

Е.А. Микрин

БОРТОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных
заведений, обучающихся по направлению подготовки 161100
«Системы управления движением и навигация»*

 **ИЗДАТЕЛЬСТВО**
МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

Москва
2014

УДК 629.7.05

ББК 39.62

М59

Рецензенты:

кафедра «Управление движением» МФТИ
(заведующий кафедрой академик РАН *В.П. Легостаев*);
генеральный директор ГНЦ ФГУП ГосНИИАС, заведующий кафедрой
«Системы автоматического и интеллектуального управления» МАИ
(национального исследовательского университета)
член-корреспондент РАН *С.Ю. Желтов*

Микрин, Е. А.

М59 Бортовые комплексы управления космических аппаратов : учебное пособие /Е. А. Микрин. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 245, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-3983-6

Изложены методология и средства создания бортовых комплексов управления современных космических аппаратов. Представлены структура и состав бортового комплекса управления, а также описание его составных частей, методология модульного проектирования структуры программного и информационного обеспечения бортовых комплексов управления.

Показана технология разработки и отработки программного обеспечения систем управления космических аппаратов.

Содержание данного пособия соответствует курсу лекций, читаемому автором в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре «Системы автоматического управления».

Для студентов старших курсов, аспирантов соответствующих специальностей, полезно также научно-техническим работникам, занимающимся созданием и эксплуатацией систем управления космических аппаратов, и специалистам по вычислительным системам и комплексам, информатике и программному обеспечению информационно-управляющих систем.

УДК 629.7.05

ББК 39.62

ISBN 978-5-7038-3983-6

© Микрин Е. А., 2014

© Оформление. Издательство МГТУ
им. Н.Э. Баумана, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Космическая эра, начавшаяся запуском первого искусственного спутника Земли, характеризуется не только выдающимися успехами человечества в деле изучения и освоения космического пространства, но и возникновением и развитием новых направлений науки, техники, промышленности, без которых эти успехи были бы невозможны. Одним из таких направлений является теория управления космическими аппаратами.

Начиная с проектирования самых первых космических аппаратов и кораблей, система управления движением относилась к числу важнейших бортовых систем, и ее роль увеличивалась по мере роста возлагаемых на нее функций.

Ввиду особой важности систем управления С.П. Королёв в конце 1950-х гг. привлек к их созданию выдающихся ученых академиков — М.В. Келдыша, Б.Н. Петрова, Б.В. Раушенбаха, Б.Е. Чертока, В.П. Легостаева, ставших основоположниками теории управления движением космических аппаратов.

Успешное развитие технических средств, в первую очередь бортовых вычислительных машин, привело к значительной модернизации систем управления и к существенному расширению их возможностей при одновременном повышении качества работы этих систем.

Применение вычислительных средств позволило перейти к системам управления на основе корректируемых бескарданных инерциальных систем и построения управления по схеме динамической фильтрации. Моделирование процесса движения дало возможность развивать диагностические и адаптационные свойства управления, что в свою очередь позволило существенно повысить тактико-технические характеристики космического аппарата.

Создание долговременных орбитальных станций потребовало существенной модернизации комплекса средств управления и

дальнейшей разработки их методических основ. Помимо жестко детерминированных алгоритмов управления программное обеспечение бортовой цифровой вычислительной системы содержало гибконастраиваемые компоненты программно-временного управления и развитые диагностические средства, позволявшие накапливать статистику отказов и учитывать ее в алгоритмах управления конфигурацией бортовых систем.

Крупной вехой в создании интегрированных систем управления космических аппаратов на базе бортовых вычислительных систем стала созданная на рубеже XX и XXI вв. Международная космическая станция, объединяющая системы управления Российского и Американского сегментов.

Для создания современных космических аппаратов и кораблей потребовался новый комплексный подход к разработке их систем управления, в основу которого были положены следующие основные принципы и требования: максимальная автоматизация процессов управления, максимальная автономность и модифицируемость системы, гибкость управления по командной радиолинии, комплексирование различных функций управления в рамках общей задачи управления полетом. Реализовать все перечисленные задачи удалось за счет объединения основных систем космических аппаратов, таких как бортовая цифровая вычислительная система, система управления движением и навигацией, система управления бортовым комплексом, бортовой радиотехнический комплекс, система бортовых измерений, а также программного обеспечения в единый бортовой комплекс управления.

Обобщением результатов многолетних научных исследований и опыта практического применения, а также совершенствования методов проектирования и эксплуатации бортовых комплексов управления космических аппаратов стал цикл работ под общим названием «Модели и методы проектирования информационно-управляющих систем реального времени Космических аппаратов», созданный автором совместно с доктором технических наук, профессором В.В. Кульбой, доктором технических наук, профессором Б.В. Павловым и доктором технических наук, профессором В.Н. Платоновым в 2002–2006 гг.

Помимо многочисленных публикаций в основу этого цикла работ был положен курс лекций «Бортовые комплексы управления и их программное обеспечение» и одноименный учебник, написан-

ный автором для подготовки студентов кафедры «Системы автоматического управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2003 г. В нем впервые на примере создания модулей Российского сегмента Международной космической станции и автоматических космических аппаратов была представлена формализованная технология разработки и отработки программного обеспечения бортовых комплексов управления.

Для преподавания учебных дисциплин, связанных с разработкой систем управления летательных аппаратов, возникла необходимость создания нового учебного пособия (в дополнение к предыдущему), в котором на основе опыта создания цифровых систем управления для новых модулей Российского сегмента МКС, современных автоматических космических аппаратов разного класса и назначения, грузовых кораблей «Прогресс М-01М» и транспортных кораблей «Союз ТМА-М» были бы обобщены, систематизированы и дополнены материалы по ключевым системам бортовых комплексов управления, что, по мнению автора, является весьма актуальным.

Это учебное пособие должно стать первым в цикле учебников, посвященных вопросам управления в технических системах.

При написании книги были использованы работы следующих сотрудников РКК «Энергия» имени С.П. Королева: И.В. Орловского, С.И. Гусева, В.Н. Платонова, В.А. Гаршина, Н.К. Беренова, Г.П. Погорельца, И.О. Воронина, Ю.Н. Борисенко, С.Н. Евдокимова, А.В. Богачева, С.Н. Тимакова, Н.Е. Зубова, И.В. Дунаевой, М.В. Михайлова, С.А. Емельянова, Р.А. Панова, Д.Ю. Самсонова, Б.Ф. Рядинского и других, а также лекции, читавшиеся автором студентам МГТУ им. Н.Э. Баумана и МФТИ.

Учебное пособие состоит из трех глав. Первая глава содержит результаты анализа процессов проектирования бортовых комплексов управления для разных типов космических аппаратов. В ней сформулирована концепция построения, определены задачи, структура и состав БКУ.

Как основное интегрирующее звено БКУ, представлена бортовая цифровая вычислительная система, основные характеристики компьютеров, входящих в ее состав на Международной космической станции, транспортных кораблях «Союз» и «Прогресс», автоматических космических аппаратах.

Представлены три контура — кинематический, навигационный и динамический — функционального решения задач системы управления движением и навигации, а также внешний вид и основные характеристики датчиковой аппаратуры исполнительных органов этой системы.

На примере пилотируемых космических аппаратов приведены результаты разработки режимов системы управления движением и навигации орбитального участка полета, сближения и стыковки, спуска в атмосфере.

Показано, что программное обеспечение сформировалось как отдельный, ключевой компонент бортовых комплексов управления космических аппаратов.

Вторая глава учебника посвящена вопросам проектирования программного обеспечения бортовых комплексов управления космических аппаратов. Здесь представлено описание структуры программного обеспечения на примере Российского сегмента Международной космической станции, рассмотрены особенности создания, методология модульного проектирования архитектуры и структурного проектирования его компонентов, содержатся материалы об операционных системах, используемых при создании программных средств БКУ.

В третьей главе дано описание концепции комплексной разработки и испытаний программного обеспечения бортовых комплексов управления космических аппаратов на основе методологии ранней функциональной интеграции и сценарного подхода, а также структура и состав наземного комплекса отработки программного обеспечения.

Сформулирована задача выбора оптимальной стратегии реализации сценария комплексной отладки программного обеспечения бортовых комплексов управления космических аппаратов, определяющая состав и последовательность отлаживаемых подструктур комплекса программ и обеспечивающая оптимизацию показателей качества. Рассмотрены общие принципы построения, структура и состав наземного комплекса отработки программного обеспечения бортовых комплексов управления для различных типов космических аппаратов с использованием стендов имитационного моделирования на разных этапах жизненного цикла разработки, отработки и сопровождения бортовых комплексов управления космических аппаратов.

В приложениях рассмотрены вопросы, связанные с орбитальным движением (законы Кеплера и типы орбит); описаны три основные группы кинематических параметров (углы Эйлера и Крылова, элементы матрицы направляющих косинусов, компоненты кватерниона), а также связь этих параметров; представлены основные базовые системы координат, используемые в системе управления движением космических аппаратов.

Сведения, приведенные в приложениях, использованы в основном в первой главе, однако они могут использоваться и как самостоятельные данные.

Автор выражает благодарность президенту МГТУ им. Н.Э. Баумана академику РАН И.Б. Федорову и ректору МГТУ им. Н.Э. Баумана профессору, доктору технических наук А.А. Александрову за содействие в издании и решении организационных вопросов.

Отдельную благодарность автор выражает доценту кафедры «Системы автоматического управления» И.В. Дунаевой за помощь при подготовке рукописи.

Автор также благодарит за помощь в создании книги коллег: сотрудников РКК «Энергия» имени С.П. Королёва, кафедры «Системы автоматического управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана и лично академика РАН В.П. Легостаева, члена-корреспондента РАН С.Ю. Желтова, кандидата технических наук, профессора В.В. Зеленцова за внимательное отношение к книге и за рекомендации, сделанные при обсуждении рукописи, следование которым позволило улучшить данное учебное пособие.

Автор надеется, что учебное пособие окажется полезным не только студентам старших курсов и аспирантам соответствующих специальностей, но и специалистам по системам управления космических аппаратов, вычислительным системам и комплексам, а также информатике и программному обеспечению информационно-управляющих систем и для всех интересующихся вышеперечисленными дисциплинами.

СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АРМ	— автоматизированное рабочее место
АКА	— автоматический космический аппарат
АС	— Американский сегмент
АСН	— аппаратура спутниковой навигации
АСС	— аппаратура сбора сообщений
БИНС	— бесплатформенная инерциально-навигационная система
БИТС	— информационная телеметрическая система
БИТС 2-12	— бортовая информационно-телеметрическая система (радиотелеметрическая система)
БИТС	— подсистема выдачи данных БИТС 2-12
ПВД	
БИТС	— подсистема приема массивов БИТС 2-12
ППМ	
БКУ	— бортовой комплекс управления
БРТК	— бортовой радиотехнический комплекс
БС	— бортовая система
БСК	— блок силовой коммутации
БУБК	— блок управления бортовым комплексом
БЦВМ	— бортовая цифровая вычислительная машина в составе БЦВС
БЦВС	— бортовая цифровая вычислительная система
ГИВУС	— гироскопический измеритель вектора угловой скорости
ГСК	— гринвичская система координат

ДО	— двигатель ориентации
ДОС	— долговременная орбитальная станция
ДПО	— двигатели перемещения и ориентации
ДУ	— двигательная установка
ЕКА	— Европейское космическое агентство
ЗУ	— запоминающее устройство
ИД	— исходные данные
ИКВ	— инфракрасная вертикаль
ИИО	— инерционные исполнительные органы
ИО	— информационное обеспечение
ИСЗ	— искусственный спутник Земли
ИСК	— инерциальная система координат
ИТС	— информационно-телеметрическая система
ИУС	— информационно-управляющая система
КА	— космический аппарат
КД	— корректирующие двигатели
КПИ	— командно-программная информация
КПО	— компонент программного обеспечения
КС	— комплексный стенд
КСК	— контроллер сетевых каналов
КСР	— коммутатор согласующих регистров
КУ	— команда управления
КЦП	— компьютер центрального поста
ЛКИ	— лётно-конструкторские испытания
МДМ	— мультиплексор-демультиплексор
МИМ 1	— малый исследовательский модуль 1 («Рассвет»)
МИМ 2	— малый исследовательский модуль 2 («Поиск»)
МЛМ	— многоцелевой лабораторный модуль («Наука»)
МКО	— мультиплексный канал обмена (шина данных)

ММ	— математические модели
НА	— наземная аппаратура
НИО	— наземное испытательное оборудование
НИП	— наземный измерительный пункт
НКО	— наземный комплекс обработки
НКУ	— наземный комплекс управления
НШС	— нештатная ситуация
ОДУ	— объединенная двигательная установка
ОЗУ	— оперативное запоминающее устройство
ОНА	— остронаправленная антенна
ОС	— операционная система
ОСК	— орбитальная система координат
ОСРВ	— операционная система реального времени
ОТР	— организационно-техническое решение
ПЗУ	— программное запоминающее устройство
ПК	— программный компонент
ПМ	— программный модуль
ПМИ	— программа и методика испытаний
ПО	— программное обеспечение
ПРМ	— приемное устройство (с модуляцией)
ПСИ	— приемо-сдаточные испытания
ПСК	— приборная система координат
РВ	— реальное время
РК	— релейная команда
РКТ	— ракетно-космическая техника
РМ	— рабочее место
РС	— Российский сегмент
РСУС	— радиотехническая система управления и связи
САПР	— система автоматизированного проектирования

СА	— спускаемый аппарат
СБ	— солнечная батарея
СБИ	— система бортовых измерений
СМ	— служебный модуль («Звезда»)
СО	— стыковочный отсек («Пирс»)
СОГС	— система обеспечения газового состава
СОД РВ	— система обработки данных реального времени
СОЖ	— система обеспечения жизнедеятельности
СОТР	— система обеспечения температурного режима
СПО	— специальное программное обеспечение
СР	— спутник-ретранслятор
СТИ	— система телеметрических измерений
СТТС	— система телефонно-телеграфной связи
СУБА	— система управления бортовой аппаратурой
СУБД	— система управления базой данных
СУБК	— система управления бортовым комплексом
СУДН	— система управления движением и навигации
СУС	— система управления спуском
СЭС	— система энергоснабжения
ТВМ	— терминальная вычислительная машина
ТВС	— телевизионная система
ТВУ	— терминальное вычислительное устройство
ТГК	— транспортный грузовой корабль
ТЗ	— техническое задание
ТЛФ	— телефония
ТМ	— телеметрия
ТМИ	— телеметрическая информация
УС	— устройство сопряжения
ФГБ	— функционально-грузовой блок («Заря»)

ФМ	— функциональный модуль
ЦВМ	— центральная вычислительная машина
ЦПК	— Центр подготовки космонавтов
ЦУП	— Центр управления полетами
ЦУП-М	— Центр управления полетами в Москве
ЦУП-Х	— Центр управления полетами в Хьюстоне
ЭКПО	— элемент конфигурации программного обеспечения
ЭП	— эскизный проект
ЭРИ	— электрорадиоизделия
AL	— прикладной уровень для хранения, обработки и использования программ пользователя / уровень прикладных программ
ATV	— Европейский автоматический транспортный корабль
AVI	— уровень интерфейса по шинам 1553В (уровень управления вводом/выводом информации)
C&C	— центральная ВМ Американского сегмента и станции в целом
CCSDS	— консультативный комитет по космическим системам данных
CMG	— американские силовые гироскопы
ESA	— Европейское космическое агентство
FML	— уровень управления голосованием и обработкой отказов
FTC	— устойчивый к отказам компьютер (ЦВМ и ТВМ СМ)
GNC	— Терминальная ВМ Американского сегмента, выполняющая задачи СУДН
MDM	— мультиплексор/демультиплексор (БЦВМ)
NASA	— Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического пространства
RT	— удаленный терминал

Глава 1

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Понятие и концепция построения бортовых комплексов управления (БКУ) разрабатывались исходя из требований системного подхода к проектированию бортовых средств управления и контроля и реальной практики управления полетом космических аппаратов (КА) различного класса и назначения. С усложнением средств управления и контроля, выделением подсистем разного функционального назначения возникла потребность в едином подходе к таким вопросам проектирования и эксплуатации, как:

- унификация взаимодействия с многочисленными потребителями

- управляющей и контрольно-диагностической информации;

- рациональное сочетание централизованных

- и децентрализованных средств управления и контроля;

- организация локальных и автономных контуров управления;

- стандартизация каналов и протоколов обмена информацией;

- создание, отработка и верификация программного обеспечения.

Содержание понятия «бортовой комплекс управления» и концепция его построения со временем менялись.

На этапе проектирования первых космических аппаратов каждая задача решалась автономной работой отдельной системы, содержащей свою датчиковую аппаратуру, исполнительные органы, автоматику управления.

Концепция построения БКУ на первых этапах предусматривала проектную идеологическую увязку общих вопросов управления, распределения задач управления, разграничение функций, формирова-

Информация в кадровом и пакетном заголовках позволяет принимающей системе выделять пакеты и их содержимое стандартным алгоритмом.

Подводя итоги, следует отметить преимущества пакетной передачи данных — возможность в рамках одного канала передавать различную по своей природе информацию и гибкий выбор передаваемой информации, что позволяет увеличить ее информативность.

Основной недостаток систем пакетной передачи данных — сокращение полезной информативности за счет введения дополнительной служебной информации при передаче данных, однако высокая скорость передачи данных современных радиосистем делает этот недостаток не критичным.

Контрольные вопросы

1. Что такое космический аппарат? Перечислите известные вам типы.
2. Дайте определение бортовых комплексов управления, перечислите их основные задачи. Какова структура и что входит в состав БКУ?
3. Что такое жизненный цикл создания БКУ? Назовите основные технические решения, применяемые при разработке БКУ.
4. Каково распределение функций управления между БКУ и бортовыми системами? Перечислите основные характеристики внутренних и внешних интерфейсов БКУ.
5. Какие вы знаете основные контуры управления БКУ? Что такое режим управления БКУ? Перечислите основные режимы управления КА на примере БКУ Российского сегмента МКС.
6. Что такое бортовая вычислительная система? Перечислите ее основные функции. Какова структура и что входит в состав БЦВС?
7. Что представляет собой сетевая структура БЦВС?
8. Какова структура и что входит в состав аппаратных средств БЦВМ? Перечислите основные виды конструкций БЦВМ.
9. Каковы методы обеспечения надежности БЦВС и БЦВМ?
10. Перечислите основные требования к характеристикам БЦВС и БЦВМ.
11. Какие существуют методы эксплуатации и сопровождения БЦВС и БЦВМ?
12. Что такое система управления движением и навигации? Перечислите ее задачи. Какова структура и что входит в состав СУДН?
13. Какие принципы лежат в основе построения современных СУДН. Что такое БИНС? Как устроено аппаратное и программное обеспечение БИНС? Перечислите основные характеристики датчиков БИНС.

14. Какие приборы ориентации использует СУДН? Перечислите их основные характеристики.

15. Перечислите основные характеристики аппаратуры спутниковой навигации (АСН).

16. Какие бывают контуры СУДН? Перечислите основные системы координат, применяемые в СУДН.

17. Какие вы знаете режимы СУДН?

18. Какие параметры управления угловым движением КА вам известны? Что такое кватернион?

19. Что такое орбитальное движение КА? Какие законы Кеплера вы знаете? Какие типы орбит КА вы знаете?

20. Как осуществляется управление движением и стыковкой космического корабля? Перечислите основные этапы сближения КА. Что такое «быстрая» схема сближения?

21. Как производится спуск КА в атмосфере? Перечислите основные фазы штатного спуска. Как реализуется режим спуска КА (на основании структурной схемы)? Что такое парашютная система?

22. Что такое система управления бортовым комплексом (СУБК)? Перечислите ее задачи. Какова структура и что входит в состав СУБК? Назовите особенности реализации СУБК для разных видов КА.

23. Нарисуйте структурную схему распределения электропитания. Какие существуют методы распределения электропитания для различных видов КА?

24. Перечислите режимы функционирования СУБК. Назовите основные технические решения построения СУБК.

25. Что такое аппаратное обеспечение СУБК и как его унифицировать?

26. В чем суть построения СУБК на основе блоков управления бортовым комплексом? Перечислите технические характеристики конструкции блоков БУБК.

27. Что такое бортовой радиотехнический комплекс? Перечислите его задачи. Какова структура и что входит в состав БРТК?

28. Перечислите характеристики БРТК. Назовите общие требования к характеристикам БРТК.

29. Что такое система бортовых измерений? Каковы ее задачи, структура и состав?

30. Какие существуют методы и средства передачи данных в БКУ? В чем суть применения стандарта CCSDS в БРТК?

Глава 2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ

Эффективность и качество функционирования бортовых комплексов управления в значительной мере определяется соответствующими характеристиками программного обеспечения, предназначенного для автоматизации всего комплекса задач обработки данных и управления, решаемых в автоматическом режиме по инициативе наземного комплекса управления и экипажа.

Взаимодействие программного обеспечения БКУ с физическим оборудованием в реальном времени непосредственно в контурах управления сложно протекающими необратимыми процессами в основных режимах работы КА предопределяет предельно жесткие требования к качеству его проектирования и отладки и высокую трудоемкость. Результатом является существование критической зависимости качества, сроков и стоимости БКУ в целом от соответствующих характеристик ПО. Основным направлением решения этой проблемы является использование адекватной технологии проектирования, разработки и испытаний ПО БКУ.

2.1. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БКУ НА БАЗЕ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Для проектирования и разработки программного обеспечения БКУ КА используют аппарат формализации анализа и синтеза систем обработки данных реального времени (СОД РВ). В табл. 2.1

выполнение операции по загрузке/разгрузке и старту микросхем МКО в соответствии с профилем МКО и наличием требований на проведение обмена;
обработка прерываний МКО;
анализ сбоев при выполнении обмена, установка/сброс готовностей и формирование массивов пользователей.

Программный компонент «Служба времени» выполняет следующие функции:

коррекции бортового времени по бортовой шкале времени и GPS от АСН;
обеспечение пролонгирования значения бортового времени по бортовой шкале времени и GPS в отсутствие уставочной информации от АСН;
реализацию процедуры синхронизации вычислительного такта пассивных и активной ЦВМ.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности разработки программного обеспечения БКУ? Что такое системы обработки данных реального времени?
2. Каковы основные принципы модульного и структурного проектирования программного обеспечения БКУ КА?
3. Перечислите этапы жизненного цикла создания программного обеспечения БКУ.
4. Что такое ГОСТ ЕСПД? Перечислите его основные положения. Какая используется документация на программное обеспечение БКУ, разрабатываемое в соответствии с ГОСТ?
5. Что такое операционные системы реального времени? Назовите их основные характеристики. Как ОСРВ применяют при создании программного обеспечения БКУ КА?
6. Назовите особенности разработки программного обеспечения БКУ КА на примере программного обеспечения Служебного модуля Российского сегмента МКС. Какова структура и что входит в состав программного обеспечения БКУ?
7. Что такое иерархические уровни программного обеспечения БКУ? Что такое функциональное и служебное программное обеспечение и чем они отличаются?

Глава 3

СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ ОТРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ

Центральное место в технологии создания программного обеспечения БКУ КА занимают вопросы отработки и испытаний с использованием стендов имитационного моделирования. Методология реализации процесса тестирования и отладки ПО БКУ определяет состав и последовательность обрабатываемых модулей ПО, а также выбор множества тестируемых магистральных путей, которые обеспечивают необходимые показатели функциональной корректности ПО на базе режимов работы систем и приборов КА, включающих расчетные нештатные ситуации.

Под отработкой программного обеспечения БКУ будем понимать стадии его жизненного цикла после проектирования, разработки и кодирования, включающие в себя автономное тестирование ПО на автоматизированных рабочих местах (АРМ) (верификацию), комплексную отладку ПО на наземном комплексе отработки (стадии верификации и квалификации), а также испытания программно-аппаратных средств БКУ в составе космического аппарата на контрольно-испытательной станции (валидация ПО).

3.1. МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОТРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Используем *сценарий* как инструмент формального анализа вариантов организации и реализации комплексной отладки ПО при заданных целевых и критериальных установках, когда невозможно

При отработке в наземных условиях методика отработки планов полета и эксплуатационная документация корректируются и таким образом достигается требуемая степень их готовности к полету. При этом отрабатываются приведенные в документации последовательности выполнения режимов управления КА, режимов контроля бортовой и наземной аппаратуры, уточняются временные затраты на полетные и наземные операции управления. В период наземных тренировок экипажи КА и наземный персонал управления полетом приобретают требуемые навыки по управлению.

Контрольные вопросы

1. Какие этапы отработки и верификации программного обеспечения БКУ вы знаете?
2. Что такое автоматизированное рабочее место разработки ПО БКУ? Какова его структура и что входит в его состав?
3. Из чего состоит наземный комплекс отработки программного обеспечения БКУ?
4. Какова структура и что входит в состав аппаратных и программных средств НКО?
5. Какие принципы моделирования бортовых систем космических аппаратов вам известны?
6. Как используют стенды имитационного моделирования на разных этапах жизненного цикла разработки, отработки и сопровождения БКУ КА?

ЛИТЕРАТУРА

Бортовые системы управления космическими аппаратами / А.Г. Бровкин, Б.Г. Бурдычов, С.В. Гордийко и др. под ред. А.С. Сырова. М. : Издательство МАИ–ПРИНТ, 2010.

Верхалст Э. Задача разработки ОСРВ для цифровой обработки сигналов // Мир компьютерной автоматизации. 1997. № 4.

Кульба В.В., Микрин Е.А., Павлов Б.В., Платонов В.Н. Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов / под ред. Микрина Е.А. М.: Наука, 2006. 579 с.

Легостаев В.П., Микрин Е.А. История создания систем управления космических аппаратов // Автоматика и телемеханика. 2013. № 3.

Легостаев В.П., Микрин Е.А., Орловский И.В., Платонов В.Н., Борисенко Ю. Н., Евдокимов С.Н. Создание и развитие систем управления движением транспортных космических кораблей «Союз» и «Прогресс»: опыт эксплуатации, планируемая модернизация // Тр. МФТИ, 2009.

Микрин Е.А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 336 с.

Микрин Е.А., Орловский И.В., Комарова Л.И., Евдокимов С.Н. Алгоритмы управления траекторией спуска с орбиты искусственного спутника Земли спускаемого аппарата серии «Союз —ТМА» // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 4.

Микрин Е.А., Комарова Л.И., Евдокимов С.Н., Климанов С.И. Управление угловым движением спускаемого аппарата

типа «Союз» при возвращении с орбиты спутника Земли // Известия РАН. Теория и системы управления. 2011. № 5.

Микрин Е.А., Кульба В.В., Косяченко С.А., Сомов Д.С., Гладков Ю.М. Комплексная отработка программного обеспечения бортового комплекса управления космическими аппаратами и имитационные модели функционирования бортовых систем и внешней среды. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2011. 119 с.

С. Сорокин Системы Реального Времени // СТА. 1997. № 2. С. 22–29.

Энциклопедия машиностроения. Космонавтика. М: Машиностроение, 2011. Т. 22. Кн. 2.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Список основных сокращений	8
Глава 1. Принципы построения бортовых комплексов управления космических аппаратов	13
1.1. Типы космических аппаратов и их бортовые системы.....	14
1.2. Функции, структура и состав бортовых комплексов Управления.....	18
1.2.1. Основные задачи бортовых комплексов Управления	18
1.2.2. Структура и состав бортовых комплексов управления	20
1.3. Основные технические решения при разработке бортовых комплексов управления.....	22
1.3.1. Проектирование бортовых комплексов управления	22
1.3.2. Распределение функций управления между бортовыми комплексами управления и бортовыми системами.....	27
1.3.3. Функциональные и физические подсистемы бортовых комплексов управления	28
1.3.4. Интерфейсы бортовых комплексов управления	29
1.3.5. Распределение функций управления и контроля между аппаратными и программными средствами бортовых комплексов управления.....	32
1.3.6. Взаимодействие бортовых комплексов управления с наземными комплексами управления и экипажем.....	34
1.3.7. Адаптация к нештатным ситуациям.....	43

1.4 Составные части бортовых комплексов управления	44
1.4.1. Бортовая цифровая вычислительная система в составе бортовых комплексов управления	44
1.4.2. Проектирование системы управления движением и навигации.....	56
1.4.3. Система управления бортовыми комплексами управления в составе космического аппарата.....	96
1.4.4. Бортовой радиотехнический комплекс в составе бортовых комплексов управления космических аппаратов	106
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>116</i>
Глава 2. Проектирование и разработка программного обеспечения бортовых комплексов управления.....	118
2.1. Особенности разработки программного обеспечения бортовых комплексов управления на базе систем обработки данных реального времени.....	118
2.2. Методология модульного проектирования архитектуры программного обеспечения бортовых комплексов управления.....	123
2.3. Методология структурного проектирования компонентов программного обеспечения бортовых комплексов управления.....	133
2.4. Операционные системы реального времени как ключевой элемент программного обеспечения бортовых комплексов управления.....	146
2.5. Разработка программного обеспечения бортовых комплексов управления	154
2.5.1. Жизненный цикл создания программного обеспечения бортовых комплексов управления	154
2.5.2. Особенности разработки программного обеспечения бортовых комплексов управления	161
2.5.3. Структура и состав программного обеспечения бортовых комплексов управления	164
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>169</i>
Глава 3. Система комплексной отработки программного обеспечения бортовых комплексов управления.....	170
3.1. Модели оптимизации процессов отработки программного обеспечения.....	170

3.2. Методы отработки программного обеспечения бортовых комплексов управления по показателям функциональной корректности	186
3.3. Отработка программного обеспечения бортовых комплексов управления Российского сегмента Международной космической станции.....	193
3.4. Программно-аппаратный комплекс отработки программного обеспечения бортовых комплексов управления	202
3.4.1. Автоматизированное рабочее место разработки программного обеспечения бортовой цифровой вычислительной системы.....	202
3.4.2. Структура и состав наземного комплекса отработки программного обеспечения бортовых комплексов управления.....	205
3.4.3. Реализация наземного комплекса отработки программного обеспечения бортовых комплексов управления Российского сегмента Международной космической станции	215
3.5. Использование стендов имитационного моделирования на разных этапах жизненного цикла разработки, отработки и сопровождения бортовых комплексов управления.....	216
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>218</i>
Приложение 1. Орбитальное движение тел. Законы Кеплера. Типы орбит.....	219
Приложение 2. Кинематические параметры	227
Приложение 3. Базовые системы координат.....	238
Литература.....	241

Учебное издание

Микрин Евгений Анатольевич

**БОРТОВЫЕ
КОМПЛЕКСЫ УПРАВЛЕНИЯ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Редактор *К.А. Осипова*
Технический редактор *Э.А. Кулакова*
Художник *А.К. Ездовой*
Корректор *Р.В. Царева*
Компьютерная графика *Т.Ю. Кутузова*
Компьютерная верстка *Е.В. Ляшкевич*

В оформлении использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве
МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Сертификат соответствия № РОСС RU. АЕ51. Н 16228
от 18.06.2012

Подписано в печать 30.07.2014. Формат 60×90 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. 15,5 + 0,5 цв. вкл. Тираж 500 экз. Заказ №

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
e-mail: press@bmstu.ru
www.baumanpress.ru

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
baumanprint@gmail.com

В Издательстве МГТУ им. Н. Э. Баумана
вышло в свет 2-е издание учебного пособия
А. А. Грешилова
«Математические методы принятия решений»



Год издания: 2014

Тип издания: Учебное пособие

Объем: 648 стр. / 40,5 п.л.

Формат: 60x90/16

ISBN: 978-5-7038-3910-2

Изложены методы решений задач математического программирования и статистических задач принятия решений (задачи распознавания образов). Рассмотрены алгоритмы, позволяющие учитывать влияние погрешностей всех случайных величин, фигурирующих в задаче (конфлюэнтный анализ).

Приводятся реальные примеры, например, идентификации землетрясений и слабых взрывов по результатам сейсмических наблюдений, идентификации летательных аппаратов, задачи о назначениях, о максимизации выпуска продукции и т. п.

К пособию прилагается оптический диск с обучающими программными продуктами.

Учебное пособие создано на основе лекций и практических занятий для студентов МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Для студентов технических вузов, специалистов, занимающихся задачами принятия решений, а также слушателей курсов системы дополнительного профессионального образования, изучающих подобные задачи.

Информацию о других новых книгах можно получить на сайте Издательства МГТУ им. Н. Э. Баумана www.baumanpress.ru

По вопросам приобретения обращаться в отдел реализации Издательства:
телефон: 8 499 263-60-45;
факс: 8 499 261-45-97
press@bmstu.ru

**В Издательстве МГТУ им. Н. Э. Баумана
вышло в свет учебное пособие
В. М. Постникова, В. М. Черненко
«Методы принятия решений в системах
организационного управления»**



Год издания: 2014
Тип издания: Учебное
пособие
Объем: 208 стр. / 13 п.л.
Формат: 60x90/16
ISBN: 978-5-7038-3946-1

Рассмотрены основные понятия, методы и подходы, определяющие процесс принятия управленческого решения. Изложены методы принятия решений в условиях определенности и неопределенности, метод анализа иерархий, логико-интуитивные методы, а также коллективные методы принятия решения. Приведены примеры для быстрого усвоения теоретического материала и его дальнейшего использования при выполнении домашних заданий, курсовых и дипломных проектов, а также при решении конкретных задач производственной деятельности.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Информатика и вычислительная техника» специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

Различные части книги будут интересны и полезны также студентам экономических специальностей, аспирантам, научным сотрудникам, преподавателям, слушателям второго высшего образования и широкому кругу специалистов, чья деятельность связана с принятием решений.

Информацию о других новых
книгах можно получить
на сайте Издательства МГТУ им. Н.Э. Баумана
www.baumanpress.ru

По вопросам приобретения обращаться в отдел реализации Издательства:
телефон: 8 499 263-60-45;
факс: 8 499 261-45-97