

УДК 531.32, 531.37, 531.55, 629.7, 623.451
ББК 22.21
Г82

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://bmstu.press/catalog/item/7395/>

Факультет «Фундаментальные науки»
Кафедра «Теоретическая механика» имени профессора Н.Е. Жуковского

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

Рецензенты:

профессор кафедры «Аэрокосмические системы» д-р техн. наук *Г.А. Щеглов*;
доцент кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители»
канд. техн. наук *В.В. Леонов*

Гришко, Д. А.

Г82 Введение в математическое моделирование пассивного полета тел в атмосфере : учебное пособие / Д. А. Гришко. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. — 81, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-5797-7

Учебное пособие дополняет курсы лекций по дисциплинам «Теоретическая механика», «Аналитическая механика», которые изучаются в рамках основной образовательной программы подготовки бакалавров, специалистов и соответствуют новым образовательным стандартам МГТУ им. Н.Э. Баумана. Рассмотрены движение материальной точки и пушечного ядра (без угловой скорости), плоское движение классического артиллерийского снаряда и спускаемого аппарата (баллистической капсулы и аппаратов скользящего спуска). Большое внимание уделено переходу между системами координат и математическому аппарату описания движения вокруг центра масс с использованием параметров Родрига — Гамильтона.

Для студентов 2-го и 3-го курсов, специальность которых связана с построением, исследованием и решением математических моделей движения тел в пространстве.

УДК 531.32, 531.37, 531.55, 629.7, 623.451
ББК 22.21



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

ISBN 978-5-7038-5797-7

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022

Оглавление

| | |
|--|----|
| Предисловие | 3 |
| Перечень обозначений | 5 |
| Введение | 9 |
| 1. Движение материальной точки в безвоздушном пространстве | 11 |
| 1.1. Уравнения движения и траектории в однородном поле силы тяжести | 11 |
| 1.2. Нахождение требуемого угла бросания по известным координатам начальной точки и цели | 12 |
| 1.3. Парабола достижимости цели на восходящем участке траектории и парабола безопасности | 13 |
| 1.4. Пространственное движение в однородном поле силы тяжести... | 14 |
| 1.5. Сферическая Земля и эллипсоид вращения | 16 |
| 1.6. Ускорение силы притяжения сферы и эллипсоида | 18 |
| 1.7. Ускорение силы тяжести сферы и эллипсоида | 20 |
| 1.8. Топоцентрическая и геоцентрическая инерциальные системы координат | 21 |
| Вопросы и задания | 23 |
| 2. Движение ядра в атмосфере в однородном поле силы тяжести | 24 |
| 2.1. Математическая модель движения пушечного ядра | 24 |
| 2.2. Анализ траектории пушечного ядра с учетом его примерной массы и диаметра | 27 |
| 2.3. Оценка начальной скорости ядра по результатам экспериментальных стрельб | 29 |
| Вопросы и задания | 30 |
| 3. Движение статически стабилизируемого снаряда в неподвижной атмосфере в однородном поле силы тяжести | 31 |
| 3.1. Особенности движения дальнобойного снаряда | 31 |
| 3.2. Математическая модель плоского движения снаряда в атмосфере | 34 |
| 3.3. Анализ результатов расчета траектории снаряда | 35 |
| Вопросы и задания | 39 |
| 4. Плоское движение баллистической капсулы и аппаратов скользящего спуска при возвращении с околоземной орбиты и от Луны | 40 |
| 4.1. Особенности спуска в атмосфере | 41 |

| | |
|---|----|
| 4.2. Возвращение сферической баллистической капсулы с низкой орбиты | 44 |
| 4.3. Возвращение баллистической капсулы от Луны с несколькими прохождениями земной атмосферы | 46 |
| 4.4. Упрощенная модель плоского движения аппаратов типа «Союз» и «Аполлон» при спуске с низкой околоземной орбиты | 50 |
| 4.5. Использование рикошета от атмосферы при возвращении аппаратов типа «Союз» и «Аполлон» от Луны | 54 |
| Вопросы и задания | 60 |
| 5. Особенности описания трехмерного углового движения тела с использованием параметров Родрига — Гамильтона (кватернионов) | 61 |
| 5.1. Вычисление вектора мгновенной угловой скорости твердого тела ... | 61 |
| 5.2. Вычисление углов через классические кинематические уравнения | 62 |
| 5.3. Некоторые сведения об операциях над кватернионами | 63 |
| 5.4. Описание поворота системы координат при помощи кватернионов | 64 |
| 5.5. Вычисление начального значения кватерниона | 64 |
| 5.6. Матрица перехода в параметрах Родрига — Гамильтона | 65 |
| 5.7. Кинематические уравнения в кватернионах | 66 |
| 5.8. Общий вид вычислительного контура с кинематикой углового движения в кватернионах | 68 |
| Вопросы и задания | 69 |
| Заключение | 70 |
| Литература | 72 |
| Глоссарий | 73 |