

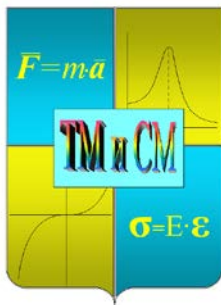
Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.И. РОДИОНОВ, В.Ф. КИМ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

ЧАСТЬ 3. ДИНАМИКА

Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве конспекта лекций



НОВОСИБИРСК
2010

УДК 531.01(075.8)
Р 605

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *В.П. Гилета*,
канд. техн. наук, доц. *А.А. Рыков*

Работа подготовлена на кафедре теоретической механики
и сопротивления материалов для студентов дневного
и заочного отделений авиа- и машиностроительных направлений

Родионов А.И.

Р 605 Теоретическая механика : конспект лекций с приложениями.
Ч. 3. Динамика / А.И. Родионов, В.Ф. Ким. – Новосибирск :
Изд-во НГТУ, 2010. – 240 с.

ISBN 978-5-7782-1483-5

Конспект лекций составлен в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по курсу «Теоретическая механика» для направлений: «Прикладная механика», «Авиа- и ракетостроение», «Оружие и системы вооружений», «Безопасность технологических процессов и производств». Конспект насыщен достаточным числом примеров и приложениями, необходимыми для самостоятельной работы студента над материалом курса. В конспекте также приведены примеры оформления курсовых задач, календарного плана, рейтинговая таблица и плакаты по разделу «Динамика», прошедшие апробацию временем начиная с конца 60-х годов XX века.

Материал конспекта может быть также использован как базисный курс Теоретической механики для подготовки инженеров, специалистов и магистров других направлений на дневных и вечерних отделениях факультетов НГТУ.

УДК 531.01(075.8)

ISBN 978-5-7782-1483-5

© Родионов А.И., Ким В.Ф., 2010
© Новосибирский государственный
технический университет, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лекция 1. ВВЕДЕНИЕ В КУРС ДИНАМИКИ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....	3
1.1. Материальная точка.....	3
1.2. В каком смысле масса есть мера инертности?	4
1.3. Аксиомы классической динамики материальной точки	5
1.4. Динамические уравнения движения материальной точки	6
Лекция 2	8
2.1. Три задачи динамики материальной точки	8
2.2. Алгоритм решения задач динамики точки	9
2.3. Примеры решения задач динамики точки	10
Лекция 3. ДИНАМИКА ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТОЧКИ	16
Лекция 4. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ.....	20
Лекция 5. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ (ПРОДОЛЖЕНИЕ).....	25
Лекция 6	32
6.1. Введение в динамику системы. Масса механической системы.....	32
6.2. Способы определения положения центра масс системы	34
Лекция 7	37
7.1. Введение в динамику систем постоянного состава	37
7.2. Общие теоремы динамики системы	39
Лекция 8	47
8.1. Вычисления кинетической энергии системы	47
8.2. Кинетическая энергия тела при простейших его движениях.....	48
Лекция 9	50
9.1. Вычисление работы и мощности сил и пар сил в частных случаях	50
9.2. Мощность и работа внутренних сил в абсолютно твердом теле	51
9.3. Мощность и работа потенциальных сил.....	52
9.4. Мощность и работа реакций идеальных связей	53
9.5. Мощность и работа диссипативных сил и пар сил как реакций неидеальных связей	54

Лекция 10	55
10.1. Пример решения задачи динамики системы с $s = 1$	55
10.2. Радиус инерции	56
Лекция 11	59
11.1. Теоремы о движении центра масс системы и об изменении количества движений системы	59
11.2. Влияние формы и импульса на перемещение массы (Теорема Суднишникова, 1944 г.)	61
Лекция 12	62
12.1. Теорема Эйлера о движении сплошной несжимаемой среды.....	62
12.2. Примеры решения задач.....	64
Лекция 13	70
13.1. Теорема об изменении кинетического момента системы	70
13.2. Вычисление кинетического момента системы твердых тел	72
Лекция 14. ВЫЧИСЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОГО МОМЕНТА ТВЕРДОГО ТЕЛА ПРИ ЕГО ПРОСТЕЙШИХ ДВИЖЕНИЯХ	73
Лекция 15	77
15.1. Скаляр. Вектор. Тензор	77
15.2. Главные и главные центральные оси инерции	78
15.3. Теорема Гюйгенса–Штейнера	80
15.4. Матричная форма пересчета компонент тензора инерции из главных осей к осям в точке O	81
15.5. Формулы для момента инерции относительно произвольной оси L и кинетической энергии при сферическом движении	82
15.6. Формулы для ручного пересчета компонент тензора инерции	82
Лекция 16	84
16.1. Свойства осевых и центробежных моментов инерции.....	84
16.2. Тензор инерции простейших тел в главных центральных осях.....	84
16.3. Пример вычисления компонент тензора инерции в матричной форме в осях x, y, z	87
Лекция 17	89
17.1. Принцип Даламбера. Принцип и метод кинетостатики	89

17.2. Вычисление главного вектора и главного момента даламберовых сил инерции	91
17.3. Эквивалентность принципа кинетостатики теоремам о движении центра масс системы и об изменении кинетического момента системы	91
17.4. Вычисление главного вектора и главного момента сил инерции твердого тела при простейших его движениях	92
17.5. О задачах, решаемых методами кинетостатики	94
Лекция 18. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ПРОСТЕЙШИХ ДВИЖЕНИЙ ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ ЭТИХ ДВИЖЕНИЙ	94
18.1. Поступательное движение твердого тела	94
18.2. Дифференциальное уравнение вращения вокруг неподвижной оси	94
18.3. Дифференциальные уравнения плоского движения	95
18.4. Дифференциальные уравнения сферического движения как динамические уравнения Эйлера	95
18.5. Дифференциальные уравнения произвольного движения твердого тела	96
18.6. Динамика вращения несбалансированного тела вокруг неподвижной оси	96
Лекция 19. ЭЛЕМЕНТЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ	102
19.1. Введение	102
19.2. Возможные (виртуальные) перемещения точки и системы. Возможные скорости, ускорения..., возможная (виртуальная) работа	102
19.3. Связи	104
Лекция 20.	106
20.1. Динамический и статический принципы возможных перемещений. Общие уравнения динамики и статики. Принцип Даламбера–Лагранжа	106
20.2. Примеры решения задач на принцип возможных перемещений	108
20.3. Общее уравнение динамики для S степеней свободы	111
Лекция 21.	111
21.1. Обобщенные координаты, скорости и ускорения	111

21.2. Обобщенные силы	113
21.3. Вычисления обобщенных сил в частных случаях.....	115
21.4. Примеры Вычисления обобщенных сил.....	116
Лекция 22. КОВАРИАНТНЫЕ ФОРМЫ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ.....	119
22.1. Уравнения движения в обобщенных силах Q	119
22.2. Вычисление обобщенных сил инерции по Лагранжу, Аппелю и Нильсену.....	120
21.3. Уравнения Лагранжа, Аппеля, Нильсена.....	121
22.4. Вычисление кинетической энергии.....	122
22.5. Алгоритм составления уравнений Лагранжа (Нильсена) и решения задач динамики	124
Лекция 23.....	125
23.1. Формы записи уравнений движения и их решение	125
23.2. О движении инерциодов	128
Лекция 24. МАЛЫЕ КОЛЕБАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОКОЛО ПОЛОЖЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАВНОВЕСИЯ	131
24.1. Введение	131
24.2. Определение положения равновесия	131
24.3. Устойчивость положения равновесия.....	134
Лекция 25.....	136
25.1. Пример на малые колебания механической системы с одной степенью свободы около положения устойчивого равновесия	136
25.2. О вибромеханике в НГТУ	139
Лекция 26. ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. ПЕРВАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ АНАЛОГИЯ. УРАВНЕНИЯ ЛАГРАНЖА–МАКСВЕЛЛА	141
26.1. Введение	141
26.2. Постулат Масквелла	141
26.3. Первая электромеханическая аналогия.....	142
26.4. Использование уравнений Лагранжа для расчета чисто электрических систем.....	143

26.5. Пример использования уравнений Лагранжа–Масквелла для расчета электромеханической системы типа датчика ускорений.....	144
Лекция 27. О ДИНАМИКЕ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ. ВВЕДЕНИЕ	149
27.1. Механика программных движений	149
27.2. Системы с дифференциальными связями.....	152
Лекция 28.....	159
28.1. Итоги курса.....	159
28.2. Неразрушающий удар твердых тел как процесс	159
28.3. О достижениях НГТУ в области изучения ударных процессов и создания ударной испытательной техники.....	161
ПРИЛОЖЕНИЯ	166
Приложение 1	166
Приложение 2	173
Приложение 3	175
Приложение 4.....	209

**Родионов Андрей Иванович
Ким Виталий Федорович**

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Часть 3

ДИНАМИКА

Учебное пособие

Редактор *Л.Н. Ветчакова*
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*
Дизайн обложки *А.В. Ладыжская*
Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

Подписано в печать 12.10.2010. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 250 экз.
Уч.-изд. л. 13,95. Печ. л. 15,0. Изд. № 325. Заказ № Цена договорная

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20