \times W$ . Процессом корреляции является прохождение одного изображения по другому изображению, накрывая различные окрестности. Результатом данного процесса является результирующая матрица корреляции, определяющая горизонтальные и вертикальные параллаксы.

Программный комплекс успешно решает поставленные задачи, на данный момент проходит тестирование на кафедре «Прикладная математика, информационные технологии и электротехника».

Список используемой литературы:

Гошин, Е. Метод согласованной идентификации в задаче определения соответственных точек на изображениях / Е. Гошин, В.А. Фурсов // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36. – №1. – С. 131–135.

Pozin A.G. Using of sub pixel line extraction methods in noncontact measure systems. Труды 14-ой Международной Конференции по Компьютерной Графике и Зрению GraphiCon 2004, Москва, 2004. 230 стр.

## **СЕКЦИЯ № 35. Управление движением и навигация**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Рыбников С.И.

---

### **Рассмотрение основных проблем автоматизированного формирования вертикального профиля полёта для МС – 21**

Бережной Д.А.

Научный руководитель – Веремеенко К.К.

МАИ, г. Москва

На текущем этапе модернизации систем аэронавигации очень важным моментом является совершенствование вычислительных алгоритмов, выполняющих основные расчётные задачи для обеспечения самолётовождения. Одной из наиболее сложных задач является обеспечение оптимизации навигационного управления ЛА в вертикальной плоскости.

Согласно [1] вертикальную навигацию можно характеризовать как метод навигации, который позволяет воздушному судну выполнять полёты по вертикальным профилям с использованием датчика высоты, внешнего сигнала заданной траектории, принимаемой от диспетчера или их комбинации.

Вертикальные аспекты формирования пути определяют профиль пути от начала до пункта назначения. Основные задачи, решаемые при этом:

- определение высоты в контрольных точках (КТ) маршрута с учетом ограничения высоты, заданной в НБД или службой УВД;
- определение углов наклона траектории, связанных с очередным участком маршрута;
- определение скорости в КТ с учетом ограничений.

Оптимизация полёта в режиме вертикальной навигации возможна по многим группам параметров, таких как: пилотажные параметры, навигационные параметры, параметры массы и конфигурации, параметры силовой установки, параметры внешней среды, технико-экономические параметры.

В общем виде можно представить решение спектра задач данного направления как разрешение некоторого функционала, состоящего из обозначенных выше групп параметров.

Задачи оптимизации, реализуемые в ФПА, сводятся к выбору оптимальных навигационных параметров траектории  $\Phi_{mp}$ , в частности, оптимальных высоты и скорости полёта, характеризующих управление центром масс ЛА с учётом влияния законов управления на экономию ресурса двигателей и параметров внешней среды.

Литература.

JAA Administrative & Guidance Material, Section One: General Part 3: Temporary Guidance Leaflets Leaflet № 10: Airworthiness And Operational Approval For Precision Rnav Operations In Designated European Airspace (JaaTgl10).

## **Многоцелевой лабораторный стенд для исследований систем управления БЛА типа квадрокоптер**

Горшенина В.К., Юдина Ю.Ю.  
Научный руководитель – Прохоров П.Д.  
МАИ, г. Москва

Целью данного исследования было изучение системы внешнетраекторных измерений на основе ИК камер и определение условий применения системы (размер рабочего пространства, максимальная высота полета квадрокоптера в лабораторных условиях, стабилизация квадрокоптера, различные виды питания: от сети и от батареек).

Исследование включало в себя следующие этапы:

- Изучение структуры системы внешнетраекторного наблюдения
- Изучение структуры САУ БЛА коптерного типа
- Реализацию различных стратегий полета
- Реализацию СУ БЛА жестами

Преимущество данной системы заключается в том, что не требуется наличие сигнала глобальной навигационной спутниковой системы. Были рассмотрены преимущества и недостатки использования локального навигационного поля, как в лабораторных условиях, так и за их пределами, также были исследованы преимущества маловысотного полета квадрокоптера.

Проведенные эксперименты показали, что изученная (разработанная) система может быть использована в качестве многоцелевого лабораторного стенда для проведения полунатурных лабораторных исследований САУ БЛА.

## **Полунатурное моделирование динамики маневренного самолёта при дозаправке топливом в полёте**

Журавский К.А.  
Научный руководитель – Верещиков Д.В.  
ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Дозаправка самолетов в воздухе является одним из эффективных способов увеличения дальности и продолжительности полета, а, следовательно эффективности авиационных комплексов в целом [1].

Реализация дозаправки в воздухе требует решение большого круга задач, одной из которых является обеспечение приемлемых пилотажных характеристик заправляемого самолета в процессе стыковки с самолетом - заправщиком с точки зрения сокращения времени на стыковку и снижения утомляемости экипажа. Для маневренных самолетов эта задача решается путем создания специального способа управления, суть которого заключается, в том, что летчик осуществляет дозированное управление (в виде S-образных маневров в горизонтальной и вертикальной плоскостях) непосредственно перед стыковкой применяя 4-х позиционный кноппель с использованием возможностей штатной системы автоматического управления.

Для проведения полунатурного моделирования процесса стыковки дозаправляемого самолета с самолетом заправщиком используется пилотажный стенд маневренного самолета со штатными колонками управления, на

которых размещены 4-х позиционные кнопки. Пилотажный стенд оснащен индикацией, соответствующей самолету Ил-76МД-90А.

Для моделирования динамики движения неманевренного самолета в программном комплексе Matlab@Simulink создана Simulink - модель динамики самолета Ил-76МД-90А, включающая следующие элементы [2]:

- систему уравнений движения самолета;
- банк данных для расчёта аэродинамических сил и моментов;
- алгоритмы работы системы управления в каналах крена и тангажа;
- алгоритмы системы автоматического управления, обеспечивающей выполнение S-образных маневров в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Моделирование процесса стыковки производится с целью:

- определения наилучшего способа управления с точки зрения психофизической загрузки летчика;
- определения наилучшего способа управления с точки зрения времени, затрачиваемого на стыковку.

Моделирование проводилось с привлечением трех летчиков, каждый из которых выполнил не менее десяти стыковок. Результаты моделирования подвергнуты статистической обработке.

Литература.

1. Боевые авиационные комплексы и их эффективность: учебник для слушателей и курсантов инженерных ВУЗов ВВС/ И.В. Арбузов, О.В. Болховитинов, О.В. Волочаев [и др.]. – М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. – 224 с.

2. Динамика полета: Учебник для студентов высших учебных заведений / А.В. Ефремов, В.Ф. Захарченко, В.Н. Овчаренко и др.; под ред. Г.С. Бюшгенса. – М.: Машиностроение, 2011. – 776 с.

## **Комплексная система indoor-навигации на основе Bluetooth маяков для использования на мобильном устройстве**

Карагин Н.А.

Научный руководитель – Кошелев Б.В.

МАИ, г. Москва

В работе рассматривается возможность создания комплексной системы indoor-навигации (навигации внутри помещений) для мобильного устройства, на основе встроенных в него Bluetooth-модуля и микроэлектромеханических инерциальных датчиков. Система предназначена для определения местоположения пользователя мобильного устройства внутри зданий с большими размерами.

В процессе разработки на основе встроенного инерциального модуля мобильного устройства, содержащего трехосевой акселерометр и трехосевой гироскоп, с помощью комплексной обработки их данных была построена бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС), которая является основой навигационного комплекса. В качестве корректирующей информации для БИНС используются сигналы Bluetooth маяков, размещенных внутри помещения. Вся обработка поступающей информации осуществляется



внутри мобильного устройства посредством специально разработанного программно-математического обеспечения (ПМО).

На основе собственных практических исследований и анализа зарубежных публикаций были выявлены особенности использования радиосигналов от Bluetooth маяков для навигации. Так на расстоянии до 7 метров возможно использовать непосредственно удельную мощность сигнала маяков для нахождения дальности до них и последующего определения местоположения методом трилатерации. Для более дальних расстояний необходимо использовать алгоритмы, основанные на анализе предварительно составленной «радиокарты» помещения, так как низкий уровень мощности сигнала не позволяет достаточно точно определить расстояние до маяков.

Разработанное в процессе работы ПМО позволяет использовать систему навигации на мобильных устройствах в виде мобильного приложения, что делает ее применение весьма обширным: от магазинов и выставок, до парковок и аэропортов, при условии оснащения этих мест соответствующими Bluetooth маяками.

Предлагаемый состав является универсальным и позволяет в перспективе использовать разрабатываемую систему с практически любым современным смартфоном под управлением операционной системы iOS, Android или Windows. Необходимым условием работы будет только наличие соответствующего ПМО в виде приложения для операционной системы мобильного устройства.

## **Система автоматического управления нормальной перегрузкой гипотетического самолёта**

Карева Е.В.

Научный руководитель – Березуев А.В.

МАИ, г. Москва

Применительно к самолету, управление может быть определено, как целесообразное воздействие, вносящее желаемое изменение в процесс полета самолета, основанное на использовании определенной информации (выбор управления, контроль над управлением, воздействие на процессы)-пилотирование.

Обеспечив возможность регулирования различных параметров движения самолета можно обеспечить и возможность выполнения широкого класса программ полета. Тем самым в конечном итоге обеспечивается сама возможность выполнения процесса управления.

При исследовании вопросов регулирования определенных параметров движения самолета приходится иметь дело со сложной динамической системой: самолет – САУ - летчик, качество процесса регулирования которой определяется характеристиками входящих в него звеньев и согласованностью этих характеристик. Поэтому совершенно естественно рассматривать изолированно характеристики этих звеньев, их зависимости от внешних условий, а затем соединить звенья в единую систему, обеспечивающую требуемые характеристики качества процесса регулирования.

Синтез алгоритмов функционирования системы автоматического управления самолетом (САУ) позволит непосредственно исключить летчика из контура управления. При этом за летчиком останутся функции оператора и контроля над работой САУ. Летчик по собственному желанию сможет изменять режим работы системы автоматического управления, регулируя заданные значения для стабилизации САУ и т.п.

В основу процесса синтеза структур автопилотов и расчета передаточных чисел законов управления САУ мною был положен метод логарифмических амплитудно-фазовых частотных характеристик (ЛАФЧХ)

Разработанная система "продольный канал САУ - самолет", может работать в двух режимах:

- стабилизация и управление нормальной перегрузки самолета;
- стабилизация барометрической высоты полета.

Что позволяет:

- в режиме управления нормальной перегрузкой самолета сигналу управления поступать с пульта управления летчиков
- в режиме стабилизации барометрической высоты управлению быть автоматическим. В качестве внутреннего контура должен использоваться контур стабилизации нормальной перегрузки.

Все современные САУ самолетами являются трехканальным (не считая канала управления тягой двигателя): канал руля высоты, канал элеронов и канал руля направления

Канал руля высоты используется для управления нормальной перегрузкой, углом тангажа и высотой полета

Один и тот же канал САУ, как правило, должен работать в нескольких режимах. Например, канал руля высоты работает в режиме ручного управления нормальной перегрузкой, автоматического управления нормальной перегрузкой и автоматического управления высотой полета.

## **Исследование методик выполнения неточных заходов на посадку на самолётах типа Boeing 737 NextGeneration**

Куц К.А.

Научный руководитель – Модестов С.Б.

СПбГУ ГА, г. Санкт-Петербург

Самолёты типа Boeing 737 NextGeneration сертифицированы для выполнения любых видов заходов на посадку вплоть до категории ICAOIIIb, однако далеко не все аэропорты мира оборудованы системой точного захода на посадку ILS (InstrumentLandingSystem), поэтому знание методик выполнения неточных заходов на посадку является для лётного состава крайне важным.

Неточный заход на посадку – заход на посадку по приборам с использованием бокового наведения, но без использования вертикального наведения на конечном этапе захода на посадку (FinalApproach). Высотным параметром минимума для неточного захода является минимальная высота снижения (MDA(H) – MinimumDescentAltitude (Height)). К средствам выполнения такого захода относятся такие традиционные средства навигации как LOC и аналоги, VOR, NDB, VORDME и другие. Классическим способом выполнения неточного

захода на посадку является способ «DiveandDrive» (ныряй до MDA(H) и лети прямо). Именно он на протяжении долгих лет использовался в качестве основного способа захода. Очевидно, что такой заход не безопасен, т. к. он препятствует достижению стабилизированного захода на посадку, а риск столкновения с земной поверхностью (CFIT – ControlledFlightIntoTerrain) значительно возрастает.

Для стабилизации самолёта при неточном заходе на посадку была разработана технология CDFA (ContinuousDescentFinalApproach) – технология непрерывного снижения на конечном этапе захода на посадку. На самолётах Boeing с 1982 года применяется технология Baro-VNAV, которая обеспечивает CDFA. Смысл Baro-VNAV заключается в вычислении потребной вертикальной скорости бортовым компьютером самолёта FMC (FlightManagementComputer) для постоянного угла снижения. Следует отметить, что для захода по CDFA высотным параметром минимума уже будет являться высота принятия решения (DA(H) – DecisionAltitude (Height)), т. к. обеспечивается так называемое «виртуальное» вертикальное наведение. Точка принятия решения при неточных заходах обозначается как VDP (VisualDescentPoint). Евроконтроль рекомендует выполнять все неточные заходы по технологии CDFA.

Boeing 737 NG в базовой комплектации оснащён оборудованием Baro-VNAV, GPS и IRS (инерциальная система навигации). По рекомендации Boeing автоматический неточный заход является предпочтительным.

Существует 2 основных способа выполнения неточного захода: в режиме VerticalSpeed (V/S) и в режиме VerticalNavigation (VNAV). Оба режима включаются на MCP (ModeControlPanel). Проведено исследование этих режимов на тренажёре для следующих заходов: ENMLLOCZRwy 25, EGCCVORDMERwly 05R, LEMGNDBRWy 31.

Перспективным способом выполнения неточного захода является использование на Boeing 737 NG технологии IAN (IntegratedApproachNavigation). Она создана для того, чтобы выполнение неточных заходов на посадку не отличалось от выполнения точных заходов на посадку (ILS, GLS). Перед входом в глиссаду экипаж на MCP включает режим APP (Approach) и автопилот перехватывает виртуальную глиссаду, заданную FMC, подобно перехвату глиссады ILS. Также как при заходе по ILS и GLS (GNSSLandingSystem) на ADI (AttitudeDirectionIndicator) отображаются индикатор глиссады и «планка». Все современные самолёты Boeing 737 NG комплектуются IAN.

В ходе исследовательской работы подтверждены основные положения нормативных документов Boeing 737 по части неточных заходов на посадку – FCTM (раздел ApproachandMissedApproach) и FCOM (раздел NormalProcedures).

## **Принцип работы высотомеров малых высот**

Мартемьянов В.К.

Научный руководитель – Идиатуллин З.Р.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Существует три основных метода анализа работы РЛС гомодинного типа: фазорные диаграммы, частотно-временные графики и анализ Фурье. При

анализе РЛС с ЧМ и небольшой девиацией частоты наиболее полезным является метод фазорных диаграмм. Для построения такой диаграммы вначале строится большой фазор, представляющий несущую частоту. Этот фазор принимается за опорный и считается стационарным. Более высокие частоты представляются фазорами, вращающимися против часовой стрелки, а более низкие - фазорами, вращающимися по часовой стрелке. Второй метод основан на построении диаграммы мгновенной частоты. На этой диаграмме в частотно-временной плоскости строятся кривые для каждого сигнала. Третий метод, математический метод анализа, применение которого обычно ограничивается системами, в которых закон модуляции представляет собой одну и сумму многих синусоид. Радиовысотомеры были первыми РЛС непрерывного излучения с ЧМ, нашедшими наиболее успешное применение. РВ малых высот с частотной модуляцией (РВ МВ с ЧМ) предназначены для определения истинной высоты полета ЛА в диапазонах от 0 до 1500 м в зависимости от типа РВ. Кроме того, они обеспечивают звуковую и световую сигнализацию заданных и «опасных» высот полета. Применяются как самостоятельно, так и в составе бортовых навигационных комплексов для решения навигационных задач. В основу работы РВ МВ с ЧМ положен принцип частотной радиолокации. В первых моделях высотометров применялась модуляция по треугольному закону, осуществляемая при помощи различных механических средств, например, движущихся, преимущественно неконтактных элементов в СВЧ резонаторе триодного генератора. Но при этом трудно было обеспечить воспроизводимость модуляции и механическую надежность. В высотометрах применяется широкополосная ЧМ с низкой модулирующей частотой. Сигнал разностной частоты, выделяемый гомодинным приемником, имеет широкий спектр, состоящий из большого числа близко расположенных спектральных линий. В общем случае разностная частота определяется методом ограничения сигнала и счета «нулей». Можно показать, что при достаточно общих условиях и сохранении постоянства полной девиации частоты и временного запаздывания сигнала число нулей в разностном сигнале не зависит от формы модулирующего сигнала. Обычно применяется модуляция по треугольному закону, так как она дает наиболее компактный и легко усиливаемый спектр и компенсацию доплеровского эффекта. При очень малых высотах проявляется постоянная ошибка, связанная с эффектом критической дальности. Другая трудность, связанная с применением высотометров этого типа - сдвиг показаний, обусловленный не постоянной ошибкой, а тем, что некоторые удаленные участки местности могут создавать на входе ограничителя более сильный сигнал, чем участки, находящиеся непосредственно под самолетом. Этот эффект нельзя компенсировать сужением ДН антенны, так как она должна быть достаточно широкой, чтобы обеспечивать работу при всех изменениях ориентации самолета. Особенно сильно этот эффект проявляется при отражениях от волнующейся водной поверхности. Водная поверхность непосредственно под самолетом может не давать больших отраженных сигналов, тогда как скаты волн, облучаемые под большим углом к вертикали, могут давать интенсивные отражения с более высокими разностными частотами. Одно из решений заключается в применении упрощенного устройства слежения по частоте, ограничивающего усиление на более высоких

частотах в соответствии с изменениями частоты сигнала, за которыми осуществляется слежение.

## **Отображение информации по сигналам системы раннего предупреждения столкновений с землей**

Меркулов Г.А.

Научный руководитель – Павлова Н.В.

МАИ, г. Москва

По статистике, наибольшее количество летных происшествий классифицируется как CFIT (controlledflightintoterrain – столкновение с поверхностью земли при управляемом полете), что связано с недостатком информации у летного экипажа, позволяющей своевременно определить опасность столкновения с землей. Данная проблема делает актуальной задачу разработки бортовых систем, позволяющих своевременно при любых погодных условиях определить уровень опасности, который представляет рельеф данной местности и предупредить летный экипаж при появлении опасной для ЛА зоны (и возможно, дать рекомендации по избежанию столкновения).

В настоящее время, такие системы активно разрабатываются как в России (СРППЗ – система раннего предупреждения приближения земли), так и за рубежом (EGPWS – enhancedgroundproximitywarningsystem) и их установка обязательна на все гражданские ЛА. Их использование предотвращает 97% потенциальных столкновений с землей.

Существование таких эффективных систем делает важным внедрение их изучения в образовательный процесс, как студентов авиационных специальностей (в особенности, студентов, изучающих бортовые системы ЛА), так и пилотов. В докладе предлагается программа, реализующая основной режим – функцию оценки местности в направлении полета (TLAA/TAWS/FLTA), в котором по текущему состоянию ЛА и цифровой карте местности, опасные для ЛА зоны выводятся графически и даются звуковые предупреждения. Интерфейс состоит из трех окон, отображаемых в трех режимах, и поля ввода данных. Основное окно приложения – окно системы в режиме TLAA (terrainlookaheadalerting), на котором отображаются степени опасности рассматриваемой области карты. Это окно достаточно приближено к реальному, использован стандарт отображения уровней опасностей фирмы ACSS. Второе окно предусмотрено для удобства ориентации неопытного пользователя, осваивающего работу с системой, и представляет собой отображение положения ЛА на физической карте. Третье окно предназначено для пользователя, изучающего работу системы, в нем наглядно представлены результаты работы алгоритмов определения сравниваемой высоты, а также формирования тревожных сигнализаций. В поле ввода данных обеспечен ввод начального состояния ЛА. Предусмотрено управление полетом в диалоговом режиме с помощью клавиатуры.

Приложение разработано в кросс-платформенной среде QtCreator 5.3.2 opensource (MSVC 2010, 32 bit). Системные требования: 625 МБ свободного пространства для установки, наличие DirectX 9 или DirectX 11, желательно наличие библиотек ICU, ANGLE, наличие компилятора MSVC или MinGW.

## **Система сетевого управления группой беспилотных летательных аппаратов**

Митрофанов С.Ю., Шатыло И.В.

Научный руководитель – Рыбников С.И.

МАИ, г. Москва

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БЛА) применяются в различных областях человеческой деятельности. Во многих случаях групповое применение БПЛА существенно повышает эффективность выполнения заданий. В авиации под групповым полетом подразумевается совместный полет двух или более ЛА в общем боевом порядке под управлением командира (ведущего). Задачи автоматического и (или) автоматизированного управления актуальны, при их решении выполняется совместное управление движением строя в целом, расположением каждого самолета в строю и его полетом.

Существует множество вариантов структур и алгоритмов управления положением ведомого БЛА относительно ведущего. Простейшим является управление ведомым по впередиидущему. При таком методе ошибки управления положением каждого впередиидущего объекта входят в ошибки управления каждого последующего, накапливаясь по длине строя.

Более точным является управление ведомым с виртуальным ведущим. Развитием этого подхода применительно к управлению движением группы является построение и применение управляющей нейрородобной сети, узлы которой служат виртуальными ведущими для объектов группы. Система, реализующая такое управление, иерархическая, она содержит подсистемы управления движением сети в целом, движением узлов относительно сетевой системы координат, наведения индивидуальных БЛА на соответствующие им узлы или стабилизации БЛА относительно траекторий, задаваемых движением узлов, а также системы стабилизации углового движения БЛА. При частичной реализации этого подхода виртуальный ведущий может быть организован как скорректированный комплекс фазовых координат материального ведущего или же как полностью расчетная движущаяся точка и связанная с ней система координат. В частности, в качестве виртуального ведущего для каждого БЛА может рассматриваться смещенный центр масс группы.

В системах траекторного управления БЛА самолетной схемы исполнительными подсистемами являются системы управления его короткопериодическим движением. Для управления продольным короткопериодическим движением БЛА рациональны системы двух основных видов: системы управления нормальной избыточной перегрузкой с астатическим автопилотом перегрузки и системы управления углом тангажа или наклона траектории со статическим автопилотом. Первый вариант применим, если требуется высокое быстродействие отработки заданного положения центра масс объекта, второй – при альтернативных требованиях. Во внутренних контурах систем управления боковым движением БЛА при необходимости обеспечить высокую курсовую маневренность БЛА и при допустимости дестабилизации крена с целью такого управления рациональны системы управления разворотом с креном. При недопустимости дестабилизации крена БЛА, например, при аэрофотосъемке местности камерой, жестко установленной

на БЛА, боковое управление рационально выполнять с использованием плоских разворотов, с применением системы управления боковыми перегрузками и курсом БЛА.

### **Обеспечение безопасности на автотранспорте при помощи беспроводной мобильной связи**

Михайлов А.С.

Научный руководитель – Казаков Г.Н.

МАИ, г. Москва

В докладе проанализировано применение технологии DSRC, а так же Мобильных БС в системе обеспечения безопасности дорожного движения.

Также, был выдвинут тезис, по которому технология DSRC может быть использована как мультимедийная беспроводная система связи. Применение данной технологии приведет к беспроводному, стабильному доступу в интернет на скоростях от 27 Мбит/с при движении автомобиля на скорости до 200 км/ч. Был использован сравнительный анализ и приведены плюсы и минусы каждой технологии.

В заключении, применение данных технологий приведет к значительному уменьшению числа ДТП, а так же позволит снизить загруженность дорог в час-пик в мегаполисах.

Литература.

Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов/4-е издание – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.

Учебное пособие для студентов радиотехнических специальностей вузов. Под общей редакцией А.П. Сиверса. С.М. Клич, А.С. Кривенко, Г.Н. Носикова, В.Н. Павлов, Б.В. Сарафов, А.П. Сиверс, М.: Изд-во «Советское радио», 1976  
Интернет сайт [systemsauto.ru](http://systemsauto.ru)

### **Гиросtabilизированный двухступенный одноосный колёсный модуль для измерения уклонов аэродромных покрытий**

Михеев В.В.

Научный руководитель – Черноморский А.И.

МАИ, г. Москва

В процессе эксплуатации аэродромов и вертодромов, а также при их строительстве и реконструкции, существует необходимость в измерении геометрических параметров покрытий взлётно-посадочных полос и рулѐжных дорожек, в частности их продольных и поперечных уклонов. При этом необходимая точность проводимых измерений составляет величину порядка десятка угловых минут.

Один из перспективных вариантов создания автономного измерителя продольных и поперечных уклонов – измеритель на основе двухступенного одноосного колёсного модуля (ОКМД), представляющего собой двухосный силовой гироскопический стабилизатор, расположенный на оси колёсной пары, с горизонтируемой платформой, обладающей верхней маятниковостью. Ось наружной рамы ОКМД совмещена с осью колёсной пары.

ОКМД обладает высокой манёвренностью, возможностью неограниченного изменения угловой ориентации в азимуте, включая разворот на месте, а также изменения угловой ориентации платформы ОКМД в широком угловом диапазоне относительно плоскости горизонта и эффективной её стабилизации относительно этой плоскости.

В работе предложена функциональная схема ОКМД. Её особенностями являются наличие двух силовых гироскопов для управления угловым положением платформы и расположение на платформе маховика для компенсации моментов сил инерции, порождаемых ускоренным движением ОКМД. В схеме ОКМД присутствуют также два балансирующих груза для компенсации постоянных возмущаемых моментов, действующих на платформу, и для разгрузки гироскопов. Угол наклона платформы измеряется с помощью датчиков горизонта.

Разработана математическая модель ОКМД как системы девяти тел, обладающей неголономными связями за счёт отсутствия проскальзывания колёс относительно поверхности аэродромного покрытия. Модель построена на основе уравнений Лагранжа с неопределёнными множителями. В полученной математической модели выделены уравнения углового движения платформы, составлены структурные схемы стабилизации платформы в плоскости горизонта, сформированы законы управления балансирующими грузами и определены параметры этих законов, определяющие высокое динамическое качество стабилизации платформы относительно плоскости горизонта вокруг как собственно вокруг оси платформы, так и вокруг оси рамы. Определена аналитическая зависимость между потребной скоростью вращения маховика и скоростью перемещения ОКМД, обеспечивающая инвариантность углового положения платформы относительно плоскости горизонта по отношению к силам инерции. Предложена структурная схема управления угловой скоростью вращения маховика и определены параметры закона управления этой угловой скоростью.

Таким образом, обоснована возможность использования ОКМД как носителя аппаратуры измерения уклонов аэродромных покрытий.

### **Решение задачи поиска оптимальных параметров регулятора в перспективных спускаемых аппаратах**

Мухутдинов Д.Ф., Волкова О.А.

Научный руководитель – Костюков В.М.

МАИ, г. Москва

Практическое применение спускаемых аппаратов в настоящее время растёт, и будет расти в будущем. Спускаемые аппараты уже сейчас используются в космической, ракетной и военной технике для: возвращения космонавтов на поверхность Земли, высокоточной доставки грузов в заданную область, доставки грузов на другие планеты, высокоточного возвращения ступеней ракет-носителей и в блоках аварийного спасения космонавтов.

Регулируемые твёрдотопливные двигательные установки так же находят широкое применение, как в космической, так и в ракетной технике. Они обладают рядом преимуществ, по отношению к жидкостным двигателям:



большой диапазон рабочих температур, простота сборки, высокие удельные и энергетические характеристики, высокая надёжность работы, большой срок хранения, низкая пожароопасность, низкая токсичность, безопасность работы с топливом.

Регулируемые ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ), как РДТТ нового поколения, сейчас применяют в посадочных установках, в ракетных блоках аварийного спасения, межконтинентальных баллистических ракетах и двигателях ступеней ракет-носителей.

При этом время работы регулируемых РДТТ составляет от несколько секунд до несколько сот секунд. Для обеспечения стабильности внутрикамерных процессов, стабильности выходных параметров двигательной установки и обеспечения требуемых точностных характеристик спускаемых аппаратов используется система стабилизации давления (ССД) в камере сгорания РДТТ.

В данной работе решается задача поиска оптимальных параметров алгоритма системы стабилизации давления в камере сгорания РДТТ. Работа включает в себя анализ конструктивной схемы спускаемого аппарата и РДТТ, построение нелинейной модели внутрикамерных процессов, анализ циклограммы функционирования, построение линеаризованной модели внутрикамерных процессов, исследование особенностей РДТТ как объекта управления, исследование и построение области устойчивости и подтверждение устойчивой работы ССД, поиск оптимальных параметров регулятора, подтверждение оптимальной и устойчивой работы ССД при реализации пространственного движения спускаемого аппарата.

Благодаря быстродействию и простоте устройства РДТТ являются наиболее подходящим средством для создания тяги при проведении таких вспомогательных операций, как посадка на участке приземления спускаемого аппарата и аварийное спасение космонавтов на начальном участке вывода космических кораблей на околоземные орбиты, разделение ступеней ракет-носителей, закрутка ракетных ступеней, создание начальных перегрузок для нормального запуска основных ЖРД в невесомости.

## **Оптимальная траектория полета воздушного судна при возникновении аварийной ситуации**

Назметдинов А.З.

Научный руководитель – Идиатуллоев З.Р.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Целью данной работы является представить методы и способы для определения траектории полета воздушного судна после возникновения аварийной или чрезвычайной ситуации на борту летательного аппарата. Предложенный метод позволяет также определять безопасную траекторию полета самолета, избегая посадки на опасные жилые зоны и территории (например, крупный населенный пункт), в случае возникновения чрезвычайной ситуации, при котором пилоты воздушного судна вынуждены отклониться от заданной траектории полета. Метод, используемый в данной работе, позволяет в упрощенном виде избежать вариации, возникающие при применении метода Ритца-Галеркина, которая позволяет приближенно решить краевые задачи для

определения оптимального пути полета. Выбор данного метода обусловлен тем, что он является относительно простым и на первом шаге оптимизации дает предварительное приближенное значение опасной пути полета. Самолет начинает полет по первоначально определенной траектории, форма которого будет изменяться в процессе оптимизации. Такой подход к решению задачи минимизирует время принятия решения пилота в экстремальной ситуации. Разработанный способ оптимизации траектории полета летательного аппарата может быть реализован в виде отдельной аппаратуры, которую устанавливают на борт самолета для повышения безопасности полетов самолетов Гражданской Авиации.

Задача данной работы состоит в определении параметров полета воздушного судна, выполняющего рейсы в аэропорты или на другие площадки для взлёта и посадки самолётов, предположив значения определенного функционала минимальными - в зависимости от рассматриваемого и анализируемого плана событий. Определенная таким образом проблема, представляет собой сложную задачу, и в общем случае она требует учета многих факторов. Значение одного из факторов, принятого в качестве критерия, зависит от целого ряда других факторов, таких как высота и скорость полета, диапазон рабочих оборотов двигателя (двигателей), времени полета и погодных условий. В процессе решения задачи воздушное судно рассматривается как материальная точка, следовательно пилотирование считается идеальным, то есть никаких отклонений от полетной программы нет. Таким образом, сумма всех моментов, действующих на воздушное судно в полете, становится равной нулю в каждом шаге проведения расчетов. Управление самолетом возможно осуществить двумя способами: воздействовать на штурвал управления или изменить тягу двигателей. Первый способ позволяет изменять углы тангажа, рыскания и крена. Второй способ заключается в изменении мощности двигателя; это позволяет выбрать требуемую тягу. Таким образом, оптимизация достигается путем определения такого принципа управления самолетом, при котором кривая движения его центра масс является предельной траекторией. Сформулированная таким образом проблема, представляет собой стандартную альтернативную задачу, а полученная кривая называется крайней или предельной траекторией.

В работе была использована упрощенная методика Ритца-Галеркина приближенного решения краевых задач для определения оптимальной траектории полета. Метод позволяет определить оптимальную траекторию полета воздушного судна при аварийной ситуации, удовлетворяя накладываемым на функцию граничным условиям и ограничениям. Упрощенный алгоритм оптимизации использует полиномы третьей степени для аппроксимации изменения выбранных параметров полета.

## **Способ траекторного оптимального управления полётом самолёта среднего класса в условиях сдвига ветра**

Петров В.А.

Научный руководитель – Лущик А.В.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Несмотря на развитие и широкое внедрение современных средств самолетовождения, оборудование самолетов и аэродромов специальными посадочными средствами для обеспечения регулярности и безопасности полетов, метеорологические условия по-прежнему остаются одной из основных причин большого числа летных происшествий. С целью повышения безопасности выполнения посадки самолетами военно-транспортной авиации среднего класса при воздействии сдвига ветра разработана автоматизированная система парирования сдвига ветра с текущей траекторной оптимизацией управления полетом самолета.

С целью обоснования исследований проведено моделирование движения самолета на посадке при воздействии сдвига ветра различной интенсивности и расположения относительно взлетно-посадочной полосы. Выявлены наиболее критические параметры ветрового поля.

Для решения научной проблемы обоснована структура автоматизированной системы парирования сдвига ветра. Разработан алгоритм оптимизации траекторного контура управления полетом самолета на основе решения сингулярно-вырожденных задач оптимального управления по неклассическим функционалам качества. Впервые получено численно-аналитическое решение задачи траекторной оптимизации с неклассическим функционалом взвешенной обобщенной работы.

Для получения значений управлений на исполнительном пилотажном уровне применяется метод обратных задач динамики, основанный на использовании собственных аэродинамических свойств летательного аппарата. Приводятся результаты численных исследований, показывающие работоспособность и высокую эффективность разработанного алгоритмического обеспечения.

Для поддержки принятия решения летчиком на способ преодоления зоны действия сдвига ветра предлагается алгоритм формирования опорных траекторий посадки на основе применения трехмерного индекса опасности F-фактора, который учитывает энергетическое влияние сдвига ветра на полет самолета.

Предложенная автоматизированная система парирования сдвига ветра позволяет повысить безопасность посадки самолетов среднего класса за счет уменьшения изменения основных пилотажных и траекторных параметров движения ЛА в сложных ветровых условиях и, тем самым, повысить эффективность боевого применения самолетов.

## Исследование и моделирование спутниковой системы позиционирования земснаряда

Пономарь Н.В.

Научный руководитель – Малафеев С.И.

ВлГУ, г. Владимир

Гидромеханизация широко используется при добыче минерального сырья, добыче озерных сапропелей, строительстве и углублении судоходных путей, укреплении берегов, в гидротехническом, транспортном, промышленном и гражданском строительстве, в мелиорации и водном хозяйстве, при обустройстве нефтяных и газовых месторождений и др. [1]. Основным средством гидромеханизации являются плавучие землесосные снаряды и стационарные грунтонасосные установки. Навигация и точное позиционирование земснаряда - неотъемлемая часть системы управления, как при выполнении рабочих операций, так и при его перемещении.

В настоящей работе рассмотрены результаты исследования и моделирования в графической среде имитационного моделирования Simulink системы динамического позиционирования земснаряда с использованием GPS. Система предназначена для определения положения, организации следования судна (земснаряда) по заданному курсу с высокой точностью и заданной скоростью, а также перемещения в заданное положение.

Определение показаний с GPS-приемника производится в градусах (минутах и секундах). Для правильной работы системы и удобства геодезические координаты преобразовываются в плоские прямоугольные координаты. Для этого используется ГОСТ 32453-2013, в котором приводятся формулы для перевода. В работе использована специальная программа перевода, написанная на языке программирования MATLAB.

Модель системы динамического позиционирования включает модель судна, двигателей, системы рулевого управления, регуляторов положения и скорости, подсистемы определения положения и курса. Внешние возмущения: течения и волны моделируются с помощью генераторов случайных сигналов.

На вход системы подаются координаты положения земснаряда, снятые с GPS-приемника и переведенные в плоские прямоугольные координаты, а также координаты желаемого положения земснаряда.

Аналитически получены и подтверждены моделированием настройки регуляторов положения и скорости. Рассмотрено влияние возмущений на работу системы. Произведена оценка точности позиционирования, которая составила  $2 \cdot 10^{-3}$  м.

В процессе моделирования исследованы изменение положения судна в прямоугольной системе координат, где начало координат - начальное положение земснаряда; перемещение по курсу и скорость земснаряда. Работа системы рассмотрено при разных курсовых углах, а также при различных возмущениях, в том числе, течениях, волнении и ветровых нагузках.

Разработанные алгоритмы и результаты моделирования предназначены для использования в составе систем управления для земснарядов, проектируемых Компанией «Объединенная Энергия» [2].

Литература.

Ялтанец И.М. Проектирование открытых гидромеханизированных и дражных разработок месторождений. – М., Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 758 с.

Малафеев С.И., Афанасьев П.М., Студеникин В.А. Автоматизированная система управления земснарядом / Автоматизация в промышленности. 2012, №8. – С. 57 – 59.

## **Математическая модель управляемой инерциальной навигационной системы**

Проценко А.А.

Научный руководитель – Слесаренок С.В.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

В настоящее время разработаны математические модели платформенных и бесплатформенных инерциальных систем. Отличительной особенностью управляемой навигационной инерциальной системы (УИНС) является программное пространственное вращение блока чувствительных элементов. Для разработки методов повышения точности навигационных комплексов на основе управляемой ИНС необходимо разработать математическую модель таких систем.

Основная задача, решаемая в процессе разработки математической модели функционирования ИНС, сводится к синтезу оператора функционирования т.е. замкнутой совокупности математических зависимостей, решение которых в БЦВМ позволяет определить как навигационные параметры, характеризующие движение ВС по траектории, так и параметры ориентации, характеризующие вращательное движение ВС относительно центра масс.

Для создания математической модели воспользуемся всеширотным алгоритмом определения местоположения летательного аппарата.

Одним из возможных путей определения ошибок ориентации является прямое варьирование кинематических уравнений движения координатных трехгранников. Решение уравнений ошибок позволяет предъявить требования к характеристикам элементов системы, если она должна обеспечить заданную точность, или рассчитать точность определения навигационных параметров, если характеристики элементов заданы. Изучение уравнений ошибок позволяет обоснованно провести выбор алгоритма работы инерциальной системы.

Полный алгоритм управляемой инерциальной навигационной системы (УИНС) состоит из двух частей: алгоритм определения навигационных параметров; алгоритм определения параметров ориентации.

При разработке математической модели всеширотной управляемой ИНС учитывались только линейные члены. Для оценки адекватности разработанной модели ошибок и исследования поведения управляемой ИНС в больших диапазонах ошибок и возмущений необходимо разработать нелинейную модель ошибок.

В данной работе представлена математическая модель управляемой инерциальной навигационной системы в автономном режиме работы, позволяющая уменьшить ошибки УИНС и, соответственно, ошибки определения координат местонахождения и скорости ВС.

## **Исследование путей повышения эффективности радиотехнического обеспечения полётов аэродрома Якутск**

Серенко А.В.

Научный руководитель – Рыжков Д.А.

Иркутский филиал МГТУ ГА, г. Иркутск

В настоящее время, в зависимости от географического положения и плотности воздушного движения в регионах строятся и функционируют аэропорты различного назначения. При этом, на севере страны существуют города и населенные пункты, сообщение с которыми возможно только воздушным транспортом. Одним из таких городов является столица республики Саха город Якутск.

Аэропорт "Якутск" является стратегически важным объектом в Республике. Имеет одну действующую взлётно-посадочную полосу. Заход на посадку осуществляется только с курсом  $233^{\circ}$ . Воздушное судно выполняет снижение над рекой, а с курсом  $53^{\circ}$  над городом, в связи с этим имеет более крутую глиссаду, чуть выше  $3^{\circ}$ . Кроме того, аэропорт имеет следующие недостатки:

- Аэродром расположен между берегом реки Лена и городским массивом, что высокой подготовки летного состава для захода на посадку, а также высокой точности оборудования и избыточности информации, получаемой экипажем
- Метеорологическая обстановка часто неблагоприятна для выполнения полетов. В зимнее время наличие плотного тумана большую часть суток вынуждает выполнять полеты только по приборам.
- В летнее время из-за частых пожаров плотного лесного массива, аэропорт закрыт или устанавливает очень низкий посадочный минимум.

Хотя аэродром укомплектован современными средствами радиотехнического обеспечения полетов (РТОП), однако из-за территориального расположения аэродрома работа оборудования не является достаточно эффективной. Экипаж, при подходе и заходе на посадку не может в полном объеме получить требуемую информацию о своем местоположении и высоте полета.

Результаты проведенных исследований показывают, что для повышения эффективности работы РТОП, а также решения проблем навигационного характера в состав средств РТОП на аэродроме "Якутск" требуется ввести элементы спутниковой системы навигации. Наиболее оптимальным вариантом является установка локальной контрольно-корректирующей станции ЛККС-А-2000. Это корректирующая станция очень хорошо себя зарекомендовала в других аэродромах России. Данное оборудование устанавливается как дополнительное, сложных монтажных работ не требует, регулярного обслуживания не требует, имеет достаточно низкую себестоимость, что в данное время не маловажно.

Таким образом, установка данного оборудования увеличит точность показания местоположения и высоты. При этом информация ЛККС-А-2000 позволяет обеспечить точный заход на посадку с любого направления посадки, а также маневрирование ВС в районе посадки по криволинейным траекториям в

соответствии с требованиями точной зональной навигации и навигацию мобильных наземных и надводных объектов в зоне действия станции.

Литература.

1. Лушников А. С. Наземные радиоэлектронные средства обеспечения полётов воздушных судов. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2001. – 46 с.

2. Федеральные авиационные правила «Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь в гражданской авиации», Приказ Министерства транспорта РФ от 20 октября 2014 г. № 297.

## **Оценка эффективности выполнения полётного задания современными ЛА**

Смеюха А.В.

Научный руководитель – Павлова Н.В.

МАИ, г. Москва

В настоящее время область задач, решаемых современными многофункциональными летательными аппаратами (ЛА) задач постоянно расширяется. Эти обстоятельства приводят к необходимости разработки новых бортовых алгоритмов, использующих, в частности, методы искусственного интеллекта. Внедрение современных и перспективных методов требует оценки их эффективности, что, в свою очередь, делает необходимыми использование новых способов в этом процессе.

Одним из важнейших этапов при разработке и внедрении новых бортовых алгоритмов одним из важнейших этапов является моделирование, в ходе него при сравнении различных алгоритмов и реализующих их программ и оценивается их эффективность, обычно эффективность выполнения полетного задания ЛА. На практике такая оценка проводится с использованием ограниченного статистического материала.

В представленной работе рассмотрена одна из актуальных задач при спасении людей: доставка беспилотных ЛА (БПЛА) в район поиска группы людей. Традиционно оценивается вероятность достижения успеха при обнаружении всех нуждающихся в помощи.

Для поставленной задачи моделирование полета ЛА и оценка вероятности обнаружения БПЛА объектов поиска проводилось с использованием среды Maple 18. Расчет оценки эффективности выполнения полетного задания маневренным ЛА проводилось с использованием пакета Mathcad 15.0. Моделирование проводилось для оценки спасения группы людей находящейся в предполагаемых  $m$  районах, с использованием ЛА, несущего на своем борту  $n$  БПЛА. Процесс моделирования начинался в момент подлета ЛА к предполагаемому местонахождению людей. Для сравнения эффективности работы бортовых алгоритмов в экспериментах полет к группе осуществлялся с различных направлений. В ходе оценки эффективности выполнения полетного задания ЛА в проведенных экспериментах было выявлено, что при учитываемых ограничениях на работу бортовой радиолокационной станции ЛА обнаружение максимального количества объектов поиска обеспечивалось при полете ЛА с боковых направлений к группе.

В докладе использован математический аппарат, базирующийся на понятии доверительного интервала. Результатами отдельных экспериментов считались полученные границы доверительного интервала.

Использованный в работе подход для оценки эффективности выполнения полетного задания современным ЛА при спасении группы людей позволяет более достоверно, чем при традиционном подходе оценить работу его бортовых алгоритмов при совершении ЛА маневра. Для исследования более широкого круга выполняемых ЛА задач целесообразно его встраивание в программно-алгоритмическое обеспечение соответствующего стенда полунатурного моделирования.

### **Сравнение различных способов синтеза регулятора в задаче управления движением самолёта**

Нгуен Тхань Шон, Фам Туан Ань

Научный руководитель – Рыбников С.И.

МАИ, г. Москва

При синтезе систем управления важно знать различие между методами синтеза. Этот вопрос рассматривается ниже на примере синтеза системы автоматического управления (САУ) курсом самолета при перекрестном управлении. Сравниваются две группы методов синтеза: линейно-квадратичное управление, оптимальное в смысле минимума интегрального квадратичного аддитивного критерия качества; классические методы параметрического синтеза (корневого годографа, частотный, стандартных коэффициентов).

В первом варианте синтеза параметры ЛК-регулятора (LQR) получены на основе математической модели самолета в виде уравнений в нормальной форме Коши, линеаризованных в окрестности рабочей точки, с решением матричных уравнений в виде матрицы коэффициентов обратных связей по всем координатам состояния объекта.

Во втором варианте синтез внутреннего контура управления углом крена самолета выполнен коэффициентным методом, внешнего контура управления углом рыскания - частотным методом. В результате получены варианты модели САУ, имеющие при одних и тех же задающих воздействиях переходные процессы по углам крена и рыскания с одинаковыми показателями качества.

Сравним методы по трудоёмкости их реализации. В первом варианте значительны вычисления, связанные с нахождением весовых коэффициентов матриц  $Q$  и  $R$ , которые определены через несколько шагов с помощью способа выбора Брайсона (Bryson's rule) при вариациях затраты энергии на управление и зависящего от них времени регулирования в системе. Во втором варианте синтеза на основе уравнений движения расширенного объекта управления определяются его передаточные функции, затем синтез осуществляется поэтапно по контурам управления, от внутренних к внешним, что оказывается простым и быстрым для системы сложной структуры.

Классические методы удобны в применении к типовым структурам систем, которые можно синтезировать готовыми стандартными подходами, и трудоемки при варьировании режимов полета. При их «пунктурном» применении удобно выбирать рациональные варианты технической реализации систем линейно-



квадратичный синтез более универсален, проще адаптирующийся к изменениям модели объекта управления. Кроме сложности определения коэффициентов матриц  $Q$  и  $R$ , его алгоритм на основе уравнения Риккати достаточно прост. Кроме того, от этого синтеза легко перейти к построению встроенного в систему фильтра Кальмана, который позволяет снизить воздействие шума. Совместное применение двух последних подходов позволяет построить ЛКГ-регулятор. К недостаткам этих подходов относится то, что в рассмотрение не принимается робастность системы. Поэтому ЛКГ-синтез проводится только для систем, имеющих надёжную и точную линейную динамическую модель. В нашем случае, линейность системы обеспечена путем линеаризации и принципом «замороженных коэффициентов». Кроме того, при ЛК-синтезе остаются открытыми вопросы технической реализации алгоритмов управления со связями по полному вектору фазовых координат объекта.

Сравнивая рассмотренные варианты синтеза САУ на стадии их предварительного проектирования, автор отдаёт предпочтение ЛК(и ЛКГ) – синтезу как более универсальному, удобному при проектировании систем сложной структуры.

### **Управление движением беспилотного летательного аппарата с учётом атмосферных возмущений**

Халина А.С.

Научный руководитель – Хрусталеv М.М.  
ИПУ РАН, МАИ, г. Москва

Рассматривается вопрос стабилизации беспилотного летательного аппарата (БПЛА) Aerosonde в вертикальной плоскости под действием атмосферных возмущений, таких как ветер. В случае БПЛА скорость ветра часто находится в диапазоне от 20 до 50% воздушной скорости самолета. Ветер оказывает на БПЛА значительно большее воздействие, чем на крупные традиционные летательные аппараты, воздушная скорость которых обычно намного больше, чем скорость ветра. Поскольку ветер оказывает важное влияние на динамику БПЛА, необходимо тщательно учитывать его влияние.

Для имитационных целей вектор скорости ветра выражается суммой постоянного ветра, который представляет собой ветер устойчивого направления, и стохастического процесса, который представляет собой воздушные порывы и другие атмосферные возмущения.

Результаты экспериментальных исследований указывают, что хорошая модель для неустановившейся, порывистой части ветра дается спектром турбулентности фон Кармана. Подходящее приближение модели фон Кармана дает передаточная функция Драйдена и соответствующий формирующий фильтр, который и был использован. Рассмотрен случай, когда сама модель фильтра содержит случайную неопределенность.

Ветер и атмосферные возмущения влияют на скорость воздушной массы и на угол атаки. Именно через эти параметры ветер и атмосферные возмущения входят в вычисления аэродинамических сил, тем самым оказывая влияние на движение самолета.

Система уравнений, характеризующая движение БПЛА, является стохастической динамической системой, описываемой стационарными дифференциальными уравнениями Ито. Рассматриваемая система не является симметрической.

Авторами получены условия не обязательно оптимальной стабилизации квазилинейной стохастической системы по заданному критерию, выражение для стабильного значения критерия и необходимые условия оптимальности линейного регулятора стохастической квазилинейной системы, функционирующей на неограниченном интервале времени.

С помощью этих необходимых условий и предложенного численного метода синтеза оптимальной системы получены оптимальные управления БПЛА с учетом ветровых воздействий. Для сравнения в соответствии с теорией АКОР А.М. Летова было найдено оптимальное управление детерминированной задачи (без учета ветрового воздействия). Произведено сравнение качества полученных управлений для рассмотренной стохастической системы уравнений, описывающей движение БПЛА.

### **Программно-алгоритмическое обеспечение для испытаний авиационных приборов на динамическом стенде**

Семенча М.В., Карагин Н.А., Шуваев И.Н.

Научный руководитель – Кошелев Б.В.

МАИ, г. Москва

В данной работе рассматривается создание программно-алгоритмического обеспечения для проведения тестирования авиационных приборов на поворотном стенде.

На сегодняшний день одной из задач предприятий авиационной, космической, автомобильной и других отраслей, занимающихся разработкой высокоточных датчиков и приборов, является не только проектирование, моделирование, сборка блоков и самих изделий, но и проверка их работоспособности путем проведения полунатурных и имитационных испытаний. Эти испытания необходимы для проверки выпускаемых изделий и элементов на соответствие техническим требованиям и техническому заданию (ТЗ).

Для проведения таких испытаний на авиационных приборостроительных предприятиях используются различные поворотные стенды, как правило импортного производства. Сегодня существует большое количество компаний, занимающихся изготовлением поворотных стендов. Среди них наиболее известны: Acutronic, Carco, AcuitasAg, ActidynSystemes, Zetatek.

Данная работа проводилась на предприятии АО «Аэронавигационный приборостроительный завод», где уже много лет ведутся разработки линейки резервных малогабаритных приборов для авиации. Одними из последних изделий в этой серии являются ППКР-СВС-АГ (прибор пилотажный комбинированный резервный, содержащий систему воздушных сигналов, с функцией авиагоризонта) и ПИП-ВС (прибор для индикации перегрузки на борту воздушного судна, имеющий в составе блок акселерометров). Проверочные испытания указанных приборов должны были проводиться согласно ТЗ по программе, не предусмотренной в фирменном

программно-алгоритмическом обеспечении (ПАО) одноосного поворотного стола АС1120S фирмы Acutronic, который предполагалось использовать для испытаний.

Руководством предприятия АО «Аэроприбор-Восход» была поставлена задача разработки собственного ПАО для тестирования приборов ППКР-СВС-АГ и ПИП-ВС на поворотном стенде в соответствии с ТЗ. Сами ТЗ на эти изделия основаны на требованиях единых норм летной годности гражданских транспортных самолетов (ЕНЛГ-С) и TechnicalStandartOrder (TSO C-4c).

В результате проведенной работы было написано ПАО, позволяющее проводить испытания приборов ППКР-СВС-АГ и ПИП-ВС на поворотном стенде по требованиям ТЗ. С помощью разработанного ПАО были проведены тестирования приборов, по итогам которых выполнен анализ полученных данных и проведена оценка погрешностей изделий с использованием среды Matlab.

По итогам работы подтверждено соответствие проверяемых изделий ППКР-СВС-АГ и ПИП-ВС требованиям ТЗ.

## **СЕКЦИЯ № 57. Системы электроснабжения и электромеханические преобразователи энергии**

Руководители секции: д.т.н., с.н.с Ковалёв К.Л.,  
д.т.н., с.н.с. Пенкин В.Т

---

### **Разработка макета ВТСП генератора для гибридной силовой установки летательного аппарата**

Кондрашов Д.А.

Научный руководитель – Иванов Н.С.

МАИ, г. Москва

Современная электроэнергетика аэрокосмического комплекса сталкивается с множеством проблем, основной из которых является увеличение удельной мощности электрических машин. Одними из инновационных разработок самолетостроения XXI века являются концепции полностью электрифицированного самолета и самолета с гибридной силовой установкой на борту. Система электроснабжения данных аппаратов также характеризуется высокими показателями удельной мощности, превышающими значение в 20 кВт/кг. Обзор литературы показал, что указанным требованиям наиболее полно отвечают электрические машины, выполненные с применением высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) материалов.

В данной работе рассматривается ВТСП генератор с дробным числом пазов на полюс и фазу меньше 1, в котором обмотка якоря выполнена из сверхпроводниковых лент. Для проведения работы был выбран реальный 4-х полюсный ротор с постоянными магнитами. Свойства постоянных магнитов были определены экспериментально, с применением лабораторного оборудования. В ходе поиска оптимальной конструкции статора проведено численное моделирование нескольких вариантов его исполнения: стального, комбинированного (ядро статора выполнено из ферромагнитного материала, а сердечники катушек обмотки якоря – из немагнитного) и безжелезного. В результате были получены значения основного магнитного потока, индуктивных сопротивлений, ЭДС холостого хода, а также распределения магнитной индукции в воздушном зазоре для каждой конструкции статора. Также были построены угловые характеристики машины в двигательном режиме. Установлено, что наибольшая удельная мощность соответствует конструкции без стального ферромагнитопровода. Кроме того, данной конструкции соответствует наибольшая перегрузочная способность.

В ходе работы также было выполнено моделирование полностью электрической машины с возбуждением от постоянных магнитов, статор которой аналогичен рассмотренной ранее безжелезной конструкции, а ротор не имеет стального сердечника. Численное моделирование распределения магнитных полей в активной зоне машины позволило выбрать наиболее рациональную геометрию постоянных магнитов с точки зрения максимальной удельной мощности машины.

## **ВТСП электродвигатель с высокой удельной мощностью для реализации концепции полностью электрического самолёта**

Габрелян А.С., Коренчук К.Ю., Никитин К.А.

Научный руководитель – Иванов Н.С.

МАИ, г. Москва

Создание полностью электрического самолёта требует разработки электрических двигателей и генераторов нового поколения. Дальнейшее совершенствование электромеханических преобразователей возможно путём использования сверхпроводниковых обмоток в статоре и роторе.

В данной работе представлены результаты проектирования полностью сверхпроводниковой электрической машины с кольцевой обмоткой якоря. Такая конструкция обеспечивает высокую технологичность машины и позволяет учитывать механические свойства высокотемпературной сверхпроводниковой (ВТСП) ленты, из которой выполнена обмотка возбуждения и якоря. На основе закона полного тока было получено аналитическое выражение для главного магнитного потока машины. В ходе работы была разработана программа, которая позволила выбрать наиболее рациональные геометрические размеры активной зоны машины и увеличить удельную мощность по сравнению с традиционными электрическими машинами. Также, моделирование магнитостатических процессов в программной среде AnsysMaxwell позволило определить наиболее рациональные размеры сверхпроводниковой катушки обмотки возбуждения с точки зрения собственного магнитного поля. Для апробации полученных результатов было выполнено численное моделирование распределения магнитных полей в активной зоне машины, показавшее справедливость предложенных подходов. На основе результатов расчёта и моделирования, по полученным геометрическим размерам, была разработана конструкция сверхпроводникового электродвигателя с кольцевой обмоткой якоря.

## **Преобразователь однофазного сетевого напряжения в трехфазное частотой 50...400 гц**

Миннебаев М.Р.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В данной статье разрабатывается статический преобразователь однофазного сетевого напряжения в трехфазное с переменной частотой 50...400 Гц для питания трехфазных двигателей, в нашем случае для питания трехфазного двигателя гироскопа. Данный прибор имеет широкую область применения не только в авиационной и космической промышленности, но и в быту, предприятиях другого профиля.

В настоящее время широко используется трехфазное напряжение (208 В/115 В 400 Гц, 36В±10% 400 Гц без нейтрали) на отечественных летательных аппаратах для питания гироскопов, приводов, двигателей и других потребителей первой категории.

Трехфазным напряжением питаются многие электроинструменты на предприятиях: пилорама, дрели, токарные станки, фрезерные станки,

специальный авиационный инструмент, наземное электроснабжение летательных аппаратов и многое другое, так как оно позволяет использовать более мощное оборудование, облегчается исполнительное устройство, экономичность проводки, так как ток распределяется равномерно по трем проводникам и в каждом проводе он меньше чем в проводах однофазной системы электропитания.

В связи с этим, эта система электроснабжения получила широкое распространение. Однако в виду того, что не везде предусмотрена такая система питания, а ее установка порой невозможна или затруднительна, был разработан данный статический преобразователь. Аналогом данного преобразователя является – электромашинный преобразователь, однако данный аппарат имеет ряд недостатков перед статическим: большие габариты и вес, низкие энергетические показатели, меньшая надежность (щеточно-коллекторные узлы и др.) и дорогое оборудование.

Разрабатываемый статический преобразователь имеет малые габариты(100\*120\*150 мм), высокую ремонтпригодность (все элементы отечественного производителя), несложную электрическую схему, легкую настройку, а также регулировку частоты 50...400 Гц.

Прибор будет представлять собой переносимую конструкцию, выполненную в виде автономного блока. Конструктивно устройство состоит из пяти основных частей: задающего генератора, трех одинаковых усилителей мощности сигнала и блока питания.

Задающий генератор. На логических элементах собран мультивибратор, частоту колебаний которого можно изменять переменным резистором в пределах 150... 1200 Гц.

Блок питания. Сетевой трансформаторный блок питания на несколько различных уровней напряжения для питания различных узлов статического преобразователя.

Задающий генератор является основным блоком преобразователя, он необходим: для задания рабочей частоты, подстройки.

Однако для некоторых видов двигателей необходим плавно меняющийся сигнал на входе, то есть синусоидальный сигнал, что является проблемой, так как существенно воздать такой сигнал в цифровой электронике

Существует возможность формирования синусоидального выходного сигнала с генератора частоты. Для создания синуса необходимы сложные ШИМ-модуляции на 8-ми разрядных (и более) микроконтроллерах (например марки STM32) и трансформаторе на тонком проводе. Программа на языке Assembler находится в разработке, и осуществляется настройка в оборудовании. На данный момент предельные мощности преобразователя 150 ватт, однако прототип можно усилить заменой на более мощные транзисторные каскады.

Литература.

1. В.Костицын журнал «Радио 2009 №10», «Преобразователь однофазного сетевого напряжения в трехфазное частотой 50...400 Гц», 35-37 стр.

# Применение аналитической математической модели электрического генератора возвратно-поступательного действия для расчёта ЭДС холостого хода

Чиркин В.Г.

Научный руководитель – Ширинский С.В.

МЭИ, г. Москва

Линейные электрические машины возвратно-поступательного движения находят разнообразное применение как в качестве двигателей, так и в качестве генераторов [1].

В данной работе представлена аналитическая модель линейного электрического генератора возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами на трансляторе, работающего на выпрямительную нагрузку. Модель позволяет анализировать работу генератора на холостом ходу, принимая во внимание заданные в техническом задании характеристики: номинальную мощность, максимальную линейную скорость транслятора (индуктора), массу транслятора и закон изменения линейной скорости во времени (линейное, синусоидальное или произвольно задаваемое приводным механизмом). Вместо максимальной скорости можно оперировать понятием величины хода индуктора, т.е. его максимального перемещения при возвратно-поступательном движении.

Исходными данными для модели являются основные размеры генератора: полюсное деление, ширина и глубина пазов статора, число пазов статора и схема статорной обмотки. Модель применима как для машин с плоским, так и с цилиндрическим индуктором. Кроме того, допустимо выбирать тип индуктора: способ намагничивания магнитов (аксиальное или радиальное намагничивание) и соотношение их размеров сна полюсном делении относительно размеров ферромагнитных элементов (концентраторов потока) в конструкции с аксиальным намагничиванием постоянных магнитов.

Определившись со схемой обмотки, параметрами и размерами машины, можно рассчитать ЭДС холостого хода генератора  $E_q$ . Принимая потокосцепление каждой зубцовой катушки обмотки косинусоидальным и просуммировав зубцовые ЭДС согласно схеме обмотки, рассчитывались временные зависимости фазных ЭДС при любом характере движения индуктора. При расчете действующего значения ЭДС  $E_q$  учитывается также, что в каждый момент времени поток магнитов индуктора сцеплен не со всеми катушками обмотки якоря, а также то, что в крайних положениях индуктора из-за низкой скорости его перемещения небольшие значения ЭДС не способны открыть ключи выпрямителя, работающего на сеть постоянного тока.

Представленная модель может быть использована как на стадии выбора основных размеров, так и на стадии оптимизации. Модель является приближенной, т.к. не учитывает влияния высших гармоник, краевых эффектов и насыщения магнитной цепи. Окончательную оценку выбранному варианту конструкции можно дать после проведения поверочного расчета по конечно-элементной модели, на которой воспроизводятся временные процессы в генераторе. Однако, учитывая, что линейные машины рассматриваемого типа имеют целый ряд особенностей, разработка конечно-элементной модели требует

составления специальной программы, и расчеты по ней могут занимать десятки минут (или даже несколько часов). Представленная аналитическая модель достаточно проста для проведения оптимизации конструктивных параметров.

Литература.

1. V.Y. Gecha, V.G. Chirkin, V.I. Goncharov, S.V. Shirinskii, and D.A. Petrichenko "Linear Alternator with Reciprocating Mover: Review of Designs and Machine Types," Biosciences Biotechnology Research Asia, Vol. 12 (Spl. Edn. 2), Sep. 2015, p. 409-418.

## **Унифицированные многофункциональные импульсные преобразователи для авиабортовой системы электроснабжения с масштабируемой архитектурой**

Лавринович А.В.

Научный руководитель – Резников С.Б.

МАИ, г. Москва

Рост мощностей электрических нагрузок на борту летательных аппаратов (ЛА) ставят новые задачи при проектировании и использовании бортовой системы электроснабжения. Выпрямительные, инверторные и конверторные преобразователи являются фундаментальными при синтезе большинства автономных и питаемых от магистральных сетей систем электроснабжения (СЭС). Однако к указанным преобразователям, устанавливаемым в авиации, предъявляется ряд специфических жестких требований. Требования заставляют не только улучшать количественные показатели эффективности преобразователей, но и обеспечивать специфические, качественно – новые свойства, такие как совмещение функций прямого и обратного преобразований (для снижения масс и габаритов), исключение энергоемких электролитических емкостных фильтров. Помимо указанных требований, крайне желательным для повышения технологичности изготовления, монтажа и обслуживания является унификация авиационно-бортовых многофункциональных преобразовательно-силовых модулей, пригодных для реализации модульно-масштабируемой архитектуры СЭС ЛА (с возможностью гибкого наращивания преобразуемой мощности). Модульно-масштабируемая архитектура является перспективной т.к. позволяет не только гибко наращивать преобразуемую мощность, но уменьшить время простоя в ремонте и обслуживании ЛА.

В данной работе предлагаются схемотехнические решения для реализации унифицированных силовых модулей многофункциональных импульсных преобразователей (МИП) способных обеспечить обратимое преобразование как постоянного, так и знакопеременного напряжения, и предназначенные для перспективных авиационно-бортовых СЭС, в том числе – для полностью электрифицированных самолетов (ПЭС), включая беспилотные (БПС). Используемая в качестве промежуточной (вторичной) подсистемы распределения комбинированной СЭС предложена, как наиболее перспективная, система повышенного постоянного напряжения с заземленным на корпус среднотенциальным выводом (ППН  $0\pm 135$  В или  $0\pm 270$  В, в зависимости от размеров и степени электрификации бортового оборудования), а в качестве первичной подсистемы рассматриваются наиболее надежные,



энергоэкономичные и удобные в эксплуатации три системы. Все три подсистемы генерируют переменное напряжение нестабильной (плавающей) частоты (в пределах: 360...800 Гц, согласно ГОСТ 2010 г. для СЭС самолетов и вертолетов). При этом выполняется обязательным условие - наличие общего заземления нейтрально-нулевого и среднепотенциального выводов.

Рассмотренные в работе варианты исполнения и функциональные особенности МИП, а также приведенные рациональные варианты каналов комбинированных АСЭС для самолетов нового поколения позволяют осуществить полный отказ от систем генерирования пневмо- и гидропривода постоянной частоты вращения (ППЧВ).

Окончательный выбор между предложенными вариантами СЭС требует многофакторного сравнительного анализа применительно к конкретному ЛА. При этом следует отметить общее достоинство предлагаемых систем, а именно – пригодность для гибкого наращивания мощностей каждого канала и его подсистем.

### **Линейный генератор с постоянными магнитами**

Орешкин Д.Н.

Научный руководитель – Ширинский С.В.

МЭИ, г. Москва

В последнее время выделилось несколько направлений применения линейных генераторов возвратно-поступательного движения. Среди них: преобразователь энергии морских волн, система активной подвески для демпфирования колебаний, а также линейные электрические машины, встраиваемые в конструкцию двигателей внешнего сгорания (двигатель Стирлинга) и двигателей внутреннего сгорания со свободным поршнем.

Повышенный интерес к линейным генераторам возвратно-поступательного действия связан с актуальной сейчас темой гибридации транспортных средств, а также с созданием автономных систем энергоснабжения потребителей малой мощности, таких как мобильные телефоны, посредством преобразования механической энергии движения человека в электроэнергию.

На кафедре электромеханики МЭИ создана аналитическая модель линейного генератора с постоянными магнитами, а так же ведется изготовление экспериментального образца генератора для проведения испытаний и получения опытных данных. Проектируемый генератор может быть использован совместно с двигателем внутреннего сгорания со свободным поршнем, а также в системе активной подвески. Данный генератор имеет плоскую двустороннюю конструкцию, что позволяет получить большую мощность при той же величине хода поршня, чем при использовании цилиндрической или односторонней конструкции. Другим преимуществом данной конструкции является сравнительная простота изготовления, что делает генератор значительно дешевле цилиндрического аналога.

Проектируемый генератор имеет следующую конструкцию. На подвижном элементе (трансляторе) с двух сторон расположены постоянные магниты из неодим-железо-бора (NdFeB 40). Длина транслятора составляет 156 мм. Подвижный элемент соединен с поршнем, средняя скорость которого составляет

8 м/с. На статоре располагается трёхфазная обмотка с числом пазов на полюс и фазу  $q = 2/5$ , числом полюсов  $2p = 20$  и числом зубцов  $N_z = 24$ . Его длина – 240 мм. Проектируемый генератор имеет возвратно-поступательный характер движения, частота колебаний поршня – 50 Гц. Величина хода транслятора составляет 80 мм, обеспечивая выходную мощность модуля на уровне 15 кВт. Расчетный КПД составляет 0,9.

В настоящее время ведется создание модели генератора в программной среде ANSYS Maxwell на основе имеющейся математической модели, с целью более точного определения характеристик генератора. Найдены величины трехфазных ЭДС, при различных законах движения транслятора – линейном и синусоидальном. Создание экспериментального образца позволит проводить испытания для детального исследования динамических характеристик генератора.

### **Электропривод подводного механизированного оборудования**

Слободчиков Н.А.

Научный руководитель – Куликов Н.И.

МАИ, г. Москва

Мировой океан, равно как и космическое пространство освоены человечеством крайне мало. Вместе с тем уже давно не вызывает сомнений перспективность их освоения в целях пополнения запасов природных ресурсов, в значительной мере израсходованных человеком в сравнительно легко доступных местах на Земле.

Пространство, занятое мировым океаном, составляет более 70% поверхности планеты и содержит огромные запасы полезных ископаемых. Однако даже на прибрежных шельфах, глубина бровки которого находится на уровне 100-200 м от поверхности воды, разведка залежей полезных ископаемых и тем более их добыча связаны со значительными трудностями. Достаточно хорошо освоены лишь глубины в 20-30 м, а безопасное погружение водолаза обеспечено лишь на глубину до 100 м.

Очевидно, что расширение возможностей освоения мирового океана связано с созданием механизированного оборудования и робототехнических систем. Однако даже доставка энергии к такому оборудованию не является простой задачей.

Так, например, достаточно широко применяемое в настоящее время гидравлическое и кавитационное оборудование, предназначенное для выполнения механических работ под водой, используется лишь при погружении на глубину 10-15 м.

Более глубокое погружение обеспечивается инструментами, использующими методы механической обработки с помощью электрической дуги. Однако необходимость подачи кислорода к месту сварки и повышенная опасность поражения электрическим током из-за необходимости передачи электроэнергии достаточно большой мощности (ток до 300 А, напряжение около 100 В) ограничивает возможность использования этого метода.

Существенного снижения потребляемой мощности и повышения электробезопасности можно добиться при использовании электромеханического

инструмента. При этом рабочий инструмент будет универсальным т.к. достаточно просто осуществить реализацию режимов резания, сверления, долбления, шлифования.

Реализацию погружного электродвигателя наиболее просто осуществить на базе вентильного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов. Двигатель может быть открыто-погружным, когда изолирование электрических токоподводов осуществляется только по цепи неподвижного якоря. При этом сам якорь следует изолировать с таким расчетом, чтобы пакет якоря выдерживал механические нагрузки, возникающие при погружении из-за перепада давления на внутренней изолирующей оболочке. Подключение обмотки якоря следует осуществлять с помощью серийно выпускаемых герморазъемов, опоры вращения реализовывать на подшипниках скольжения, а токоподводы снабжать быстродействующими электронными системами защиты, контролирующими возникновение токов утечки.

## **Криогенные электрические машины для полностью электрического самолёта**

Дубенский А.А.

Научный руководитель – Пенкин В.Т.

МАИ, г. Москва

Сверхпроводниковые электрические машины уже находят применение в промышленно развитых странах (США, ФРГ, Япония, Франция, Китай и др.). Известны разработки сверхпроводниковых электродвигателей для электромобилей, для привода гребных винтов в системах судового электродвижения, ветро- и гидрогенераторов, устройств для перемешивания жидкого металла, экструдеров для протяжки металлических труб [1, 2] и т.д. По сравнению с машинами традиционного исполнения они обладают улучшенными массоэнергетическими параметрами, лучшей стабильностью при работе в электросетях и более высоким КПД.

Использование сверхпроводящих материалов снижает материалоемкость изделий, повышает коммерческую нагрузку транспортных средств.

Развитие аэрокосмической техники требует создания принципиально нового электроэнергетического оборудования с улучшенными массогабаритными и энергетическими показателями с учетом возрастающих требований к энергосбережению, экологии и экономии материальных затрат, что может быть реализовано лишь с применением новых материалов, технологий и интенсивных систем охлаждения, в частности, криогенных технологий на борту атмосферных и космических летательных аппаратов (ЛА).

В этой связи перспективной является технология турбоэлектрического аэродвижения с применением сверхпроводникового генератора как источника питания сверхпроводникового двигателя для привода малошумящих тяговых винтов, выдвинутая в МАИ [3, 4] в 1993 г. и интенсивно разрабатываемая в США в настоящее время [5].

В МАИ авторами разработана конструктивная схема сверхпроводниковой синхронной машины с когтеобразными полюсами и постоянными магнитами,

сочетающая преимущества генератора с когтеобразным ротором и магнитоэлектрического генератора [6].

Литература.

Сверхпроводники для электроэнергетики // Информационный бюллетень. – <http://perst.issph.kiae.ru/supercond>

Prusseit W. Supraleiterindustrie in Deutschland - status und perspektiven // Seminar "Zukunft und Innovation in der Energietechnik mit Hochtemperatur-Supraleitern". – 20 – 21 Februar. 2008. Wasserwerk, Bonn, Deutschland.

Пенкин В.Т. Разработка синхронных электрических машин с композитными и объемными сверхпроводниками в роторе. Докторская диссертация. М.: МАИ, 2012. – 310с.

Л.К. Ковалев, А.Е. Ларионов, К.А. Модестов, В.Т. Пенкин, В.Н. Полтавец. Перспективы применения криогенных электрических машин в авиации. Электричество. 2015. – №1. – с. 4 – 12

Luongo C.A., Masson P.J., Nam T., Mavris D., Kim H.D., Brown G.V., Waters M., Hall D. Next Generation More-Electric Aircraft: A Potential Application for HTS Superconductors // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. –2009. –Vol.19. –No.3–Part 2. –P.1055–1068

6. Дубенский А.А., Ковалев Л.К., Модестов К.А. Методика расчета магнитной цепи сверхпроводниковых синхронных электрических машин для перспективных летательных аппаратов // Вестник МАИ. 2013. Т. 20. № 4. С. 146 – 158.

## **Исследование низкоскоростного синхронного двигателя с гармоническим зазором**

Мазуров П.Е.

Научный руководитель – Беспалов В.Я.

МЭИ, г. Москва

Во многих сферах, к том числе в космической, традиционные способы получения низких скоростей электропривода, в частности, применение механического редуктора, не могут быть применены из-за ряда недостатков: относительно малая надежность, большие габариты и вес, использование масла. Одной из альтернатив является применение двигателей, использующих принцип магнитной редукции.

В работе исследуется новая конструкция магнитного редуктора – низкоскоростной синхронный двигатель с гармоническим зазором. Доклад основан на результатах бакалаврской и магистерских выпускных работ. Машина содержит внешний и внутренний статоры, между которыми вращается ротор, собранный из пластин постоянных магнитов (материал - NdFeB). Особенность конструкции состоит в том, что воздушный зазор двигателя между статорами имеет кроме постоянной составляющей переменную (синусоидальную) составляющую, что обуславливает наличие многополюсной переменной составляющей в распределении удельной проводимости зазора. Расчетная модель имела следующие параметры: число полюсов обмотки внутреннего статора – 6, число пар полюсов ротора – 22, толщина пластин – 2 мм, число периодов синусоиды гармонического зазора – 25.

Аналитический расчет магнитного поля, а также численный эксперимент на конечно-элементной модели двигателя в программе FEMM показали, что магнитное поле в зазоре имеет кроме основной ярко выраженную 22-ю гармонику, взаимодействие которой с полем ротора позволяет получить низкую скорость вращения вала двигателя. Гармонический анализ магнитного поля произведен с помощью встроенной функции MathCad'a fft.

Выполнен сравнительный анализ различных исполнений ротора рассматриваемого двигателя: с радиальным намагничиванием пластин постоянных магнитов, с тангенциальным намагничиванием, с пластинами-вставками из магнитомягкого материала различной толщины, с исполнением в виде магнитной сборки Халбаха. Расчет показал, что наибольшую мощность имеет модель, использующая в конструкции ротора магнитную сборку Халбаха. Такая конструкция позволяет получить высокую удельную объемную плотность момента машины.

Исследована возможность получения ещё меньшей скорости двигателя с помощью увеличения числа полюсов ротора с 22 до 44. При этом вращающий момент создается в основном благодаря взаимодействию магнитного поля статора и 44-й гармоники поля ротора. Однако плотность момента и энергетические показатели такой машины снижаются.

Полученные результаты свидетельствуют о работоспособности низкоскоростного двигателя с гармоническим зазором. Преимуществами рассматриваемой машины по сравнению с другими низкоскоростными двигателями являются малоинерционность ротора и отсутствие дополнительного узла – модулятора поля, роль которого выполняет внешний статор специальной конструкции. Двигатель может иметь перспективы применения в маломощных электроприводах, к которым предъявляются повышенные требования по динамике и высокой плотности момента при низких скоростях.

## **Определение расчётных показателей безотказности привода системы ИС-ВК**

Семенов Д.С.

Научный руководитель – Куликов Н.И.

МАИ, г. Москва

Система ИС-ВК представляет собой имплантируемую систему вспомогательного кровообращения с пульсирующим кровотоком, синхронизированным с работой естественного сердца. Имплантируемые системы с пульсирующим кровотоком традиционно содержат имплантируемую часть и элементы, располагаемые на поясе. Имплантируемая часть системы представляет собой искусственный желудочек сердца (ИЖС), располагаемый в брюшной полости. При этом, ИЖС соединяется с верхушкой желудочка и аортой с помощью магистралей крови.

Одним из важнейших показателей, характеризующих систему ИС-ВК, является безотказность. Численный показатель безотказности - вероятность безотказной работы, то есть вероятность того, что за время работы системы не

произойдет отказа. Она зависит от безотказности каждого элемента системы, конструкции, режимов и условий работы.

В работе рассматривается привод системы ИС-ВК, разработанный на кафедре 310 МАИ.

Расчет показателей безотказности привода производился на основе отраслевого стандарта. Данные, необходимые для расчета получены в результате анализа конструкторской документации. В частности, из чертежей были определены параметры, влияющие на безотказность привода, а из условий работы (с учетом конструкции) рассчитана максимальная частота вращения двигателя. Необходимые для расчета параметры подшипников взяты из каталога производителя. Для расчета вероятности безотказной работы привода системы ИС-ВК была создана программа, позволяющая, при необходимости, определить пути модернизации для обеспечения необходимого уровня безотказности. В первую очередь, на безотказность привода влияют безотказность шарикоподшипникового узла и безотказность обмотки. Безотказность подшипника зависит от: долговечности, усталостного напряжения, обеспечения внутреннего зазора, смазочных свойств смазки.

В результате расчета безотказность работы подшипниковых узлов оказалась равной 0.996.

Безотказность обмотки статора, определяемая интенсивностью возникновения коротких замыканий, обрыва обмотки и обрыва паяных контактов оказалась равной 0.999.

Безотказность всей системы ИС-ВК определяется как произведение безотказности искусственного желудочка сердца, привода, системы управления и источника тока и, по результатам работы, равна 0.982. В соответствии с техническим заданием на разработку системы, ее безотказность должна быть не менее 0.95, следовательно, разработанная система удовлетворяет этому требованию.

## **Исследование и моделирование гибридной мехатронной системы**

Гусаков М.О.

Научный руководитель – Малафеев С.И.

ВлГУ, г. Владимир

Повышение эффективности использования электрической энергии в мехатронных системах различных типов представляет собой важную научно-техническую проблему, имеющую большое практическое значение. Необходимость обеспечения рациональных энергетических режимов и снижение потерь электроэнергии определяют актуальность исследований новых подходов к организации мехатронных систем промышленных машин.

В настоящей работе исследуется проектируемая гибридная мехатронная система карьерного экскаватора. Основными компонентами системы являются двигатель внутреннего сгорания, синхронный генератор, понижающий трансформатор, выпрямитель, накопитель энергии - суперконденсатор, локальная сеть постоянного тока, группа инверторов и асинхронных двигателей приводов главного движения. При работе карьерного экскаватора в цикле длительностью 30 с происходят, как потребление, так и рекуперации энергии –

при опускании ковша, торможении поворотной платформы, действии горной массы на ковш. Рекуперлируемая энергия составляет 20...25% от потребленной энергии за цикл. В настоящее время эта энергия либо рассеивается на резисторах, либо, в случае электрических экскаваторов, возвращается в питающую сеть [1]. Применение емкостных накопителей энергии на основе суперконденсаторов позволит использовать рекуперлируемую энергию непосредственно на экскаваторе и, таким образом, снизить общее электропотребление. При этом снижаются максимальные нагрузки источника питания, что особенно важно при использовании дизельного генератора.

Simulink-модель мехатронной системы содержит модели дизельного двигателя, синхронного генератора, выпрямителя, звена постоянного тока, приводов переменного тока с векторным управлением, механических передач и модели механических нагрузок. В модели используются специальные виртуальные измерительные приборы, осуществляющие расчет действующих значений токов и напряжений, полной, активной и эквивалентной реактивной мощностей, потребляемых от источника, механической мощности, а также других энергетических характеристик системы: коэффициентов мощности и искажений, КПД и т.д. [2].

При моделировании рассматривался типовой рабочий цикл карьерного экскаватора длительностью 30 с. В результате моделирования системы приводов получено 21% рекуперированной энергии за цикл. Благодаря такому результату в реальной системе удастся сэкономить 20-30% топлива, потребляемого дизельным двигателем. Такая экономия поможет уменьшить вредные выбросы в атмосферу и уменьшить материальные затраты.

Разработанная модель преобразователя позволяет исследовать энергетические характеристики мехатронных систем с автономными источниками энергии и проводить сравнительный анализ различных технических решений.

Литература.

Малафеев С.И., Новгородов А.А., Серебrenников Н.А. Экскаватор ЭКГ-18Р: Новая система приводов с широтно-импульсной модуляцией / Горное оборудование и электромеханика. 2012, № 6, С. 21 – 25.

Малафеев С.И., Малафеев С.С., Серебrenников Н.А. Компьютерное моделирование мехатронных систем одноковшовых экскаваторов Горное оборудование и электромеханика. 2011, № 5. – С. 24 – 29.

## **Применение АЦП с ФАПЧ в системах управления и сбора данных летательных аппаратов**

Григоренко Н.С.

Научный руководитель – Сизов М.В.

«Концерн КЭМЗ», г. Кизляр; МАИ, г. Москва

Разработка новых самолётов, космических аппаратов и ракет предъявляет повышенные требования к аппаратуре, которая должна устанавливаться на этих изделиях. Без микроконтроллеров (МК) и аналого-цифровых преобразователей (АЦП) невозможно достигнуть высокой точности и надёжности. Отечественные АЦП, входящие в МК, иногда не удовлетворяют требования по точности и шумам. В докладе предлагается новый тип АЦП (АЦП с ФАПЧ), которого нет в

принятой классификации АЦП в учебниках. В Интернете легко найти описание этого устройства «АЦП с ФАПЧ» (<http://www.chipenabl.ru/>, <http://www.soel.ru/> «СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА» №6 2012). Возможности АЦП с ФАПЧ проверены и представлены в Таблице.

Полоса пропус. Гц	Число разрядов	Частота преобр. Гц	Макс. Знач. кода
2	24	10	14 000 000
10	22	50	2 800 000
20	21	100	1 400 000
80	19	400	350 000
200	18	1 000	140 000
800	16	4 000	35 000

Результаты испытаний, опубликованные в 2012 году, получены на макете АЦП с ФАПЧ, в котором использовались стандартные логические микросхемы, операционный усилитель (ОУ) и 8-ми разрядный микропроцессор «АТmega 16». В 2015 году была изготовлена и испытана, микросхема 2-канального ФАПЧ (БМК) серии 5503, изготовитель НПК «Технологический центр» г. Зеленоград. На рисунке показан корпус микросхемы. Задание, в виде принципиальной электрической схемы ФАПЧ, было выдано Научно-Производственным подразделением «ДОЗОР».

Один такой корпус заменяет более 30 корпусов стандартных логических элементов, которые входят в состав ФАПЧ (фазовый детектор – ФД, генератор, управляемый напряжением – ГУН и 4-х разрядных счётчика-делитель, который включается между выходом ГУН и входом ФД). Счётчик делит выходную частоту ГУН в 16 раз, тем самым усредняет шумы ГУНа, соответственно уменьшаются шумы АЦП. В новой версии БМК 5503ХМ1У-6хх операционные усилители будут входить в состав ФАПЧ, такая микросхема (в том же корпусе) должна появиться в этом году. В настоящее время на предприятии изготавливают, для летающей лаборатории, 15-ти канальную Систему сбора информации на базе 32-разрядного микроконтроллера 1986ВЕ1Т и АЦП с ФАПЧ. Параметры канала АЦП. Входной сигнал 0,5 ...4,5 В; погрешность менее 0,1% в диапазоне от -60...125 гр.С; разрядов 18; число отсчётов 200 000; вес е.м.р.=25 мкВ; уровень "шума" 125 мкВ (в размахе); полоса пропускания 80 Гц; частота ФАПЧ 400 Гц.

### **Тепловые потери в обоямах роторов генераторов с постоянными магнитами**

Мисютин Р.Ю.

Научный руководитель – Зечихин Б.С.

АО «Технодинамика», г. Москва

Одним из наиболее эффективных способов крепления постоянных магнитов роторов генераторов является использование магнитных и немагнитных обоем.



Применяются биметаллические, слоистые магнитно-немагнитные, немагнитные и другие виды обойм.

Свойства редкоземельных постоянных магнитов существенно зависят от температуры. Область их работоспособности ограничена несколькими сотнями градусов. Для надежной работы электрической машины необходимо обеспечить работу магнитов в допустимых температурных режимах. В докладе представлены результаты исследования нагрева постоянных магнитов, обусловленного потерями энергии в обоймах. Эти потери вместе с потерями трения на поверхности ротора определяют температуру магнитов.

Тепловой расчет ротора генератора с постоянными магнитами представляет собой связанную электромагнитную и тепловую задачу. Одним из основных источников тепловыделения в роторе с постоянными магнитами являются потери в силовой обойме. Данные потери вызваны пульсациями магнитного поля, которые обусловлены зубчатым строением статора и зависят от структуры и проницаемости материала обоймы, его удельного сопротивления.

Для определения потерь от вихревых токов в обойме и постоянных магнитах использовался программный продукт AnsoftMaxwell. Потери от вихревых токов были исследованы в биметаллической, слоистой магнитно-немагнитной и немагнитной обоймах.

Биметаллическая обойма представляет собой равнопрочный сплав двух металлов: магнитомягкой стали (30ХГСА) и медно-никелевого сплава (МНМц), которые чередуются между собой в тангенциальном направлении. Стальные участки обоймы образуют магнитные зоны и выполняют функцию полюсных наконечников. Немагнитные зоны между полюсными наконечниками образованы сплавом МНМц.

Слоистая магнитно-немагнитная обойма представляет собой чередование в осевом направлении магнитных и немагнитных кольцевых пластин. Немагнитные пластины являются силовым удерживающим элементом и выполняются, как правило, из титана, полюсными наконечниками являются магнитные пластины, выполненные из магнитомягкой стали.

Немагнитная шихтованная обойма представляет собой набор кольцевых пластин из немагнитного материала (титан), стянутых между собой в осевом направлении.

Для теплового расчета использовалось приложение ThermalAnalysis программного продукта COSMOSWorks. В результате проведенного исследования установлено, что постоянные магниты имеют наибольшую температуру нагрева в биметаллической обойме. Это вызвано значительной величиной возникающих в ней потерь, что обусловлено большой электрической проводимостью материала ее стальных участков. Меньше нагреваются магниты в слоистой магнитно-немагнитной обойме. В немагнитной шихтованной обойме магниты имеют наименьшую температуру нагрева. Использование роторов с биметаллической обоймой требует организации эффективной системы охлаждения электрической машины.

В докладе приведены результаты теплового расчета основных конструктивных схем роторов с постоянными магнитами.

## **Установка на основе магнитных маятников для исследования свойств полностью сверхпроводниковых систем преобразования и передачи электроэнергии**

Соловьёв А.В.

Научный руководитель – Ильясов Р.И.

МАИ, г. Москва

Общеизвестно, что всякое традиционное электромеханическое или электромагнитное преобразование и передача электроэнергии сопровождается потерями на каждом этапе, значительно снижающими общий КПД всей системы в целом. Помимо прямых экономических убытков и увеличенному потреблению ископаемых видов топлива, это приносит вклад в глобальное потепление.

В последнее время, в связи с коммерческой доступностью высокотемпературных сверхпроводников второго рода (ВТСП-2G) в виде лент, получают распространение различные отдельные устройства высокоэффективного преобразования и передачи электроэнергии. Например, полностью сверхпроводниковые синхронные генераторы (со сверхпроводниковыми обмотками и на роторе и на статоре), кабельные линии электропередачи трёхфазного переменного тока промышленной частоты, полностью сверхпроводниковые электродвигатели.

Особо перспективно применение полностью сверхпроводниковых систем при использовании возобновляемых источников энергии: ветро- и гидроэлектростанций (в т.ч. приливных и волновых).

Однако вопросы совместной эксплуатации отдельных сверхпроводниковых устройств в рамках единой, полностью сверхпроводниковой, системы, в частности электрического самолёта, в литературе рассмотрены недостаточно полно. Поэтому, в настоящее время, наблюдаются лишь единичные пробные замены отдельных традиционных элементов электроэнергетических систем их сверхпроводниковыми аналогами, что существенно тормозит развитие сверхпроводниковой индустрии как в России, так и во всём мире.

Для успешного качественного перехода от традиционных энергосистем к высокоэффективным системам, полностью состоящим из сверхпроводниковых устройств, необходимо решить комплекс задач по углублённому исследованию особенностей взаимодействия сверхпроводниковых элементов, объединённых в единую автономную (в перспективе на её основе и в глобальную) энергосистему.

В данной работе рассматривается экспериментальная установка, демонстрирующая обратимое преобразование кинетической энергии движения одного магнитного маятника (выступающего в качестве генератора электроэнергии) в кинетическую энергию другого магнитного маятника (выступающего в качестве электродвигателя) через общий сверхпроводниковый контур (выполняющий функцию кабеля), который находится в открытом криостате, залитым жидким азотом. Маятники представляют собою квадратные постоянные магниты из Nd-Fe-B, сверхпроводниковый контур выполнен из метровой ВТСП-2G ленты отечественного производителя SuperOx, шириной 4 мм, с концами спаянными с перехлёстом в 10 см (сверхпроводниковыми слоями друг к другу).

Скорости движения маятников и углы их отклонения вычисляются в реальном времени по показаниям оптронных датчиков, сигналы которых, через АЦП устройство, заводятся в промышленный компьютер. Величины наведённых в измерительных катушках маятниками ЭДС и противо- ЭДС так же заводятся через АЦП в компьютер. Величина и скорость изменения протекающего в замкнутом сверхпроводнике индуцированного тока, измеряется посредством датчика Холла и пояса Роговского. Несущие конструкции установки выполнены из листов оргстекла и акрилового пластика, криостат – из пенополистирола. Программа в реальном времени вычисляет параметры величин ЭДС, тока, активного и индуктивного сопротивлений, КПД,  $\cos \varphi$ , и позволяет наблюдать изменения параметров системы в процессе преобразования энергии, в зависимости от начальной скорости маятника и величины магнитного зазора.

### **Сверхпроводниковая электрическая машина с внешним экраном**

Кобзева И.Н., Иванов Н.С., Семенихин В.С., Тулинова Е.Е.

Научный руководитель – Ковалев К.Л.

МАИ, г. Москва

В отечественных и зарубежных исследованиях показано, что поскольку сверхпроводимость создает нулевое (для постоянного тока) или близкое к нулю (для переменного тока) сопротивление электрическому току, использование сверхпроводниковых (СП) материалов может существенно повысить КПД и эффективность электрических машин и значительно снизить массу и металлоемкость изделия. Применение СП материалов позволит создать более компактные и легкие элементы энергосистем (при той же мощности) или существенно увеличить мощность единичных агрегатов (при тех же размерах и массе). Применение СП материалов в обмотках якоря и индуктора электрической машины позволит достичь высоких значений удельной мощности - свыше 10-30 кВт/кг.

В работе приведены результаты аналитических расчетов двумерных магнитных полей и основных параметров синхронных электрических машин со сверхпроводниковыми обмотками ротора и статора с учетом внешнего экрана. Приведено сопоставление результатов аналитических расчетов и конечно-элементного анализа реальных конструкций полностью сверхпроводниковых электрических машин. Представлена методика оценки массогабаритных и энергетических параметров полностью сверхпроводниковых синхронных электрических машин с учетом физических свойств материалов, конструктивных особенностей и внешнего экрана.

## **СЕКЦИЯ № 58. Электротехнические и электронные аппараты и устройства**

Руководители секции: к.т.н., профессор Аверин С.В.,  
д.т.н., профессор Кириллов В.Ю.

---

### **Метод формирования аппроксимированного синусоидального выходного напряжения многофазного инвертора**

Щетинин В.Е.

Научный руководитель – Аверин С.В.

МАИ, г. Москва

В современных ЛА наблюдается тенденция к увеличению количества бортовых электронных и электрических систем, что влечет за собой рост мощности инверторов. Задача увеличения выходной мощности инвертора сама по себе требует нетривиальных подходов к ее решению. Решение этой задачи путем увеличения установленной мощности силовых ключей инвертора до требуемых значений при ограничениях, определяемых состоянием современной отечественной элементной базы силовых полупроводниковых приборов и тенденции к импортозамещению, невозможно. Одним из способов увеличения выходной мощности инверторов является применение многопоточного преобразования, когда выходная мощность суммируется из нескольких отдельных инверторов, каждый из которых является ячейкой, входящей в состав многофазного инвертора, работающих с определенным сдвигом фаз. В связи с этим вопрос увеличения выходной мощности инверторов за счет использования многопоточного преобразования с многофазной ШИМ вновь становится актуальной задачей.

Синусоидальная форма выходного напряжения наиболее универсальна, поскольку обеспечивает эффективную работу всех видов нагрузок переменного тока, а иногда становится целесообразной и для нагрузок постоянного тока, так как может обеспечиваться их коммутация силовыми ключами при токе, близком к нулю. Синусоидальная форма напряжения не имеет высокочастотных пульсаций, радиопомех, чем позволяет исключить фильтры потребителей и линий связи. Формирование синусоидального напряжения методами широтно-импульсной модуляции (ШИМ) позволяет снизить массу и габаритные размеры фильтрующих узлов в инверторе. При синусоидальной форме напряжения передача энергии по обычным проводным линиям не вызывает искажения формы напряжения.

Применение многоканального преобразования позволяет сформировать многоуровневое выходное напряжение, по форме приближающееся к синусоидальной форме. Это позволит снизить частоту коммутации силовых ключей инвертора, тем самым уменьшив динамические потери массу радиаторов.

В данной работе предлагается к рассмотрению новый алгоритм работы инверторных ячеек. Данный алгоритм предусматривает равномерную нагрузку всех ячеек вне зависимости от их количества и четности. За счет расчета

момента включения непосредственно аппроксимацией синусоиды, получается максимально приблизить выходной сигнал к синусоидальной форме для получения. При этом при увеличении числа ячеек улучшается форма выходного сигнала и его спектр.

Теоретически, максимальное число ячеек инвертора зависит от минимального времени коммутации силового ключа, входящего в состав одной ячейки инвертора.

## **Силовой преобразователь однофазного переменного тока**

Сорокин Д.А.

Научный руководитель – Вольский С.И.

МАИ, г. Москва

В настоящее время для преобразования однофазного напряжения в напряжение постоянного тока широко используют устройства, которые содержат входной понижающий низкочастотный трансформатор, управляемый тиристорный выпрямитель и низкочастотный сглаживающий фильтр. К недостаткам таких устройств следует отнести:

- нелинейную регулировочную характеристику, что обуславливает сложность поддержания выходного напряжения на заданном уровне;
- низкий коэффициент мощности преобразования входного напряжения, особенно при больших углах коммутации тиристоров устройства, что требует повышение габаритной мощности входного трансформатора;
- регулирование выходного напряжения изменением угла коммутации тиристоров, что обуславливает повышение габаритной мощности фильтра для достижения требуемого уровня пульсаций выходного напряжения;
- низкочастотное преобразование выходного напряжения трансформатора, с чем связаны большие габариты и масса входного и выходного фильтра устройства;
- высокий уровень радиопомех, что обусловлено высокой скоростью нарастания тока при коммутации тиристоров.

Известно, что одним из способов повышения эффективности силовых полупроводниковых устройств является переход от низкочастотного к высокочастотному преобразованию электрической энергии. С этой целью взамен управляемого тиристорного выпрямителя используют неуправляемый мостовой выпрямитель, входной низкочастотный сглаживающий фильтр и понижающий импульсный высокочастотный регулятор напряжения с высокочастотным сглаживающим фильтром.

Однако при такой силовой схеме неуправляемый мостовой выпрямитель имеет относительно низкий коэффициент мощности, а входной низкочастотный фильтр - большие габариты и массу.

Предложено в вышеописанной силовой схеме взамен входного низкочастотного фильтра установить высокочастотный фильтр, а на схему управления импульсного регулятора напряжения дополнительно возложить функцию сглаживания входного тока и напряжения. С этой целью разработан принцип управления импульсного регулятора, в основу которого заложено

отслеживание изменения входного однофазного напряжения с учетом стабилизации выходного напряжения постоянного тока.

Был проведен посредством компьютерного моделирования анализ силовых схем преобразования однофазного напряжения с использованием управляемого тиристорного выпрямителя, неуправляемого выпрямителя с входным низкочастотным и предложенным высокочастотным фильтром. Исследованы характеристики тока потребления, определены требуемые параметры полупроводниковых приборов и проанализированы характеристики выходного напряжения.

Анализ показал, что по отношению к преобразователю с использованием неуправляемого выпрямителя с входным низкочастотным фильтром предложенная силовая схема с разработанным алгоритмом управления обладает:

- сравнительно высоким коэффициентом мощности преобразования входного напряжения переменного тока;
- потенциально малыми габаритами и массой входного фильтра;
- относительно лучшей стабилизацией выходного напряжения постоянного тока.

Таким образом, по своим свойствам предложенная силовая схема совмещает свойства активного фильтр как входного, так выходного напряжения.

## **Тиристорный регулятор переменного напряжения**

Дудулин А.Л.

Научный руководитель – Малафеев С.И.

ВлГУ, г. Владимир

В настоящее время в промышленности широко используются тиристорные регуляторы напряжения для «мягкого» пуска и регулирования скорости асинхронных двигателей (софт-стартеры) [1]. Такие устройства, как правило, имеют простую конструкцию, низкую стоимость и высокую надежность. Однако при управлении асинхронными двигателями такие устройства имеют ограниченные возможности при высоких механических нагрузках двигателей, например, при тяжелых пусках.

В работе рассматриваются результаты проектирования, моделирования и экспериментальных исследований тиристорного регулятора для дискретного управления скоростью трехфазного асинхронного двигателя. Силовая часть трехфазного устройства содержит три пары встречно-параллельных тиристоров, управление которыми осуществляется с помощью микроконтроллерного устройства. Алгоритм управления регулятором предусматривает формирование в обмотках статора асинхронного двигателя квазигармонических токов низкой частоты, например, 3,33 Гц, 5 Гц, 7 Гц. Напряжение при этом может регулироваться в широком диапазоне. Поддержание заданного значения питающего напряжения при низкой частоте позволяет развивать высокий пусковой момент асинхронного двигателя, превышающий пусковой момент при прямом включении в трехфазную сеть частотой 50 Гц. Изменение частоты питающих токов так же позволяет дискретно управлять скоростью двигателя.

Компьютерное моделирование устройства выполнено с помощью MATLAB-Simulink с использованием специальной модели асинхронного двигателя [2, 3].

Полученные диаграммы процессов при пуске асинхронного двигателя мощностью 30 кВт при различных частотах и построенные механические характеристики подтвердили теоретические результаты анализа процессов. По результатам моделирования выполнен сравнительный анализ процессов при различных способах пуска: прямом пуске, «мягком» пуске с помощью тиристорного регулятора с фазовым управлением, частотном пуске при различных способах управления: векторном и скалярном.

Практическая реализация регулятора выполнена с использованием микроконтроллера ATmega88-PA, в качестве силовых тиристорных выбрана оптотиристорные сборки МТОТО-80-121и. Экспериментальные исследования макета тиристорного регулятора выполнены с двигателями 0,4 кВт, мощностью 0,18 кВт и 1,5 кВт.

Рассмотренное устройство позволяет эффективно управлять асинхронными двигателями при тяжелых условиях пуска. Сочетает в себе простоту, возможность реализации нескольких алгоритмов с программным переключением, низкую стоимость.

Литература.

Power Electronics Handbook / Ed. M.H. Rashid. – Academic Press. 2007. – 1153 p.

Малафеев С.И., Коняшин В.И. Компьютерное моделирование асинхронной машины / Материалы XIX Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2015). Алушта, Крым, 24 – 31 мая 2015 г. М.: Издательство МАИ, 2015. – С. 640 – 642.

Малафеев С.И., Захаров А.В. Исследование потерь в асинхронном двигателе при переходных процессах / Электротехника, 2008, № 7. – С. 2 – 5.

## **Исследование потенциала использования «умной пыли»**

Шнейдерман Д.А.

Научный руководитель – Демиденко И.А.

БГТУ, г. Брянск

Умная пыль – это небольшие беспроводные микроэлектромеханические датчики (MEMS), которые могут регистрировать все, от света до вибрации. Прогресс технологии микросхем, а также совершенствование их производства позволит сделать эти элементы размером с песчинку, хотя каждый из них будет содержать датчики, вычислительные микросхемы, устройства двунаправленной беспроводной связи и источник питания. Элементы смогут собирать массу данных, инициировать вычисления и передавать эту информацию с помощью дуплексного полосового радио между элементами на расстояние до 300 м.

Потенциальная область применения таких устройств чрезвычайно широка: от выявления производственных дефектов за счет регистрации в промышленном оборудовании вибрации, превышающей допустимый уровень, до контроля движений пациента в больничной палате.

Несмотря на всю перспективность таких устройств, существует ряд технических трудностей, которые препятствуют их широкому коммерческому

распространению. К примеру, архитектурные проблемы, возникающие при попытках объединить микромеханические элементы и электронику на одном кристалле.

Одним из главных стимулов в этих разработках является высокий потенциал данных технологий и вера в то, что в результате они смогут оказать серьезное влияние на общество.

Сейчас исследования в этой области ведутся с целью уменьшения габаритов платы датчиков: чтобы габариты такой платы не превышали 1 мм во всех измерениях. Сейчас размер пылинок составляет около 5 мм.

Потенциальная область применения «умной пыли» необычайно широка, в частности их можно использовать в качестве датчиков трафика на загруженных улицах городов и контроля уровня энергопотребления домашних приставок для того, чтобы определить, работают ли они с максимальной эффективностью. Крошечные размеры таких микромашин предъявляют особые требования к источникам питания. В идеале, хочется иметь возможность развертывать беспроводные «пылинки», которые были бы не привязаны к источникам питания, в то время как многие из тестируемых и применяемых сейчас систем получают питание от миниатюрных батареек.

Решением может стать использование низкоэнергоемких протоколов маршрутизации по требованию, которые позволяют доставить сообщение от одного элемента к другому с минимальными энергозатратами.

Что же касается энергоемкости, то проводятся исследования, которые дадут возможность более эффективно использовать энергию, благодаря чему «умные пылинки» смогут работать дольше. Эти исследования связаны с использованием энергии колебаний, создаваемых промышленными устройствами, или получением энергии из слабого света. Такие способы извлечения энергии будут предложены в ближайшие пять лет.

С большим энтузиазмом рассуждая о потенциальных областях применения «умной пыли», разработчики коммерческих продуктов не скрывают, что для этого необходимо решить серьезные проблемы проектирования и питания. «Многие стремятся как можно скорее предложить на основе этой технологии коммерческие решения, но сама технология еще довольно несовершенна и широкое распространение подобных устройств начнется лишь через несколько лет».

## **Преобразователи электроэнергии с полностью цифровым управлением**

Житников А.В.

Научный руководитель – Крючков В.В.

МАИ, г. Москва

Цифровое управление преобразователями электроэнергии может быть определено как вид управления, при котором в цифровой форме решается ряд задач: настройка, мониторинг, регулирование, контроль параметров. Все эти функции обеспечиваются использованием программных алгоритмов и аппаратных средств.



При цифровом управлении управляющие и прикладные функции интегрированы в одном чипе. При этом, требуется минимальное число внешних компонентов. Необходимо только правильно настроить периферийные модули цифрового сигнального микроконтроллера (DSC).

Формирование управляющих алгоритмов микроконтроллером позволяет реализовать, как минимум, следующие функции и параметры:

- задание погрешности выходного напряжения;
- последовательность запуска узлов преобразователя;
- задание рабочего диапазона входного напряжения;
- формирование отчета об ошибках и авариях.

Такой подход обеспечивает функции, которые могут быть внесены в память цифрового сигнального процессора и настроены через стандартные интерфейсы. Например, многие цифровые ШИМ-контроллеры включают SMBus, т. е. последовательный протокол обмена данными для устройств питания. Этот протокол основан на шине I<sup>2</sup>C, но использует более низкое сигнальное напряжение (3,3 В) и интерфейс, который позволяет так же контролировать и настраивать микроконтроллер с помощью стандартного промышленного протокола связи.

Программируемость функциональных возможностей, освобождает место на печатной плате преобразователя, за счет устранения внешних компонентов, при этом уменьшается размер преобразователя, повышается надежность. Одним из аспектов повышения надежности является то, что значения величин в цифровой форме, используемых при управлении преобразователем не изменяются со временем (не подвержены старению) или изменению температуры, что свойственно электронным компонентам, используемым в цепях аналоговых ШИМ-контроллеров.

Одним из основных требований к современным силовым преобразователям для систем электропитания, является высокая удельная мощность. Поскольку в преобразователях электроэнергии с цифровым управлением, как правило, используется меньше число компонентов, а работают они с такой же или более высокой эффективностью, чем аналоговые преобразователи, удельная мощность таких преобразователей будет выше чем у аналоговых.

## **Способ формирования напряжения векторной ШИМ для управления асинхронным двигателем**

Ле Дык Тиеп

Научный руководитель – Аверин С.В.

МАИ, г. Москва

Целью данной работы являлось рассмотрению нового способа формирования вектора для управления асинхронным двигателем в режиме широтно-векторной модуляции с использованием трехфазным инвертором.

Современный уровень развития силовых электронных преобразователей характеризуется широким применением микропроцессорных устройств управления. Широкое применение элементов цифровых устройств микропроцессоров и микроконтроллеров и способствует повышению эффективности авиационных электротехнических устройств и комплексов.

Одним из актуальных направлений в разработке преобразователей для систем авиационного электропривода является разработка преобразователей с векторной ШИМ, что в настоящее время нашло широкое применение во многих отраслях промышленности и производстве для управления с высоким качеством различными системами электропривода. Построение векторных ШИМ основывается на векторном представлении совокупности выходных напряжений инвертора и заключаются в том, что ключи инвертора напряжения, относящиеся к одной фазе нагрузки, работают строго в противофазе и переключаются мгновенно. В этом случае инвертор можно представить в виде трех, двух... позиционных ключей, каждый из которых подключает соответствующую фазу нагрузки либо к положительному, либо к отрицательному полюсу источника постоянного напряжения  $U_d$  в зависимости от входных сигналов управления

Первый этап разработки создание лабораторного макета. При разработке макета были использованы микропроцессор DSPic30F4012, IGBTIRGP50B60PD1, драйвер HCPL 3120.

Второй этап: рассмотрение известного способа формирования вектора в режиме широтно-импульсной модуляции для управления асинхронным двигателем с использованием трехфазного инвертора, демонстрация недостатка этого способа и необходимости нахождения нового способа формирования вектора в режиме ШИМ. Проверка точности, сравнение результатов нового способа с помощью системы Матлаб и написание программы для управления асинхронным двигателем в режиме ШИМ на лабораторном макете.

Применение предложенного способа обеспечивает минимум числа переключений силовых ключей инвертора, что в свою очередь позволит повысить эффективность инвертора.

### **Моделирование униполярного шагового двигателя в системе автоматизированного проектирования Proteus**

Марьин А.Ю.

Научный руководитель – Аверин С.В.

МАИ, г. Москва

Применение шаговых двигателей для управления устройств авиационной автоматики позволяет рабочим органам исполнительных механизмов совершать строго дозированные перемещения с фиксацией своего положения в конце движения. При работе шагового двигателя необходимо правильно оценить электрические режимы транзисторов силового каскада как в номинальном, так и динамическом режимах. В работе рассматривается управление двигателями с различными конфигурациями обмоток от различных силовых каскадов

В отличие от двигателя постоянного тока необходимые коммутации обмоток выполняются коллектором, у шагового двигателя все коммутации должен выполнять внешнее устройство управления. На современном этапе для управления шаговым двигателем используются микроконтроллеры, работающие по программе, которая будет подавать управляющие сигналы в нужной последовательности и с необходимой частотой. В работе качестве среды разработки для написания программы будем использовать MicroC PRO for PIC,

т.к. контроллер берем PIC16F877A. MikroC – это инструмент разработки программ для PIC микроконтроллеров на языке C.

Рассмотрены различные формы управления и принято, что наиболее эффективным способом управления шаговым двигателем является полушаговый режим, (halfstepmode в англоязычной терминологии), когда двигатель делает шаг в половину основного. Для каждого второго шага запитана лишь одна фаза, а в остальных случаях запитаны две. В результате угловое перемещение ротора составляет половину угла основного шага. Несмотря на то, что полушаговый режим обычно не позволяет получить полный момент этот режим обеспечивает плавное движение вала исполнительного механизма.

В работе приведен код программы программа, позволяющая вращать вал двигателя, HEX файл, пригодный для использования всеми программаторами. Встроенный отладчик позволяет проверять ход и логику исполнения программы.

Проверка и отладка программного кода выполнена в системе автоматизированного проектирования Proteus. Представлены результаты проверки при пуске, номинальном режиме и реверсе шагового двигателя ДШИ 200-1-1.

### **Увеличение амплитуды выходного напряжения схемы на ОУ в имитаторе сигнала обратной связи**

Бунин Ю.И.

Научный руководитель – Аверин С.В.

МАИ, г. Москва

Для наземной проверки блока управления торможением колёс шасси самолёта требуется имитировать сигналы обратной связи. Имитатор сигнала с датчика скорости вращения колёс должен формировать линейно изменяющееся напряжение в диапазоне от 0 до 20 В. В качестве формирователя был выбран интегратор на операционном усилителе (ОУ), как наиболее близкий к идеальному интегратору. Питание на ОУ подаётся однополярное для возможности получения на выходе 20 В. Но при этом возникают две проблемы: на выходе ОУ минимальное напряжение существенно выше нуля и максимальный выходной ток ниже, чем максимальный входной ток проверяемого блока.

Чаще всего выходной ток усиливается с помощью двухтактного эмиттерного повторителя, но его использование ещё больше увеличит минимальное выходное напряжение. Напряжение можно понизить, поставив на выходе стабилитрон, но в этом случае при приближении к нулю характеристика интегратора будет искажаться из-за снижения выходного тока до значения ниже минимального тока стабилизации. Поэтому возникла необходимость в схеме включения ОУ, которая увеличит диапазон изменения напряжения на выходе и усилит выходной ток.

Найденные схемы, которые решают данную проблему, требуют доработки под заданные требования и используют цепи питания ОУ для управления выходными транзисторами. Это означает отсутствие фильтрации, которую

рекомендуют производители ОУ, и стабилизации питания или дополнительные схемотехнические решения для этого.

Поэтому, в соответствии с требованиями, была разработана другая схема включения операционного усилителя. В этой схеме минимальное напряжение выше нуля только на напряжение насыщения выходного транзистора, которое находится в приемлемых пределах. Максимальное напряжение ниже, чем питание тоже на напряжение насыщения транзистора. При этом можно поставить фильтр по питанию ОУ или даже запитывать его отдельным источником напряжения. Также выходные транзисторы осуществляют усиление по току, что отбрасывает необходимость в эмиттерном повторителе.

Разработанную схему включения ОУ можно использовать и в других случаях, когда требуется увеличить диапазон напряжений на выходе. Также, подобрав номиналы резисторов, схему можно применять, когда напряжение питания на выходных транзисторах отличается от напряжения питания ОУ.

На основе данной схемы включения был разработан имитатор обратной связи. Было произведено компьютерное моделирование и макетирование схемы включения ОУ и имитатора обратной связи в целом.

## **Транзисторное устройство защиты авиационных систем распределения электроэнергии от аварийных электрических разрядов**

Куликовский К.В.

Научный руководитель – Машуков Е.В.

МАИ, г. Москва

Явление электрической дуги изучено достаточно полно как с позиций ее использования (например, для электросварки), так и с позиций борьбы с ней в контактной высоковольтной аппаратуре. Начиная с 2000-х годов число исследований по ликвидации дуги в самолетных системах электроснабжения (СЭС) резко увеличилось. Толчком к этому послужили две авиационные катастрофы пассажирских самолетов в 1996 и 1998 годах, причинами которых стали возгорания после образования аварийных электрических дугowych разрядов (АЭДР). Необходимость борьбы с АЭДР существует как в наземных системах электропитания, так и в бортовых: автомобильных с напряжениями 36...42 В и в авиационных (постоянного и переменного тока). Однако в авиационных системах проблемы индикации и ликвидации дугowych разрядов оказываются особенно сложными из-за помех в сетях, наличия импульсных нагрузок, переходных режимов нагрузок и сетей, отсутствия обратных фидеров. По схеме аварии дуга может быть последовательной или параллельной. Последовательная дуга возникает в месте разрыва последовательного электрического контура, образованного источником электропитания, коммутационно-защитными аппаратами и нагрузкой. Параллельная дуга возникает вследствие сильной утечки тока на корпус вплоть до тока короткого замыкания. При этом традиционные тепловые и электромагнитные аппараты защиты распределительных сетей могут не сработать: при параллельных дугах в случае их прерывистого характера, а при последовательных дугах – из-за уменьшения токов в фидерах. Однако, дугowe разряды параллельного типа

могут быть обнаружены и ликвидированы транзисторными аппаратами защиты и коммутации (АЗК), имеющими функцию непрерывного ограничения токов в нагрузках емкостного характера, данный алгоритм был успешно опробован на стенде и доказал свою полную работоспособность.

Существующие решения, в основной массе опубликованные за рубежом, делятся на два основных принципа индикации дуговых разрядов: характерные признаки (широкополосный «розовый» шум, хаотичность, рекурсивность, наличие «фликкер-эффекта» и пр.) Вторая группа основана на сравнении аварийных электрических процессов в фидерах с нормальными, штатными. В рамках диссертационной работы проведена оценка и апробация существующих методов на предмет возможности их применения в условиях авиационных СЭС и создания универсального алгоритма. В результате анализа выявлено, что методы, основанные на характерных признаках дуговых разрядов, несмотря на достоинства универсальности к роду тока и нагрузок, не могут использоваться в условиях авиационного судна, по причине высокой вероятности ложных срабатываний защиты при наличии штатных неаварийных процессов на борту, схожих с дугой, наводок, а также с практической сложностью анализа этих параметров.

В результате разработан набор методов, и средств технической реализации для типичных нагрузок постоянного тока СЭС летательных аппаратов, в основе которых лежит сравнение текущих процессов с эталонными. Основные достоинства – нечувствительность к помехам, малая вероятность ложных отключений исправных участков сети, отсутствие необходимости анализировать пульсации дуги и сети. На основе этих методов разработано универсальное устройство на основе базовых матричных кристаллов (БМК), благодаря чему устройство может быть установлено совместно или непосредственно встроено в транзисторный аппарат защиты и коммутации, при этом, для эксплуатации устройства требуется задать тип питаемой нагрузки.

### **Математическая оценка влияния инерционности подвижного носителя антенны бортовой радиолокационной станции на точность отработки входных воздействий**

Денисов А.С.

Научный руководитель – Емельянов А.В.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

В настоящее время одним из основных направлений развития средств разведки является их размещение на подвижных носителях. Антенны радиолокационных станций (РЛС) располагают на подвеске к воздушному носителю. Подвергаясь влиянию внешних факторов, носитель совершает колебания в различных плоскостях и оказывает влияние на динамику работы привода, и тем самым на точность наведения антенны и слежения за целью.

При моделировании движения привода антенны легче всего воспользоваться моделью так называемой одномассовой системы, представляя механическую часть электропривода в качестве «жесткой» механической модели и пересчитывая динамические и статические моменты рабочего механизма к валу исполнительного двигателя. Если же в системе есть люфты, упругие

деформации валов, то степень соответствия такой модели реальности будет невелика. Учет неидеальности кинематической передачи от вала двигателя к нагрузке производится в так называемых двухмассовых системах, где первая масса относится к двигателю, а вторая – к нагрузке. Если же при этом сам носитель будет совершать колебания, то помимо учета двухмассовости нагрузки модель должна отражать взаимовлияние движений носителя и нагрузки. В силу того, что кинематическая схема исследуемой системы содержит зазоры и упругие элементы, а также существует взаимовлияние двигателя и носителя система является трехмассовой.

Таким образом, исходя из необходимости учета всех воздействий, была обоснована необходимость использования модели трехмассовой системы.

Авторами была разработана математическая модель трехмассовой системы, на основе которой проанализирована степень влияния движения носителя на точность отработки входных воздействий.

Результаты моделирования исследуемой трехмассовой системы в пакете прикладных программ MATLAB показали, что от величины момента инерции носителя сильно зависит точность работы системы. Если момент инерции носителя велик по сравнению с нагрузкой или внешние возмущения малы, использование двух- или одномассовой модели привода при проектировании системы управления не даст значительных расхождений с реальностью, при малой инерционности носителя ошибки моделирования будут существенны. Так как такие системы находят применение в приводах РЛС, к точности позиционирования антенны предъявляются высокие требования, поэтому при синтезе системы управления приводом нельзя забывать о влиянии движения носителя на перемещение нагрузки.

## **Повышение эффективности системы электроснабжения с применением солнечных установок**

Дякин С.В.

Научный руководитель – Вольский С.И.  
МАИ, г. Москва

Со дня запуска первого искусственного спутника Земли прошло более 50 лет, и космонавтика прошла огромный путь в своем развитии. После беспилотных и пилотируемых полетов, которые показали возможности космических аппаратов и бортовых систем, началось стремительное освоение околоземного космического пространства, а потом и Луны и планет Солнечной системы.

Основными источниками энергии на борту космических аппаратов являются фотоэлектрические преобразователи (солнечные установки) и химические накопители энергии, которые используются в качестве резервного источника и источника энергии в период затенения солнечных установок.

Для эффективного преобразования солнечной энергии применяются статические преобразователи (СП) на основе полупроводниковых устройств.

В совокупности статические преобразователи должны:

- Обладать приемлемыми показателями по массе и габаритам;
- Обеспечивать жесткие требования по качеству выходного напряжения;
- Иметь КПД преобразования электрической энергии близкой к единице.

Повышение эффективности полупроводниковых преобразователей, работающих совместно с фотоэлектрическими преобразователями (ФЭП), актуально для применения в проектах по развитию альтернативных источников энергии на Земле. В последнее десятилетие наблюдается неуклонный рост доли возобновляемых источников энергии в общей доли мировой энергетики. В первую очередь, это связано с желанием снизить влияние человека на окружающую среду, связанное с выбросами при сжигании углеводородов. Во-вторых, возникает потребность в поиске замены ископаемых источников энергии для создания будущей мировой энергетики.

В настоящее время применяются классические схемотехнические решения для реализации статического преобразователя, работающего совместно с ФЭП и состоящего из конвертера и выходного инвертора. Главной задачей конвертера является стабилизация выходного уровня напряжения солнечных панелей, который может меняться в зависимости от интенсивности солнечных излучений и освещенности панелей. Выходной инвертор СП осуществляет преобразование напряжения постоянного тока в требуемое напряжение переменного тока. К основным недостаткам таких решений следует отнести наличие в выходном напряжении инвертора существенных неосновных гармоник, для подавления которых применяются фильтры, имеющие относительно плохие массогабаритные показатели, а также существенные тепловые потери на полупроводниковых элементах.

Разработанный СП содержит симметричный трехуровневый конвертер, обеспечивающий среднюю точку для выходного трехуровневого инвертора на базе IGBT и RB-IGBT транзисторов. Синхронизация СП с сетью происходит на базе ФАПЧ выходного инвертора. К шине постоянного тока (между конвертером и инвертором) через преобразователь постоянного тока подключается химический накопитель энергии.

Предложенное схемотехническое решение статического преобразователя позволяет снизить потери на проводимость и переключение транзисторов, снизить величину неосновных гармоник, уменьшить массогабаритные параметры выходного фильтра, и тем самым повысить общую эффективность системы электроснабжения с применением солнечных установок.

## **Модели прогнозирования многоагентной системы при распределенной генерации электроэнергии**

Дякин Н.В.

Научный руководитель – Вольский С.И.

МАИ, г. Москва

Благодаря развитию накопителей энергии и альтернативной энергетики, возникает огромный интерес к внедрению распределенной генерации (РГ) электроэнергии. РГ характеризуется быстрым вводом новых генерирующих станциями малой мощности, относительно низкими потерями на передачу электроэнергии, за счет близкого расположения источников энергии к потребителям.

Для согласования всех источников энергии и повышения эффективности работы с конечными потребителями целесообразно использовать

интеллектуальные сети (ИС), которые содержат коммутируемые установки распределенной генерации, накопители энергии и осуществляют обмен информацией между ними с целью обеспечения устойчивой генерации, повышения энергетической эффективности и надежности сети в целом.

Одной из сложностей в процессе работы ИС является обработка и хранение большого объема информации. Для повышения производительности и надежности ИС имеет смысл использовать принцип многоагентной системы (МАС) из области искусственного интеллекта, который состоит из нескольких интеллектуальных агентов, реализующих децентрализованное управление.

Главное преимущество подобного подхода является возможность оптимально перераспределить обмен информацией внутри всей системы между специализируемыми агентами, которые отвечают за определенную часть системы и выполняют определенную функцию. При этом под агентом понимают программный модуль, работа которого направлена на адаптацию в определенной среде.

В общем случае в МАС входят следующие агенты: нагрузки, накопителей энергии, ветрогенераторов, солнечных батарей, традиционных источников генерации, окружающей среды, моделирования (прогнозирования) и внешней сети.

Основной из задач МАС является прогнозирование работы системы на краткосрочный и долгосрочный период времени: генерация, потребление, накопление электроэнергии в зависимости от различных параметров системы.

В качестве примера прогнозирования выработки электроэнергии был выбран агент ветрогенератора (АГВГ), целью которого является обеспечение оптимального управления при прогнозировании процессов за краткосрочный и долгосрочный период времени, согласно информации, полученной от агента окружающей среды (АГОС). Это позволяет при высокой зависимости от погодных условий, сбалансировать необходимый уровень электроэнергии для потребителя за счёт других силовых установок и накопителей энергии.

Результатом работы является создание двух моделей прогнозирования электроэнергии на основе аналитической функции и методах машинного обучения (дерево решения), а также алгоритм перераспределения информационных потоков между различными агентами.



## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аболмасов В.Г. ....	42	Барсегян О.С. ....	92
Абрамов Д.А. ....	522	Батраков В.В. ....	150
Абрамова Е.А. ....	297, 309, 324	Баширов С.Р. ....	385
Абрамова О.В. ....	519	Бекаев А.А. ....	93
АбуГазал А.А. ....	84	Беклемишев Н.Н. ....	145
Аверин С.В. ....	667, 672, 673, 674	Белашев М.И. ....	250
Аверченков В.И. ....	366	Белкин В.Д. ....	276
Авершьева А.В. ....	85	Белоцерковский О.А. ....	257
Авруцкий В.В. ....	290	Белякова Н.Г. ....	480
Агаджанян Д.В. ....	380	Бендерский Г.П. ....	385
Азаров А.В. ....	565, 566	Бережной Д.А. ....	629
Азиков Н.С. ....	314	Березин В.В. ....	94
Аккужин Я.Д. ....	195	Березуев А.В. ....	632
Акопов А.К. ....	568	Берецкий И.С. ....	386
Алексеев Г.А. ....	570	Беспалов В.Я. ....	659
Алёшин А.Е. ....	381	Бизюкин Г.А. ....	387
Алтухов А.Н. ....	274	Бикмухаметов Д.А. ....	388
Амелькин Н.И. ....	479	Битюцких А.С. ....	95
Андреев И.В. ....	8	Бобков П.В. ....	251
Андрющенко А.В. ....	258	Богдевич Ю.Р. ....	389
Аносов Е.А. ....	382	Бодров А.С. ....	96
Антипов А.А. ....	473	Бойко Е.Н. ....	519
Антонова М.Е. ....	86	Болобанова Н.Л. ....	164
Антонюк В.В. ....	196	Боловин А.А. ....	511
Аракелян Д.В. ....	383	Болотский А.А. ....	490
Аристов В.В. ....	196	Бондаренко Р.Н. ....	390
Артемяев А.В. ....	197	Борзенкова С.Ю. ....	543
Асалин К.К. ....	249	Борисов Ю.Ю. ....	520
Асмыкович И.К. ....	246	Борисова Е.В. ....	9
Астапов Ю.В. ....	87	Борисова О.В. ....	293
Астахов Н.О. ....	264	Бортаковский А.С. ....	475
Асташкин А.А. ....	568	Бочкарев А.О. ....	486
Афанасьев А.Д. ....	291	Бочкарева А.В. ....	292
Афанасьев В.П. ....	223	Бочкова Г.И. ....	97
Ахрамович А.А. ....	9	Бражник А.С. ....	625
Ашряпов М.И. ....	575	Браун С.А. ....	277, 279, 283, 284
Багно Д.В. ....	510	Брегнова А.В. ....	10
Басев А.Б. ....	558	Бредихин И.О. ....	294
Байгалиев Б.Е. ....	94	Брехов О.М. ....	275, 622
Баймова Ю.А. ....	88, 149	Бронников Д.В. ....	510
Баян А.В. ....	275	Брюханова Е.Н. ....	572
Баранникова С.А. ....	292	Бубнов А.В. ....	43
Баранов М.А. ....	89	Бубнова М.Д. ....	528
Барановски С.В. ....	384	Бугаев К.С. ....	199
Бардадим Д.А. ....	90	Бугаков С.О. ....	12

Бузов П.А. ....	392	Волкова А.В. ....	252
Буй ЧиТхань.....	595	Волкова А.С. ....	297
Бульгин М.Л. ....	576	Волкова Д.А. ....	397
Бунин Ю.И. ....	674	Волкова О.А. ....	639
Буренин А.А. ....	180	Воложанина А.А. ....	298
Бурмистров М.О. ....	393	Володченко В.С. ....	46
Бурый А.С. ....	458	Волохов В.М. ....	204, 205
Бутко А.О. ....	328, 360, 369, 375	Вольский С.И. ....	668, 677, 678
Бухалов В.И. ....	98	Воронин С.В. ....	130
Быбочкин Д.В. ....	394	Воронков А.В. ....	564
Бычков Н.Г. ....	290	Воронова В.В. ....	329
Бычков Р.О. ....	285	Воскресенский Д.И. ....	499, 509, 513
Важенин Н.А. ....	531, 533, 542	Востриков А.В. ....	407
Вакка Ю.В. ....	14	Ву Хонг Фук ....	552
Валайтите А.А. ....	535	Вялов А.С. ....	47
Валишин Н.Т. ....	228	Габзалилов Д.Р. ....	328
Валяйкин А.Н. ....	389	Габидуллин А.Н. ....	329
Ванак И.Э. ....	536	Габрелян А.С. ....	652
Ванцов С.В. ....	15	Гавриленко А.В. ....	196
Васильев М.И. ....	200	Гаврилов А.В. ....	201, 398
Васильев Ф.В. ....	613	Гавриш О.Н. ....	202
Васильева Е.В. ....	13	Гадалин Д.Ю. ....	550
Васильева С.Н. ....	462	Гаджиев Э.В. ....	499, 509
Васин А.А. ....	501, 505, 578	Гайнанов Д.Н. ....	203
Вахрушев А.В. ....	153, 176	Гайнутдинов Р.Р. ....	372
Вахтерова Я.А. ....	295	Галай Н.А. ....	49
Вейцель А.В. ....	538	Галиев А.И. ....	330
Вельможин Г.А. ....	395	Галицкий И.О. ....	204, 205
Веремеенко К.К. ....	629	Галкина Т.В. ....	206
Верещиков Д.В. ....	265, 630	Гарастюк Е.В. ....	608
Верхотурова Н.А. ....	596	Гареев А.М. ....	316
Вибе Е.Д. ....	327	Гарибян Б.А. ....	466
Виеру Б.Г. ....	485	Гвоздарев Р.С. ....	551, 556
Визильтер Ю.В. ....	623	Герасименко Н.А. ....	477
Викулин М.А. ....	45	Герасимов А.И. ....	291
Вильчевская П.М. ....	597	Герасимова И.Н. ....	50
Виноградова Е.М. ....	478	Герман И.М. ....	208
Войтковский С.В. ....	15	Гладышев Д.В. ....	399
Волегов П.С. ....	89, 118, 132, 136, 138, 139, 154, 159	Глоткина А.А. ....	22
Волков А.В. ....	99	Глудкина М.С. ....	401
Волков А.М. ....	589	Говорун М.В. ....	311, 325
Волков А.П. ....	488, 496	Голанова О.А. ....	209
Волков А.Ю. ....	396	Голик В.М. ....	402, 403
Волков В.А. ....	476	Голованов К.С. ....	530
Волков Д.С. ....	252	Голубинский М.А. ....	331
Волков М.А. ....	88, 100	Голубков А.К. ....	300

Гольдштейн Р.В. ....	98, 102, 111, 127, 137, 171, 177, 178	Дзюба Д.В. ....	449
Горбунов М.С. ....	404, 609	Дирвук Т.В. ....	16
Горбунов С.В. ....	151	Дмитриев С.В. ....	88
Горбунова А.А. ....	558	Добринский А.М. ....	254
Горбунова Ю.А. ....	467	Добронравов О.А. ....	280
Гореленков Д.П. ....	183	Добычина Е.М. ....	497, 498, 503, 504
Гореликов Л.Ф. ....	545	Довгаль М.В. ....	103
Горелов А.О. ....	610	Докучаев А.В. ....	219
Городилов В.А. ....	405	Долгов В.В. ....	408
Городцов В.А. ....	100, 131	Домени А.С. ....	613
Горчаков А.Я. ....	55, 332	Доника И.И. ....	493
Горшенина В.К. ....	630	Дорофеев В.В. ....	196
Горячев А.М. ....	277	Дорофеев И.А. ....	530
Гречишников В.М. ....	605	Доценко М.В. ....	518
Григоренко Н.С. ....	662	Дробышевский А.О. ....	550
Григорьев А.В. ....	406	Дровосеков В.В. ....	50
Григорьева Е.Р. ....	571	Дроздов Д.О. ....	577
Гризоглазова Т.О. ....	101	Дубенский А.А. ....	658
Гринев А.Ю. ....	487, 488, 489, 496	Дубовицкий О.М. ....	17
Гришков А.Н. ....	210	Дубравин Ю.А. ....	241
Громаков Ю.А. ....	520, 524, 525	Дуброво А.И. ....	614
Громова М.Д. ....	49, 278	Дубровский Н.А. ....	210
Громыко А.А. ....	301	Дудкин С.О. ....	625
Гулян К.Г. ....	398	Дудулин А.Л. ....	669
Гуров О.А. ....	407	Дурдыев М.Х. ....	335
Гурченков А.А. ....	221, 615	Душелюбов А.И. ....	615
Гурьянова А.П. ....	333	Дьяченко М.А. ....	103
Гусаков М.О. ....	661	Дюг А.Ю. ....	302
Гуснин С.Ю. ....	65, 255, 262, 263, 268, 287, 288, 618	Дякин Н.В. ....	678
Гучанов И.Н. ....	39	Дякин С.В. ....	677
Гущин А.Н. ....	77	Дяченко С.А. ....	616
Давыдов А.Б. ....	515	Евдокимова М.Д. ....	472
Давыдов Д.С. ....	322	Евсеев Д.А. ....	489
Даниелян М.М. ....	279	Евстигнеев И.С. ....	18
Данилов Р.Ю. ....	568	Егоров В.В. ....	597
Дедовец А.Е. ....	102	Егорова Е.К. ....	211, 213, 419
Дейнега Р.А. ....	299	Егорова Ю.Б. ....	49
Дель А.Е. ....	512	Ежов А.Д. ....	105
Дембицкий Н.Л. ....	552	Емельянов А.В. ....	676
Демиденко И.А. ....	670	Епанешникова И.К. ....	30, 401, 439
Демин А.Ю. ....	456	Еремин И.В. ....	389
Денисов А.С. ....	676	Ермилов И.Ю. ....	336
Денисов В.И. ....	213	Ермолаева Ю.В. ....	617
Денисова И.П. ....	200	Ермолов А.В. ....	106
Деревянкин Д.С. ....	611	Ермохин Е.А. ....	337
		Ефимов А.И. ....	254
		Ефимов Е.Н. ....	560

Ефимова Н.С. ....	421, 422	Игнатъева М.П. ....	412
Ештокин Р.Д. ....	533	Игонин Д.М. ....	569
Жаркой М.Ф. ....	554	Идиатуллов З.Р. ....	634, 640
Жданов П.А. ....	622	Измайлов А.А. ....	488
Жезлова Е.А. ....	107	Изотов Е.Н. ....	256
Жерноклюева М.А. ....	19	Ильин А.Г. ....	573
Живов А.В. ....	51	Ильин В.Н. ....	254, 368, 377
Житников А.В. ....	671	Ильин Е.В. ....	489
Жихарев А.Г. ....	392	Ильясов Р.И. ....	665
Жуков П.В. ....	338	Инжуватов К.А. ....	55
Жуков Ф.Д. ....	527	Ирбитский И.С. ....	386
Жукова М.Н. ....	213	Ирьшкова Ю.В. ....	214
Журавский К.А. ....	630	Исаев В.В. ....	21
Журенков А.А. ....	255	Исаенкова Ю.А. ....	55
Заворина Е.И. ....	204, 205	Ислентьев М.Д. ....	216
Зайцев А.В. ....	112, 113, 119, 125, 141	Исмаилов В.Т. ....	507
Зайцев В.Е. ....	420	Кадыева Л.М. ....	217
Зайцев П.А. ....	480	Кажичкин С.В. ....	302
Зайцев С.С. ....	409	Казаков Г.Н. ....	638
Захаров П.А. ....	20	Казаков К.Е. ....	109
Зве Маунг Маунг ....	15	Казакова А.Н. ....	57
Зеленченков Н.С. ....	108	Казанцева А.И. ....	593
Зелепугин А.С. ....	96	Казеннов Д.С. ....	22
Зелепугин С.А. ....	96	Калинина М.В. ....	58
Зенин А.И. ....	397	Калпин Ю.Г. ....	163
Зечихин Б.С. ....	663	Камалетдинов Р.М. ....	341
Зинин А.В. ....	300, 304, 306, 308, 318, 319, 321, 322	Каменев А.В. ....	517
Зинин Ф.А. ....	184, 303	Каменский И.В. ....	583, 586
Золотов Д.В. ....	53	Каминская Е.В. ....	599
Зубакова Е.Г. ....	53	Камнев Е.А. ....	559
Зубеева Е.В. ....	25	Кан Ю.С. ....	462
Зубко И.Ю. ....	140, 146	Капырин Н.И. ....	218
Зубова Д.Д. ....	304, 321	Карагин Н.А. ....	631, 649
Зуев Л.Б. ....	292	Карасев Н.С. ....	618
Зуева К.С. ....	408	Карева Е.В. ....	632
Ибрагимов А.И. ....	94	Карлова П.В. ....	110
Иванов А.С. ....	621	Карпов А.М. ....	252
Иванов В.А. ....	187, 189, 191, 192	Карпухин Е.О. ....	536, 539
Иванов И.А. ....	307	Картуков А.В. ....	602, 603
Иванов Н.С. ....	651, 652, 666	Каспарова Е.А. ....	111
Иванова П.И. ....	571	Квашин В.М. ....	45, 348
Иванушкин Д.А. ....	340	Кейно П.П. ....	42, 43, 47, 51, 53, 55, 57, 58, 59, 61, 62, 66, 68, 69, 72, 74, 75, 76, 78, 79, 82, 332, 363
Иванченко Н.С. ....	410	Кижватова Н.В. ....	414
Ивашкин Я.Ю. ....	598, 600	Ким Л.Е. ....	415
Игнатенко А.В. ....	21	Киреев Д.К. ....	108
Игнатъев Т.И. ....	411		

Кириллов П.А. ....	281	Костюков В.М. ....	218, 639
Киселев В.К. ....	61	Костюшин К.В. ....	389
Киселев В.О. ....	597	Косяков Ю.Ю. ....	65
Кислуха А.Е. ....	28, 36	Котельникова Н.В. ....	118
Кишкель М.Л. ....	416	Котенко А.А. ....	219
Кишко Д.В. ....	537	Котенко А.П. ....	247
Клёнов Е.А. ....	417	Котлов Ю.В. ....	199, 412
Клименко М.Ю. ....	538	Котляр Д.И. ....	258
Климов К.Н. ....	494, 495	Кохановский А.А. ....	279, 419
Климова К.М. ....	382	Кочуров В.И. ....	119
Клычева М.В. ....	23	Кошелев Б.В. ....	631, 649
Клюев П.Н. ....	539	Кравченко А.Р. ....	220
Князева А.Г. ....	173	Кравченко Э.В. ....	343
Кобзарь В.А. ....	591, 593	Краснов А.М. ....	344
Кобзева И.Н. ....	666	Краснов С.Н. ....	526
Ковалев А.В. ....	62	Крашенинников К.Г. ....	420
Ковалев К.Л. ....	666	Кривенков В.С. ....	221
Ковалева Я.В. ....	22	Кривошеев С.П. ....	491
Коваленко Е.А. ....	308	Крикун Д.С. ....	497
Коваленко И.С. ....	414	Крикотин Д.А. ....	345
Коваленко О.А. ....	414	Крутиков П.В. ....	120
Кожанов М.А. ....	342	Крылов А.А. ....	310
Козлов. А.Ю. ....	24	Крынина Т.А. ....	346
Козорезова Е.Н. ....	25	Крючков А.Ю. ....	463
Кокшаров В.С. ....	112, 113	Крючков В.В. ....	671
Колесникова С.Ю. ....	115	Крючков В.Л. ....	10, 24, 26, 27, 40
Колмыков Р.Ю. ....	257	Крючкова Е.Н. ....	26, 27
Колотова Л.Н. ....	116	Кряжев П.А. ....	340
Комаров А.С. ....	64	Кудимов Н.Ф. ....	220, 470
Комарова И.Ю. ....	306	Кудрявцев П.С. ....	358
Кондратьев Н.С. ....	170	Кудрявцева И.А. ....	476
Кондратьева С.Г. ....	499	Кудряшова Н.Ю. ....	232
Кондрашов Д.А. ....	651	Кузин А.О. ....	122
Конов К.И. ....	511	Кузина Т.Г. ....	515
Коновалюк М.А. ....	558	Кузнецов А.Д. ....	265
Копылов А.А. ....	626	Кузнецов А.С. ....	547
Копылов И.А. ....	621	Кузнецов Г.Ю. ....	507
Коренчук К.Ю. ....	652	Кузнецов К.С. ....	525
Королев П.С. ....	307	Кузнецов С.А. ....	348
Корольский В.В. ....	117	Кузнецов С.В. ....	85
Короткова К.М. ....	501, 578	Кузнецов Ю.В. ....	560
Корчагина К.В. ....	392	Кузнецова А.В. ....	223
Корянов В.В. ....	193	Кузнецова К.И. ....	348
Косицын А.С. ....	546	Кузьмин Р.Э. ....	498
Косолапов А.В. ....	418	Кузьминский Д.Л. ....	93
Костиков Ю.А. ....	395, 437, 442, 453, 459, 627	Куклев К.И. ....	531
		Куксин А.Ю. ....	133

Кукушкин С.А.	160	Лосев А.М.	564
Кулагин Н.Е.	244	Лосев С.А.	256
Куликов Н.И.	657, 660	Лосяков Е.И.	621
Куликовский К.В.	675	Лошкарев А.А.	423
Купреев С.А.	183, 184, 185, 190	Лукашов А.А.	185
Купреев Ю.Ю.	421, 422	Лукиенко Л.В.	108
Куприянов А.И.	540	Лукьянов И.А.	311
Курдина С.П.	109	Лунева С.Ю.	465
Куренков И.Э.	123	Лущик А.В.	642
Курчавова А.Н.	28	Лысаковский С.В.	313
Курьяков С.В.	309	Льву Хай Нам	563
Кустов О.Ю.	124	Любецкая С.Н.	227
Кутергин А.В.	125	Любимова Н.А.	481
Кухтичев А.А.	417	Ляпунов Н.В.	223
Куц К.А.	633	Лясковский С.С.	424
Кучеева Е.А.	584	Магомедгаджиев А.М.	565, 566
Кучковский Ю.П.	126, 163	Мазуров П.Е.	659
Лабуторин И.Ю.	494, 495	Майков К.А.	387
Лавринович А.В.	655	Майоров А.А.	601
Лапин И.Н.	124	Майстренко Е.В.	579
Лапир М.А.	299, 301, 313, 317, 323	Макеев П.А.	352
Ларин С.Н.	120, 134, 181	Максимов Ю.В.	93
Латкина В.Г.	350	Малафеев С.И.	643, 661, 669
Ле Ба Чунг	351	Малиновский И.В.	425
Ле Дык Тиеп	672	Мальшева Г.В.	110
Лебедев И.М.	127	Мальшева М.С.	224, 225
Левин И.С.	128	Мальцев Н.А.	601, 604
Левченков Б.М.	619	Манжиров А.В.	109
Легенький Д.А.	310	Мануйлова М.А.	29
Легкодымов С.О.	260	Марин Д.В.	595
Ледовских Д.С.	129	Маркин А.А.	87
Ледяев М.Е.	130	Марков Ю.Е.	282
Лежанкин Б.В.	596	Маркова К.Ю.	426
Лелицак Василе	261	Мартемьянов В.К.	634
Леонова Е.В.	181	Мартиросов В.Е.	529, 570
Ли Ю.В.	292	Марченко А.Л.	237
Лидовский В.В.	46	Марьян А.Ю.	673
Лисенков А.В.	84	Маслова Д.В.	226
Лисов А.А.	394, 434	Масляева В.В.	427
Лисовенко Д.С.	88, 100, 107, 123, 131, 161, 171, 177	Матасов И.И.	134
Лобанов В.В.	598, 600	Маторин С.И.	392
Лобода П.С.	130	Матюшенко М.В.	622
Лоевец Д.А.	132	Машняга Н.А.	283
Локощенко А.М.	162	Машуков Е.В.	675
Ломанов А.Н.	258	Медведев С.В.	473
Лопаницына Н.Ю.	133	Мезин В.Р.	504
		Мельников А.С.	428

Мельников В.Ф. ....	257	Мусин О.И. ....	355
Мельниченко М.А. ....	623	Мусинянец Д.М. ....	421, 422
Мельничук А.В. ....	429	Мухаметшин Р.М. ....	186
Меркишин Г.В. ....	597, 598, 599, 600, 601, 602, 604	Мухутдинов Д.Ф. ....	639
Меркулов Г.А. ....	466, 636	Нагорнова Д.В. ....	228
Мерзьков А.Ю. ....	580	Нагорный А.А. ....	252
Меснянкин С.Ю. ....	105	Назаров А.В. ....	566
Микрюков А.О. ....	136	Назаров А.Н. ....	601, 602
Миннебаев М.Р. ....	652	Назметдинов А.З. ....	640
Мирошкин В.Л. ....	206, 245	Нанасян К.Л. ....	432
Мисютин Р.Ю. ....	663	Нарсудинов А.С. ....	284
Митрофанов С.Ю. ....	637	Науменко Ф.К. ....	433
Михайлов А.С. ....	638	Нафиков М.А. ....	626
Михайлов И.Е. ....	464	Нгуен Тхань Чунг. ....	351
Михайлова И.С. ....	30	НгуенТхань Шон. ....	647
Михайловский К.В. ....	384	Нелин И.В. ....	606
Михеев В.В. ....	638	Неметлаева Ю.С. ....	31
Михеюшкин В.И. ....	353	Ненахов Е.В. ....	224, 225
Михрютин А.В. ....	430	Неретин Е.С. ....	608, 610, 614, 616, 621, 625
Михрютин В.В. ....	430	Нестеров П.А. ....	103
Мишин А.С. ....	262	Неудакин А.А. ....	490, 493
Мишина А.В. ....	345	Нефёдов М.Е. ....	425
Мишустин И.А. ....	624	Никитин Д.А. ....	602, 604
Могильная Т.Ю. ....	251	Никитин Д.П. ....	535
Модестов С.Б. ....	633	Никитин И.С. ....	129
Можаров В.А. ....	21, 526	Никитин К.А. ....	652
Можегова Ю.Н. ....	86, 346, 350	Никитин Т.О. ....	356
Мокряков А.В. ....	62, 75, 197, 213, 224, 225, 236, 238, 279, 381, 386, 388, 390, 402, 403, 406, 410, 411, 414, 418, 419, 425, 426, 443, 444, 445, 448, 455, 460	Никифоров А.С. ....	89
Мокряков В.В. ....	92, 137	Николаев П.Л. ....	335, 343, 353, 357, 361, 364, 365, 370, 374
Молчанов А.М. ....	226	Никольская Л.В. ....	106
Молчанова В.О. ....	227	Новиков А.Ю. ....	68
Молчанова С.И. ....	261, 270, 281, 282, 285, 527	Новиков В.Е. ....	69
Мороз А.П. ....	534	Норошьян М.В. ....	32
Морозов А.А. ....	84	Носов А.С. ....	34
Морозов А.С. ....	66	Нужнов М.С. ....	562
Морозов И.В. ....	155	Нуруллина А.Р. ....	35
Морозов К.О. ....	398, 431	Овсянников О.И. ....	526
Морозов М.В. ....	354	Овчинников Е.И. ....	138
Морозов Н.Ф. ....	486	Овчинникова Е.В. ....	499, 500, 509
Мукаев Р.Ю. ....	461	Озерных В.С. ....	139
Муллов К.Д. ....	548	Окатыев Р.С. ....	140
		Оленина О.А. ....	36
		Онегин Е.Е. ....	469
		Опадчий Ю.Ф. ....	267, 396, 423, 446
		Орешкин Д.Н. ....	656

Орлов В.П.....	546, 548, 553, 576, 588
Осипова Т.В. ....	506
Осокин А.В. ....	231
Охотников Д.А.....	575, 581, 606
Охотников О.И.....	315
Павлов В.Ю.....	249, 250, 252, 254, 271
Павлов Е.А. ....	314
Павлов И.В. ....	70
Павлов П.В. ....	264
Павлова Н.В. ....	636, 646
Павлович Д.Д. ....	187
Павлюхин А.В. ....	434
Палка Н.П. ....	71
Палкин Д.Д. ....	141
Пальчиковский В.В. ....	124
Панков М.И. ....	300
Пантелеев А.В. ....	463, 468, 472
Панфилов Г.В.....	101, 143, 156, 167
Парамонов А.А. ....	229, 564
Парамонов А.В. ....	106
Пасисниченко М.А. ....	213
Патрикеев О.В. ....	512
Пахомов Е.В. ....	263
Пашенко А.А. ....	581
Пегачкова Е.А. ....	467
Пенкин В.Т. ....	658
Пеньков В.И. ....	186
Первой С.В. ....	358
Перепелкин В.В. ....	485
Перепечко С.В. ....	435
Переслегин Л.А. ....	540
Перминов Д.А. ....	143
Першин А.В. ....	290
Петров В.А. ....	642
Петров В.М. ....	208, 216, 239, 243
Петухов В.Г. ....	477
Пикунов Я.А. ....	315
Пимаков О.А. ....	360
Платонов В.И. ....	147
Поваляев П.П. ....	437
Подкорытов А.Н. ....	541
Поленов Д.Ю. ....	534
Полесский С.Н. ....	307
Полицына Е.В. ....	274, 275
Полужков С.П. ....	626
Полюян А.В. ....	231
Поляков Н.А. ....	393
Полянин А.И. ....	285
Полянский В.В. ....	355
Пономарёв Л.И. ....	501, 505, 578
Пономарёв С.В. ....	517
Пономарь Н.В. ....	643
Попельнюк И.А. ....	316
Попов И.П. ....	122
Попов Ф.Н. ....	264
Попов Ф.С. ....	144
Порохов В.В. ....	145
Посконин Р.В. ....	437
Постнов А.Н. ....	294, 298
Потапов А.О. ....	361
Потапов Д.С. ....	362
Правидло М.Н. ....	481
Преображенский Н.Б. ....	351, 624
Привалов Д.М. ....	317
Приходько Д.И. ....	438
Приходько М.В. ....	363
Пронин А.С. ....	452
Пронин О.Б. ....	285
Прохоров П.Д. ....	630
Прохорова Е.П. ....	35
Проценко А.А. ....	644
Проценко С.Д. ....	72
Прудников И.Л. ....	599, 601, 603
Пташевская Е.В. ....	477
Пунтус А.А. ....	470, 477
Путилин А.Н. ....	514
Пышненко А.В. ....	504
Пятницкий Н.С. ....	73
Радченко В.П. ....	97, 168
Разбаш Р.В. ....	439
Разуваев И.Д. ....	265
Рассказова В.А. ....	203
Рассохин С.А. ....	388
Расторгуев В.В. ....	595, 603
Расулова Ф.М. ....	189
Резников А.А. ....	441
Резников С.Б. ....	655
Родионов Я.В. ....	626
Родионова А.И. ....	190
Родионова Д.А. ....	468
Романенко В.А. ....	31
Романенко Е.В. ....	426



Романенков А.М. ....	70, 71, 201, 208, 209, 217, 229, 240, 242, 243, 269, 395, 398, 399, 415, 416, 424, 431, 435, 451, 452, 457	Северюхина О.Ю. ....	153
Романов А.А. ....	582	Седова Т.С. ....	484
Романов Н.А. ....	232	Селуков Д.Г. ....	154
Романов Н.С. ....	146	Семенihin В.С. ....	666
Романов П.В. ....	147	Семенов Д.С. ....	660
Романова В.А. ....	176	Семенча М.В. ....	649
Романова О.В. ....	233	Семерич Ю.С. ....	214, 233, 235
Рубинов В.И. ....	260	Сенаторова Е.О. ....	38
Рубцов Е.А. ....	617	Серёгин С.В. ....	286
Рузанов А.М. ....	74	Серенко А.В. ....	645
Румачик М.М. ....	148	Серкин Ф.Б. ....	542
Румянцев Д.С. ....	471	Сибгатулин М.Р. ....	368
Руснак А.В. ....	505	Сидорина И.Ю. ....	236
Руснак В.И. ....	465	Сидоров А.А. ....	223, 474
Рухлов Н.А. ....	470	Сидоров А.Э. ....	419
Ручинская Е.В. ....	191	Сидоров С.В. ....	599
Ручинская Л.В. ....	192	Сизов М.В. ....	662
Ручинский В.С. ....	191, 192	Сизякова А.Ю. ....	563
Рыбников С.И. ....	637, 647	Силаева Т.А. ....	608
Рыжков Д.А. ....	645	Силуянов А.В. ....	59, 64, 73, 345
Рысаева Л.Х. ....	149	Силуянова М.В. ....	55, 373
Рябов Д.А. ....	364	Симонов А.В. ....	586
Рязанцев Л.Б. ....	585	Синцова Е.В. ....	318
Саблинский Д.А. ....	603	Сирота Я.Р. ....	591
Савельев Л.М. ....	293	Скворцов Р.В. ....	550
Савилкин С.Б. ....	506	Скидченко В.Ю. ....	110
Савкин Л.В. ....	590	Скляров Н.А. ....	442
Сажин Д.С. ....	365	Скородумов С.В. ....	417
Сазонова А.С. ....	441	Скрипняк В.А. ....	165, 166
Сакалюк Е.Г. ....	627	Слесаренок С.В. ....	644
Салангин Ю.А. ....	267	Слободчиков Н.А. ....	657
Саломатов А.Ю. ....	90	Смерчинская С.О. ....	482, 484
Сальников Д.В. ....	235	Смеюха А.В. ....	646
Самипур С.А. ....	150	Смирнова Д.Е. ....	155
Самсоненко А.С. ....	366	Смирнова К.П. ....	237, 620
Сапронов Д.И. ....	583	Смирнова Л.Л. ....	117
Саратовский Н.В. ....	549	Смирнова М.А. ....	238
Сафин А.А. ....	228	Смолин И.Д. ....	567
Сафронов Е.И. ....	37	Сморозин Ф.К. ....	40
Сафронов Е.С. ....	151	Снастин М.В. ....	504
Свердлов Б.Г. ....	569, 581	Снегирева В.А. ....	239
Свечников Р.В. ....	152	Снопко К.А. ....	524
Сдобнов А.Г. ....	280	Соболев И.Г. ....	287
Северюхин А.В. ....	153	Сова А.Н. ....	34
		Советников В.А. ....	443
		Сокова Е.А. ....	39
		Соколов Н.А. ....	183

Соколов О.А.	571	Терентьев М.Н.	276, 382
Соловьёв А.В.	665	Терновский В.В.	620
Соловьёв А.С.	486	Терновский В.Б.	438, 620
Соломатин Д.Н.	601	Теряева О.В.	605
Соломинов В.М.	240	Тимофеев А.С.	514
Соломон Т.А.	444, 445	Типалин С.А.	103, 126, 163
Соляев Ю.О.	99	Титов А.А.	405
Сорокин Д.А.	668	Титов П.В.	370
Сорокин М.С.	268	Тихонов Е.Ю.	521
Старенченко А.В.	550	Ткачева А.В.	180
Стариков С.В.	116, 169	Ткаченко М.В.	388
Старчаус И.С.	75	Токарев В.Л.	522
Степанников А.М.	550	Топорков А.Г.	193
Степанов А.В.	196	Травников М.В.	452
Степнов М.Н.	303	Третьяков В.А.	568
Стратула Б.А.	241	Трофимов Д.В.	558
Стрекаловский А.А.	446	Трофимушкин А.С.	242, 399
Струнина Ю.Ф.	447	Трунов Е.А.	453
Ступенко И.Ю.	369	Трусов К.А.	164
Ступин Д.А.	156	Трусов П.В.	144, 170, 174
Субботин П.В.	601, 604	Труфанов С.В.	491, 514
Суворова А.А.	448	Тулинова Е.Е.	666
Судаков В.А.	429	Тумаков Е.А.	94
Судаков И.А.	113	Тышов Н.В.	455
Суздальцев И.В.	341, 352, 356	Урюпин И.В.	475
Сулейманова И.Р.	158	Утяшев Э.Э.	288
Суменков А.Л.	95	Ушкар М.Н.	545, 550
Сурин В.И.	84	Фам Ван Винь	500
Суслов А.А.	40	Фам Вьет Ань	552
Сухарев А.С.	449	Фам Туан Ань	647
Сухов Д.Ю.	451	Фатов Ф.М.	491
Сучков А.В.	487	Федоров А.Ю.	165, 166
Сылко С.С.	452	Федоров В.К.	8, 12, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 26, 27, 37
Сырейщикова Н.В.	447	Федоров М.И.	269
Сыренова Э.Л.	584	Федотенков Г.В.	295
Сычев М.И.	580	Федотова Г.Д.	165, 166
Табан И.И.	551	Федулов А.Н.	319
Тарасенко С.С.	76	Фенько А.В.	270
Татарский Б.Г.	577, 582, 587	Феоктистова Е.В.	321
Татусь Н.А.	148	Феоктистова Е.С.	304
Телешов А.В.	588	Филатова Д.В.	221
Тельканов М.А.	159	Филимонов А.Б.	409
Телятник Р.С.	160	Филимонов Н.С.	81
Темников А.А.	405	Филимонова Д.В.	561
Темченко В.С.	507	Филиппенков П.Н.	271
Тептеева Е.С.	161	Филиппова И.О.	464
Терауд В.В.	162		

Филонов П.В. ....	478
Фомин А.И. ....	537
Фомичев В.А. ....	252, 272, 286, 393
Фомичева Д.А. ....	167
Фролова А.А. ....	31
Фукалов А.А. ....	125, 141
Хаймович И.Н. ....	115
Хайруллина Л.Р. ....	40
Халина А.С. ....	648
Хамидуллин А.Ш. ....	290
Харалгин С.В. ....	503
Харитоненков А.И. ....	327, 340, 371
Харламов А.Н. ....	597
Хасаева Д.З. ....	456
Хахулин Г.Ф. ....	611
Хлебникова А.И. ....	372
Ходоровский А.З. ....	565
Холощак В.В. ....	479
Хомутская О.В. ....	13
Хордилов А.Э. ....	95
Хорошко А.Л. ....	336, 373
Хорошко Л.Л. ....	336, 338, 344, 354, 357, 362, 371, 377
Хорьяков И.В. ....	77
Храпин С.Н. ....	78
Хроменко А.М. ....	243
Хрусталеv М.М. ....	648
Хрусталеv М.М. ....	469, 471
Хрущов М.М. ....	128
Царьков К.А. ....	471
Цветков В.В. ....	168
Цветков О.А. ....	272
Цепляев В.И. ....	169
Цимбал А.А. ....	79
Цурков В.И. ....	213
Цыганов А.А. ....	221
Цыпкайкина Е.С. ....	244
Цырков А.В. ....	378, 619
Цырков Г.А. ....	331, 333, 337, 342, 348
Частоедов В.А. ....	170
Чвёрткин А.Г. ....	29
Чеберяко А.С. ....	553
Чебурахин И.Ф. ....	202, 211, 238
Чеглаков И.Н. ....	81
Челпанов А.В. ....	278
Ченцов А.В. ....	137, 171, 177
Чепак-Гизбрехт М.В. ....	173
Черевиченко А.В. ....	402, 403
Черевко А.Р. ....	119
Черкай А.Д. ....	196, 210, 405, 428
Чермошенцев С.Ф. ....	330
Чернов А.В. ....	245
Чернова Т.А. ....	404, 408, 433, 437, 609
Черноморский А.И. ....	638
Чернышевский А.Н. ....	374
Чернятович Е.А. ....	117
Черский А.С. ....	375
Чеусов С.С. ....	554
Чечулина Е.А. ....	174
Чибисова Е.В. ....	49, 53
Чижиков А.С. ....	377
Чиркин В.Г. ....	654
Чиров А.А. ....	480
Чолик А.А. ....	246
Чукарин М.И. ....	380
Чумакова Е.В. ....	383, 427, 432
Чурдалева Т.И. ....	556
Шабанов А.П. ....	175
Шаврин К.А. ....	457
Шакиртов М.М. ....	175
Шаламова Ю.А. ....	512
Шальнов С.А. ....	128
Шариковт Д.В. ....	437
Шарипов А.А. ....	358
Шароди М.А. ....	515
Шатыло И.В. ....	637
Шахиджанов В.С. ....	176
Шахиджанова Н.О. ....	176
Швец С.В. ....	491, 514, 515
Шевгунов Т.Я. ....	560, 561
Шевкунов М.А. ....	458
Шеволдаев Д.А. ....	377
Шевченко А.В. ....	494, 495
Шивцова А.В. ....	120
Шило А.А. ....	597
Ширинский С.В. ....	654, 656
Широкий А.С. ....	585
Шишкин Г.Г. ....	528
Шкиря И.А. ....	543
Шлык А.И. ....	512
Шляпугин А.Г. ....	158
Шмачилин П.А. ....	509

Шмелев Д.С.....	322	Эзенкин И.А.....	324
Шнейдерман Д.А. ....	670	Юдин В.В. ....	38
Шпаков А.С.....	482	Юдин В.Н. ....	559, 589
Штанников Е.П.....	459	Юдина Ю.Ю. ....	630
Шуваев И.Н.....	649	Юнисов Р.Н.....	325
Шумаков И.Ю. ....	460	Юнусова В.С.....	573
Шумилов Т.Ю. ....	513	Юсупова Л.И.....	461
Шустров В.В. ....	378	Яковлев В.С. ....	90
Шушков А.А. ....	176	Яковлев С.С. ....	181
Шушпанников П.С. ....	111, 127, 177, 178	Якубов В.П. ....	517
Щербаков В.И. ....	152	Якушин Р.Р. ....	444, 445
Щербаков М.С. ....	247	Ярмухаметов Ф.Ф.....	82
Щербакова М.И. ....	323	Ясенцев Д.А. ....	587
Щербатюк Г.А.....	180	Ястребов А.К. ....	474
Щетинин В.Е.....	667	Яценко С.Ю. ....	529
		Яшунин А.М. ....	606

ISBN 978-5-90363-071-4



*Научное издание*

**Гагаринские чтения – 2016**  
**XLII Международная научная молодёжная конференция**

Сборник тезисов докладов конференции

Том 1

Контакты:

*Некрасова Раиса Галеевна*  
+7 499 158-16-97

*Долгова Маргарита Игоревна*  
+7 499 141-95-01

[gagarin.mai@gmail.com](mailto:gagarin.mai@gmail.com)  
[www.mai.ru/conf/gagarin/](http://www.mai.ru/conf/gagarin/)

Оформление обложки:  
*И.Я. Волкова*

Вёрстка:  
*М.И. Бартнев*  
*Р.Г. Некрасова*

Гигиенический сертификат № 515204 от 28.06.2014

Подписано в печать 30.03.2016

Формат 60x90 1/16

Гарнитура Times New Roman

Печать цифровая. Усл. печ. л. 43,125

Тираж 355 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета  
в издательстве «Каллиграф»