

УДК 629.788
ББК 39.67
К66

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://bmstu.press/catalog/item/7005/>

Факультет «Специальное машиностроение»
Кафедра «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов»

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

Корянов, В. В.
К66 Динамика движения спускаемых аппаратов в атмосфере планеты : учебное пособие / В. В. Корянов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — 108 с. : ил.

ISBN 978-5-7038-5348-1

Рассмотрены основные формы спускаемых аппаратов и соответствующие им параметры траекторий движения в атмосфере планеты. Приведены математические модели, позволяющие определять параметры траекторий спускаемого аппарата при продольном и пространственном баллистическом спуске. Представлены зависимости для расчета влияния малых асимметрий на динамику движения спускаемых аппаратов. Выполнен анализ влияния малых асимметрий на резонансные явления. Приведены формулы, позволяющие на этапе проектирования спускаемого аппарата оценить допустимые значения асимметрий. Рассмотрены математические модели движения спускаемых аппаратов с постоянным и регулируемым аэродинамическим качеством и особенности траекторий этих аппаратов. Получены формулы для расчета оптимального управления спуском.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 24.05.04 «Навигационно-баллистическое обеспечение применения космической техники» и направлению подготовки бакалавров 24.03.03 «Баллистика и гидроаэродинамика», 24.03.01 «Ракетные комплексы и космонавтика» и магистров по направлению подготовки 24.04.03 «Баллистика и гидроаэродинамика».

УДК 629.788
ББК 39.67

Учебное издание

Корянов Всеволод Владимирович

Динамика движения спускаемых аппаратов в атмосфере планеты

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

В оформлении использованы шрифты Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 07.07.2021. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 8,775. Тираж 100 экз. Изд. № 611-2019. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, к. 1.
press@baumanpress.ru <https://bmstu.press>

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



Уважаемые читатели! Пожелания, предложения, а также сообщения о замеченных опечатках и неточностях Издательство просит направлять по электронной почте: info@baumanpress.ru

ISBN 978-5-7038-5348-1

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

Оглавление

Предисловие	3
Список сокращений	6
Введение	7
1. Движение спускаемых аппаратов баллистического типа	13
1.1. Математическая модель продольного движения спускаемого аппарата по траектории баллистического спуска	13
1.2. Аналитический метод расчета параметров баллистического спуска	17
1.3. Математическая модель пространственного движения спускаемого аппарата по баллистической траектории	21
1.3.1. Динамические уравнения поступательного движения центра масс спускаемого аппарата	23
1.3.2. Кинематические уравнения поступательного движения центра масс спускаемого аппарата	25
1.3.3. Динамические уравнения вращательного движения спускаемого аппарата вокруг его центра масс	26
1.3.4. Кинематические уравнения вращательного движения	27
1.3.5. Алгоритм определения параметров движения спускаемого аппарата баллистического типа	28
1.3.6. Особенности расчета кинематических параметров при формировании программы расчета.....	29
1.3.7. Анализ влияния возмущающих факторов на отклонения координат точки посадки для космического спускаемого аппарата баллистического типа	33
Контрольные задания	34
2. Пространственное движение осесимметричного спускаемого аппарата при наличии малых массоинерционных и аэродинамических асимметрий ...	36
2.1. Математическая модель пространственного движения спускаемого аппарата с учетом асимметрий	37
2.1.1. Динамические уравнения поступательного движения центра масс спускаемого аппарата	38
2.1.2. Кинематические уравнения движения центра масс спускаемого аппарата	39
2.1.3. Динамические уравнения вращательного движения летательного аппарата вокруг его центра масс	40
2.1.4. Кинематические уравнения вращательного движения спускаемого аппарата вокруг его центра масс	43

2.2. Преобразование динамических уравнений движения спускаемого аппарата с массоинерционными и аэродинамическими асимметриями	49
2.2.1. Анализ влияния малых асимметрий на максимальный пространственный угол атаки	61
2.2.2. Анализ характера вращения спускаемого аппарата с асимметриями	62
2.2.3. Оценка установившегося значения пространственного угла атаки в дорезонансном и сверхрезонансном режимах вращения продольной оси спускаемого аппарата	65
2.2.4. Оценка возникновения лунного движения	67
2.2.5. Анализ относительного влияния различных асимметрий на пространственный угол атаки в резонансном режиме вращения	68
Контрольные задания	71
3. ДВИЖЕНИЕ СПУСКАЕМОГО АППАРАТА С ПОСТОЯННЫМ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ КАЧЕСТВОМ	72
3.1. Продольное движение спускаемого аппарата с постоянным аэродинамическим качеством	74
3.1.1. Анализ траектории продольного движения спускаемого аппарата с постоянным аэродинамическим качеством	76
3.1.2. Расчет параметров траектории движения спускаемого аппарата с круговой орбиты до входа в верхние слои атмосферы	77
3.2. Пространственное движение спускаемого аппарата с постоянным аэродинамическим качеством	81
3.2.1. Анализ пространственного движения спускаемого аппарата с постоянным аэродинамическим качеством	83
3.2.2. Пространственное движение спускаемого аппарата с малым аэродинамическим качеством относительно вращающейся Земли ...	84
3.3. Управление движением спускаемого аппарата с постоянным аэродинамическим качеством при спуске с орбиты искусственного спутника Земли	88
Контрольные задания	93
4. ДВИЖЕНИЕ СПУСКАЕМОГО АППАРАТА С БОЛЬШИМ РЕГУЛИРУЕМЫМ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ КАЧЕСТВОМ	94
4.1. Планирование спускаемого аппарата с постоянной скоростью	95
4.2. Горизонтальный полет спускаемого аппарата относительно сферической поверхности Земли	99
4.3. Коррекция параметров входа спускаемого аппарата в атмосферу	100
4.4. Движение спускаемого аппарата с ограничением теплотока	101
4.5. Движение спускаемого аппарата с постоянным торможением	102
Контрольные вопросы и задания	105
Литература	106