

*В. И. КУРЕНКОВ,  
В. В. САЛМИН,  
А. Г. ПРОХОРОВ*

**МЕТОДИКА ВЫБОРА  
ОСНОВНЫХ ПРОЕКТНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК  
И КОНСТРУКТИВНОГО ОБЛИКА  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ  
НАБЛЮДЕНИЯ**

**2007**



**САМАРА**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

*В. И. КУРЕНКОВ, В. В. САЛМИН, А. Г. ПРОХОРОВ*

МЕТОДИКА ВЫБОРА  
ОСНОВНЫХ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
И КОНСТРУКТИВНОГО ОБЛИКА  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2007

УДК 629.78 (075)  
ББК 39.62  
К 93



**Инновационная образовательная программа  
"Развитие центра компетенции и подготовка  
специалистов мирового уровня в области аэро-  
космических и геотехнологических технологий"**

Рецензенты: зам. ген. конструктора ГНП РКЦ «ЦСКБ - Прогресс»,  
д-р техн. наук, проф. С. И. Ткаченко;  
канд. техн. наук, доц. А. С. Курцов

**К 93 Куренков В. И.**  
**МЕТОДИКА ВЫБОРА ОСНОВНЫХ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕ-  
РИСТИК И КОНСТРУКТИВНОГО ОБЛИКА КОСМИЧЕСКИХ  
АППАРАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ:** учеб. пособие / В.И. Курен-  
ков,  
В.В. Салмин, А. Г. Прохоров. — Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм.  
ун-та, 2007. — 160 с. : ил.

**ISBN 978-5-7883-0661-2**

Рассматриваются общие вопросы проектирования космических аппаратов наблюдения и методы синтеза их проектного облика с учетом заданных показателей целевой эффективности, приведены математические формулировки задач выбора основных проектных характеристик и конструктивного облика. Разработаны математические модели и программное обеспечение для оценки массогабаритных характеристик целевой аппаратуры, бортовых обеспечивающих систем и конструкции космических аппаратов наблюдения. Рассмотрены теоретические вопросы создания проблемно-ориентированных систем проектирования. Проведен анализ компоновочных схем космических аппаратов детального оперативного наблюдения, предложен алгоритм построения конструктивно-компоновочных схем с использованием систем твердотельного моделирования.

Учебное пособие предназначено студентам специальности 160802 «Космические летательные аппараты и разгонные блоки» и специальности 230301 «Моделирование и исследование операций в организационно-технических системах». Оно также может быть полезно специалистам ракетно-космической отрасли.

Подготовлено на кафедре летательных аппаратов.

УДК 629.78 (075)  
ББК 39.62

**ISBN 978-5-7883-0661-2**

© Куренков В. И., Салмин В. В.,  
Прохоров А. Г., 2007

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2007

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	6
ВВЕДЕНИЕ .....	7
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ .....	8
1.1. Основные требования к космической системе и аппаратам наблюдения .....	8
1.2. Характеристики космических аппаратов наблюдения .....	9
1.3. Основные проектные параметры .....	12
1.4. Тактико-технические требования .....	12
1.5. Аспекты проектирования космических аппаратов наблюдения .....	16
1.6. Концепции выбора проектных решений .....	17
1.7. Структурный и параметрический синтез .....	18
1.8. Формулировки задач проектирования .....	20
2. МЕТОДЫ СИНТЕЗА ПРОЕКТНОГО ОБЛИКА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ С УЧЕТОМ ЗАДАНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦЕЛЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ .....	22
2.1. Анализ влияния требований к показателям целевой эффективности космической системы наблюдения на проектные характеристики космического аппарата .....	22
2.2. Моделирование функциональных связей между основными проектными параметрами космического аппарата наблюдения и показателями эффективности космической системы .....	24
2.3. Анализ принципиальной выполнимости тактико-технических характеристик проектируемых космических аппаратов .....	24
2.4. Методы выбора основных проектных характеристик и синтеза конструктивного облика космического аппарата наблюдения по заданным показателям эффективности космической системы .....	28
2.5. Метод синтеза основных проектных характеристик и конструктивного облика космического аппарата наблюдения на базе эвристических алгоритмов .....	29
2.6. Метод выбора основных проектных характеристик и синтеза конструктивного облика космического аппарата наблюдения на основе последовательного "наращивания" составных частей "вокруг" аппаратуры наблюдения .....	30
2.7. Метод выбора основных проектных характеристик космического аппарата наблюдения на основе создания проблемно-ориентированных автоматизированных систем проектирования .....	32
2.8. Учет этапов проектирования в моделях для автоматизированного синтеза проектного облика космических аппаратов наблюдения .....	34
3. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....	36
3.1. Критерии выбора проектных решений .....	36
3.1.1. Многокритериальные задачи .....	36
3.1.2. Сведение многокритериальных задач к однокритериальным .....	38
3.2. Формулировка задач совершенствования проекта в теоретико-множественной форме .....	41
3.3. Иерархическая структура критериев синтеза космической системы наблюдения .....	43
3.4. Формулировки задач проектирования космического аппарата наблюдения как элемента космической системы .....	47
3.4.1. Исходные данные и их формализованное описание .....	47
3.4.2. Математические формулировки задач проектирования .....	48
3.5. Формулировки задач проектирования космического аппарата наблюдения с учетом требований эффективности .....	51

3.6. Частные критерии эффективности космических аппаратов наблюдения .....	53
3.7. Формулировки задач проектирования космического аппарата наблюдения по частным критериям эффективности .....	56
<b>4. МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ МАССОГАБАРИТНЫХ, ИНЕРЦИОННЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ</b> .....	58
4.1. Модели для оценки характеристик целевой аппаратуры .....	58
4.1.1. Модели для оценки характеристик оптико-электронного телескопического комплекса .....	58
4.1.2. Расчет характеристик системы приема и преобразования информации .....	62
4.1.3. Расчет характеристик высокоскоростной радиолинии .....	63
4.1.4. Расчет характеристик прочих элементов целевой аппаратуры .....	63
4.1.5. Расчет характеристик целевой аппаратуры в целом .....	64
4.2. Модели для оценки характеристик бортового комплекса управления .....	64
4.2.1. Модели для оценки характеристик силового гироскопического комплекса .....	65
4.2.2. Расчет характеристик системы сброса кинетического момента .....	71
4.2.3. Расчет характеристик других составных частей бортового комплекса управления .....	71
4.3. Математические модели для оценки характеристик системы обеспечения теплового режима .....	72
4.3.1. Расчет массогабаритных характеристик пассивной части системы обеспечения теплового режима .....	73
4.3.2. Расчет массогабаритных характеристик системы терморегулирования .....	74
4.3.3. Расчет массогабаритных и энергетических характеристик системы терморегулирования с учетом составных частей .....	75
4.4. Математические модели для оценки массогабаритных характеристик системы электропитания .....	82
4.5. Математические модели для оценки массогабаритных характеристик комплексной двигательной установки .....	87
4.5.1. Определение характеристической скорости космического аппарата при выполнении динамических маневров .....	88
4.5.2. Определение массогабаритных характеристик комплексной двигательной установки .....	93
4.5.3. Определение приведенных моментов инерции комплексной двигательной установки .....	95
4.6. Модели для оценки массогабаритных характеристик конструкции космического аппарата .....	96
4.7. Модели для оценки массогабаритных характеристик антенно-фидерных устройств, кабельной сети и бортового радиокомплекса .....	97
<b>5. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВЫБОРА ОСНОВНЫХ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ</b> .....	98
5.1. Основные сведения о программном обеспечении .....	98
5.2. Пользовательский интерфейс программного обеспечения .....	100
<b>6. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ</b> .....	104
6.1. Постановка задач моделирования при разработке проблемно-ориентированных автоматизированных систем проектирования .....	104
6.1.1. Основные определения .....	104

6.1.2. Понятие корректности и разрешимости задачи на вычислительной модели .....	105
6.1.3. Понятие проблемно-ориентированной системы проектирования.....	106
6.2. Планирование вычислений на явных моделях.....	106
6.2.1. Постановка задачи .....	106
6.2.2. Понятия схемы отношений и операторной схемы модели .....	107
6.2.3. Алгоритм "поиска в глубину" .....	109
6.2.4. Алгоритм "поиска в ширину" .....	110
6.2.5. Нахождение схемы решения задачи .....	112
7. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЫБОРА ОСНОВНЫХ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БОРТОВЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	115
7.1. Описание программной части проблемно-ориентированной системы выбора основных проектных характеристик.....	115
7.2. Тестовый пример .....	121
8. КОМПОНОВКА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ .....	129
8.1. Базовая система координат космического аппарата и типовые схемы установки аппаратуры наблюдения .....	129
8.2. Компоновочные схемы космических аппаратов детального оперативного наблюдения .....	132
8.2.1. Оптические схемы зеркальных телескопов.....	132
8.2.2. Общий вид космических аппаратов детального оперативного наблюдения .....	134
8.2.3. Конструктивные схемы и основные проектные характеристики телескопических комплексов .....	140
8.2.4. Схемы размещения элементов высокоскоростной радиолинии.....	141
8.2.5. Компоновочные схемы комплексных двигательных установок .....	142
8.2.6. Схемы установки и размещения элементов системы электропитания .....	144
8.2.7. Схемы размещения элементов системы терморегулирования .....	146
8.2.8. Схемы размещения элементов системы управления движением.....	147
8.2.9. Схемы размещения элементов бортового комплекса управления .....	149
8.3. Перспективы совершенствования космических аппаратов наблюдения .....	149
8.4. Синтез конструктивно-компоновочных схем космических аппаратов наблюдения с использованием систем твердотельного моделирования .....	152
8.4.1. Алгоритм синтеза конструктивно-компоновочных схем космических аппаратов наблюдения .....	152
8.4.2. Иллюстрация процесса синтеза конструктивно-компоновочной схемы космического аппарата наблюдения .....	154
8.4.3. Пример разработки компоновочных схем реального космического аппарата наблюдения в системе твердотельного моделирования.....	158
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	160
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	161

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие является первой частью комплекса учебных пособий под общим названием «Основы проектирования малых космических аппаратов научного и образовательного назначения».

Учебное пособие предназначено студентам специальности 160802 «Космические летательные аппараты и разгонные блоки» и специальности 230301 «Моделирование и исследование операций в организационно-технических системах». Может быть использовано при изучении теоретического материала, при выполнении курсовых и дипломных проектов по дисциплинам данных специальностей.

При рассмотрении материала настоящего учебного пособия предполагается, что читатель знаком с основами устройств и целевого функционирования космических аппаратов наблюдения. Тем, кто желает повторить этот материал или изучить его вновь, рекомендуется обратиться к учебному пособию «Основы устройства и моделирования целевого функционирования космических аппаратов наблюдения» авторов В. И. Куренкова, В. В. Салмина и Б. А. Абрамова [1].

Материал данного пособия может быть полезен студентам специальности 160801 «Ракетостроение» при изучении курсов «Проектирование летательных аппаратов и комплексов» и «Автоматизация проектирования и конструирования летательных аппаратов».

В учебном пособии учтены современные требования к космическим аппаратам наблюдения и тенденции их развития. Следует отметить, что многие разделы настоящего учебного пособия оригинальны, разработаны лично авторами и публикуются впервые.

Учебное пособие может быть полезно специалистам ракетно-космической отрасли.

Авторы выражают благодарность рецензентам: заместителю Генерального конструктора ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» профессору С. И. Ткаченко и доценту кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов А. С. Кучерову за ценные замечания и рекомендации, которые были учтены при подготовке рукописи к изданию.

Учебное издание

*Куренков Владимир Иванович  
Салмин Вадим Викторович  
Прохоров Александр Георгиевич*

**МЕТОДИКА ВЫБОРА  
ОСНОВНЫХ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
И КОНСТРУКТИВНОГО ОБЛИКА  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ**

*Учебное пособие*

Технический редактор Д. М. К о з л о в  
Редакторская обработка А. В. Я р о с л а в ц е в а  
Корректорская обработка Н. С. К у п р и я н о в а  
Доверстка Е. С. К о ч е у л о в а

Подписано в печать 17.12.07. Формат 60х84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Печ. л. 10,0.  
Тираж 120 экз. Заказ . ИП - ж129 / 2007

Самарский государственный  
аэрокосмический университет.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского государственного  
аэрокосмического университета.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.