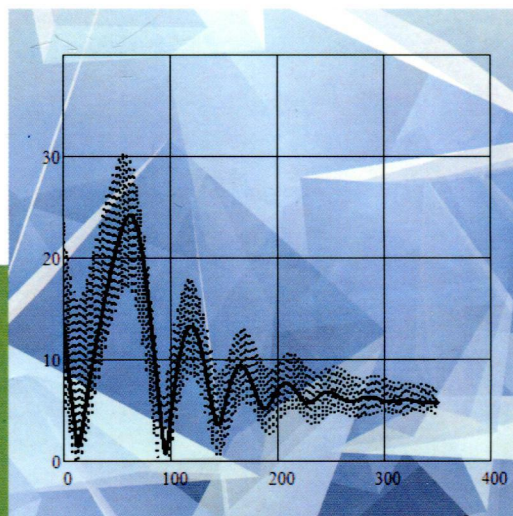


АСИМПТОТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Ю. М. Заболотнов
В. В. Любимов



**Ю. М. ЗАБОЛОТНОВ,
В. В. ЛЮБИМОВ**

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Учебное пособие



ЛАНЬ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
МОСКВА
КРАСНОДАР
2024

УДК 531
ББК 22.2я73

3 12 Заболотнов Ю. М. Асимптотические методы в задачах динамики твёрдого тела : учебное пособие для вузов / Ю. М. Заболотнов, В. В. Любимов. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 408 с. : ил. — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-8114-7634-3

Рассматриваются асимптотические методы в задачах динамики твёрдого тела и связанными с ними приложениями. Используются метод усреднения и метод интегральных многообразий. Основное внимание уделяется исследованию резонансных эффектов при движении твёрдого тела относительно неподвижной точки и вокруг центра масс. Теоретический материал сопровождается примерами применения асимптотических методов в задачах современной космонавтики.

Пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки и специальностям «Математика и механика», «Физика и астрономия», «Авиационная и ракетно-космическая техника», «Машиностроение». Пособие будет полезно специалистам в области динамики твёрдого тела и механики космического полёта, преподавателям вузов, инженерам и аспирантам.

УДК 531
ББК 22.2я73

Рецензенты:

В. В. САЗОНОВ — доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН;

О. Л. СТАРИНОВА — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой динамики полета и системы управления Самарского национального исследовательского университета им. академика С. П. Королева.

Обложка
П. И. ПОЛЯКОВА

© Издательство «Лань», 2024
© Ю. М. Заболотнов, В. В. Любимов, 2024
© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2024

Оглавление

Предисловие	6
Основные сокращения и обозначения.....	7
Введение.....	10
1. Теоретические основы механики твердого тела.....	18
1.1. Основные понятия.....	18
1.2. Системы отсчета	21
1.3. Моменты инерции твердого тела.....	26
1.4. Общие теоремы динамики системы.....	30
1.5. Кинематика твердого тела.....	31
1.6. Динамические уравнения Эйлера.....	35
1.7. Движение твердого тела вокруг неподвижной точки	37
1.8. Свободное движение твердого тела.....	44
2. Асимптотические методы анализа движения твердого тела.....	48
2.1. Методы малого параметра.....	48
2.2. Метод усреднения	52
2.3. Особенности применения метода усреднения в резонансном случае	65
2.4. Оценка возмущений при прохождении системы через резонанс	69
2.5. Определение и анализ условий захвата в резонанс.....	79
2.6. Метод интегральных многообразий для сингулярно возмущенных систем.....	92
2.7. Метод интегральных многообразий для сингулярно возмущенных не классических систем	97
2.8. Метод интегральных многообразий в резонансном случае.....	103
3. Математические модели движения твердого тела вокруг неподвижной точки	108
3.1. Комплексная форма уравнений движения твердого тела.....	108
3.2. Нелинейная модель движения твердого тела с малой асимметрией.....	125

4. Приближенные методы анализа движения твердого тела вокруг неподвижной точки	138
4.1. Асимптотический анализ движения твердого тела при малых углах нутаии	138
4.2. Применение метода интегральных многообразий для анализа движения твердого тела при немалых углах нутаии	151
4.3. Асимптотический анализ резонансных режимов движения твердого тела вокруг неподвижной точки	159
4.4. Асимптотический анализ резонансных режимов движения твердого тела при медленном изменении его параметров	186
4.5. Асимптотический анализ резонансных движений твердого тела с помощью метода интегральных многообразий	194
5. Асимптотический анализ вторичных резонансных эффектов при движении твердого тела вокруг неподвижной точки	213
5.1. Вторичные резонансные эффекты при движении твердого тела вокруг неподвижной точки	213
5.2. Асимптотический анализ вторичных резонансных эффектов в квазилинейной системе уравнений движения твердого тела	229
5.3. Нелинейный асимптотический анализ вторичных резонансных эффектов при движении твердого тела вокруг неподвижной точки	242
6. Асимптотический анализ внешней устойчивости резонансов при движении твердого тела вокруг неподвижной точки	256
6.1. Понятие о внешней устойчивости резонанса в системе с периодическими возмущениями	256
6.2. Асимптотический анализ условий внешней устойчивости резонансов и устойчивости стационарных точек в квазилинейной системе уравнений движения твердого тела	259
6.3. Асимптотический анализ условий внешней устойчивости главного резонанса в нелинейном случае	267
7. О численном интегрировании усредненных уравнений движения твердого тела с малой асимметрией	272

7.1. Оценка величины шага интегрирования усредненной системы в нерезонансном случае.....	272
7.2. Оценка величины шага интегрирования усредненной системы в резонансном случае.....	275
7.3. Оценка величины шага при численном интегрировании квазилинейной системы.....	277
8. Прикладные задачи динамики космических аппаратов, близкие к случаю Лагранжа.....	286
8.1. Асимптотический анализ движения космических аппаратов при спуске в атмосфере.....	286
8.2. Асимптотический анализ вторичных резонансных эффектов в задаче о движении спускаемого аппарата в атмосфере.....	311
8.3. Асимптотический анализ вторичных резонансных эффектов и внешней устойчивости резонансов при движении космического аппарата с сильным магнитом в геомагнитном поле.....	321
8.4. Асимптотический анализ движения космического аппарата в составе тросовой системы.....	342
Заключение.....	387
Приложения.....	389
Приложение 1. Кинематические уравнения Пуассона.....	389
Приложение 2. Матрицы перехода между системами координат.....	390
Приложение 3. Скорости и ускорения точек твердого тела.....	390
Приложение 4. Момент импульса твердого тела.....	391
Приложение 5. Основные понятия теории асимптотических рядов.....	392
Приложение 6. Уравнение малых плоских колебаний твердого тела.....	396
Приложение 7. Алгоритм вычисления начальных условий для усредненных уравнений движения КА относительно центра масс в атмосфере.....	397
Приложение 8. Слагаемые, зависящие от массово-инерционной асимметрии, в уравнениях движения КА в составе тросовой системы.....	398
Список использованных источников.....	400