

УДК 629.78(075)

ББК 39.62я7

А745

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. И. В. Б е л о к о н о в,  
д-р техн. наук, проф. П. К. К у з н е ц о в

*Анишаков, Геннадий Петрович*

**А745 Имитационные модели для создания и эксплуатации ракетно-космических комплексов:** учебное пособие / *Г.П. Анишаков, Д.А. Баранов, С.Л. Сафронов.* – Самара: Издательство Самарского университета, 2023. – 184 с.: ил.

**ISBN 978-5-7883-1955-1**

Представлено описание некоторых имитационных моделей различного типа, описывающих функционирование ракетно-космической техники на разных этапах жизненного цикла. В качестве примера дается описание моделей, имеющих отношение к ракетам-носителям, а также к космическим аппаратам дистанционного зондирования Земли.

Предназначено для подготовки студентов, обучающихся по специальности 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов. Может быть полезно аспирантам и преподавателям, занимающимся научно-исследовательской работой в данной предметной области.

Подготовлено на кафедре космического машиностроения имени генерального конструктора Д.И. Козлова Самарского университета.

УДК 629.78(075)

ББК 39.62я7

ISBN 978-5-7883-1955-1

© Самарский университет, 2023

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	6
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	7
ВЕДЕНИЕ .....	10
1 Этапы создания изделий ракетно-космической техники .....	13
1.1 Жизненные циклы изделий ракетно-космической техники, перечень этапов.....	13
1.2 Порядок создания ракетно-космической техники и их составных частей.....	14
2 Имитационные модели, используемые при создании изделий ракетно- космической техники.....	16
2.1 Модели жизненного цикла изделий ракетно-космической техники .....	16
2.1.1 Состав моделей жизненного цикла .....	16
2.1.2 Аванпроект (техническое предложение) .....	17
2.1.3 Разработка эскизного проекта. ....	20
2.1.4 Разработка рабочей документации на опытные изделия комплекса и макеты .....	20
2.1.5 Изготовление макетов и опытных изделий комплекса, автономные испытания и корректировка рабочей документации .....	21
2.1.6 Изготовление опытных изделий комплекса, комплексные испытания, межведомственные испытания и корректировка рабочей документации.....	22
2.1.7 Летные испытания .....	24
2.2 Модели организационные .....	25
2.2.1 Основные определения.....	25
2.2.2 Состав космического комплекса .....	27
2.2.3 Сквозной график и план-график создания .....	30
2.3 Модели физические.....	35
2.4 Модели математические .....	37
2.4.1 Основные определения.....	37
2.4.2 Основные этапы математического моделирования .....	40

2.5	Модели компьютерные .....	44
2.5.1	Основные положения .....	44
2.5.2	Конечно-элементное моделирование .....	47
2.5.3	Имитационное моделирование .....	50
2.5.4	Проблемно-ориентированные системы .....	52
3	Проектные модели разработки ракеты-носителя .....	58
3.1	Модель реактивного движения .....	58
3.1.1	Уравнение Мещерского .....	58
3.1.2.	Формула Циолковского .....	60
3.2	Основные числовые показатели в задачах проектирования ракет-носителей .....	61
3.3	Потребная характеристическая скорость .....	64
3.4	Алгоритм определения массовых характеристик ракет-носителей .....	67
3.4.1	Алгоритм определения массовых характеристик из условий обеспечения минимальной стартовой массы .....	67
3.4.2	Алгоритм определения массовых характеристик с использованием метода Монте-Карло .....	71
3.4.3	Алгоритм оптимального распределения масс, как задача математического программирования .....	73
3.4.4	Алгоритм выбора массовых характеристик методом Монте-Карло путем случайного перераспределения характеристической скорости по ступеням .....	76
3.4.5	Алгоритм оптимального распределения масс для ракет с тандемно-пакетной схемой соединения блоков .....	78
3.4.6	Выводы по подразделу .....	82
3.5	Динамическая модель упругих изгибных колебаний ракет-носителей и космических аппаратов как балочных конструкций ..	84
3.5.1	Уравнения частот и корни уравнений для различных типов закрепления концов балки .....	84
3.5.2	Алгоритм расчета форм и частот для балок с переменными по длине жесткостными и массовыми характеристиками .....	87

4 Модели функционирования космического аппарата дистанционного зондирования Земли .....	101
4.1 Моделирование бортовой аппаратуры и компоновка .....	101
4.1.1 Основы анализа пространственной компоновки с использованием R-функции .....	101
4.1.2 Твердотельные модели бортовой аппаратуры и космического аппарата в первом приближении. Компоновка космического аппарата .....	114
4.1.3 Инженерная модель бортовой аппаратуры, разработанная на основе габаритного чертежа .....	122
4.1.4 Инженерная модель космического аппарата, разработанная под руководством принципов нисходящего проектирования. ....	126
4.2 Моделирование энергобаланса космического аппарата дистанционного зондирования Земли.....	135
4.2.1 Схема функционирования космического аппарата и циклограмма энергопотребления .....	135
4.2.2 Математическая модель системы электропитания .....	139
4.2.3 Модель энергобаланса.....	141
4.2.4 Моделирование энергобаланса.....	143
4.3 Автоматизированная система управления .....	153
4.3.1 Основные сведения.....	153
4.3.2 Автоматизированная система управления космическими аппаратами дистанционного зондирования Земли типа «Ресурс» .....	155
4.3.3 Особенности формирования программ управления .....	167
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	179
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	180