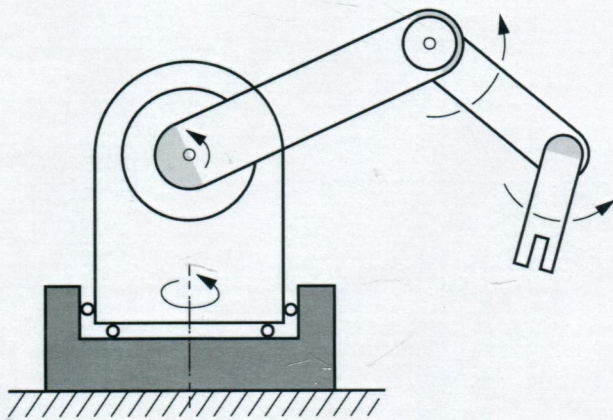


В. Шилен, П. Эберхард

ПРИКЛАДНАЯ ДИНАМИКА

Численное моделирование
механических систем в машиностроении



Werner Schiehlen, Peter Eberhard

Technische Dynamik

**Rechnergestützte Modellierung mechanischer
Systeme im Maschinen- und Fahrzeugbau**

Mit 71 Abbildungen

3. Auflage

B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig · Wiesbaden

В. Шилен, П. Эберхард

ПРИКЛАДНАЯ ДИНАМИКА

**Численное моделирование
механических систем в машиностроении**

Перевод с немецкого
В. В. Шуликовской

Под редакцией
д. ф.-м. н., проф. Б. С. Бардина,
д. ф.-м. н., проф. И. И. Косенко



Москва ♦ Ижевск

2018

УДК 519.7
ББК 22.181
Ш 57

Шилен В., Эберхард П.

Ш 57 Прикладная динамика. Численное моделирование механических систем в машиностроении. — М.–Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика» ; Институт компьютерных исследований, 2018. — 264 с.

ISBN 978-5-4344-0437-2

Эта книга написана профессорами Штутгартского технического университета Вернером Шиленом и Петером Эберхардом — учителем и учеником. Содержание ее в своем роде уникально. Авторам удалось в компактной форме изложить самый сложный материал формального описания и компьютерного моделирования динамики систем многих тел. При этом под термином «тело» здесь понимается не только абсолютно твердое, но и деформируемое упругое тело. В книге описываются оригинальные методики построения уравнений движения систем тел, а также алгоритмы дискретизации при помощи метода конечных элементов и алгоритмы, основанные на применении континуальных формализмов механики сплошной среды, и, в частности, методах вычисления собственных значений и собственных функций. Кроме того, в круг рассматриваемых вопросов входят и задачи теории управляемого движения. Все изложение опирается на принципы и методы аналитической механики.

Книга предназначена для широкого круга читателей. В первую очередь это студенты старших курсов и аспиранты технических университетов, а также преподаватели дисциплин соответствующего профиля. Она может быть полезна инженерам и научным работникам.

Оригинальное издание (на немецком языке): Schiehlen, W., Eberhard, P. Technische Dynamik — Rechnergestützte Modellierung mechanischer Systeme im Maschinen- und Fahrzeugbau. Wiesbaden: Springer Vieweg; 2014.

ББК 22.181
УДК 519.7

ISBN 978-5-4344-0437-2

© В. Шилен, П. Эберхард, 2018
© Ижевский институт компьютерных исследований, 2018

Оглавление

Предисловие редакторов перевода	ix
Предисловие к русскому изданию	xi
Предисловие к третьему изданию	xiii
Предисловие ко второму изданию	xv
Предисловие к первому изданию	xvii
ГЛАВА 1. Введение	1
1.1. Задачи прикладной динамики	1
1.2. Роль аналитической механики	2
1.3. Моделирование механических систем	3
1.3.1. Системы твердых тел	4
1.3.2. Метод конечных элементов	6
1.3.3. Сплошные среды	7
1.3.4. Системы деформируемых тел	8
1.3.5. Выбор замещающей механической системы	9
1.3.6. Число степеней свободы	9
ГЛАВА 2. Основы кинематики	13
2.1. Свободные системы	13
2.1.1. Кинематика точки	13
2.1.2. Кинематика абсолютно твердого тела	20
2.1.3. Кинематика сплошной среды	41
2.2. Голономные системы	50
2.2.1. Системы материальных точек	51
2.2.2. Системы твердых тел	58
2.2.3. Сплошная среда	61
2.3. Неголономные системы	62
2.4. Подвижные системы координат	68
2.4.1. Подвижная система координат	68

2.4.2. Свободные и голономные системы	71
2.4.3. Неголономные системы	74
2.5. Линеаризация кинематики	74
ГЛАВА 3. Основы кинетики	79
3.1. Кинетика точки	80
3.1.1. Уравнения Ньютона	80
3.1.2. Типы сил	81
3.2. Кинетика твердого тела	86
3.2.1. Уравнения Ньютона и Эйлера	86
3.2.2. Геометрия масс абсолютно твердого тела	93
3.2.3. Динамика относительного движения	96
3.3. Кинетика сплошной среды	97
3.3.1. Уравнения Коши	98
3.3.2. Закон Гука	100
3.3.3. Реакции связей	101
ГЛАВА 4. Принципы механики	103
4.1. Принцип виртуальных перемещений	103
4.2. Принципы Даламбера, Журдена и Гаусса	110
4.3. Принцип минимума потенциальной энергии	114
4.4. Принцип Гамильтона	115
4.5. Уравнения Лагранжа первого рода	117
4.6. Уравнения Лагранжа второго рода	118
ГЛАВА 5. Системы твердых тел	121
5.1. Локальные уравнения движения	122
5.2. Уравнения Ньютона – Эйлера	126
5.3. Уравнения движения систем с идеальными связями	129
5.3.1. Обыкновенные системы твердых тел	129
5.3.2. Системы твердых тел общего вида	138
5.4. Уравнения реакций в системах с идеальными связями	147
5.4.1. Расчет реакций	147
5.4.2. Оценка прочности	151
5.4.3. Балансировка масс в системах твердых тел	154
5.5. Уравнения движения и реакции в системах с неидеальными связями	157
5.6. Гироскопические уравнения для спутников	159

5.7. Формализмы для систем твердых тел	162
5.7.1. Нерекурсивные формализмы	163
5.7.2. Рекурсивные формализмы	168
ГЛАВА 6. Системы конечных элементов	175
6.1. Локальные уравнения движения	176
6.1.1. Тетраздральный элемент	176
6.1.2. Пространственный балочный элемент	178
6.2. Глобальные уравнения движения	184
6.3. Система балок	187
6.4. Расчет прочности	194
ГЛАВА 7. Системы сплошных сред	197
7.1. Локальные уравнения движения	197
7.2. Собственные функции для бруса	200
7.3. Глобальные уравнения движения	203
ГЛАВА 8. Механические системы и общая динамическая теория	209
8.1. Нелинейные уравнения состояния	209
8.2. Линейные уравнения состояния	211
8.3. Преобразование линейных уравнений	211
8.4. Нормальные формы	214
ГЛАВА 9. Численные методы	219
9.1. Интегрирование нелинейных дифференциальных уравнений	219
9.2. Линейная алгебра автономных систем	222
9.3. Сравнение механических моделей	227
Приложение. Необходимые сведения из математики	231
А.1. Представление функций	231
А.2. Алгебра матриц	232
А.3. Матричный анализ	236
А.4. Список наиболее важных обозначений	236
Литература	243