



С.И. Тимофеев

# Детали машин

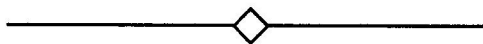
Соответствует Федеральному государственному  
образовательному стандарту  
(третьего поколения)



Серия  
«Высшее образование»

С. И. ТИМОФЕЕВ

# ДЕТАЛИ МАШИН



*Допущено  
Учебно-методическим объединением  
университетского политехнического образования  
в качестве учебного пособия  
для студентов вузов*

***Издание третье,  
переработанное и дополненное***

Ростов-на-Дону  
«Феникс»  
2013

УДК 621.81/.85(075.8)  
ББК 34.44я73  
КТК 235

Т41

**Рецензенты:**

кафедра основ конструирования деталей и узлов машин Московского государственного технического университета (МВТУ),  
заведующий кафедрой доктор технических наук  
профессор *О.А. Ряховский*;  
доктор технических наук профессор *Д.М. Беленький* (Ростовский ГСУ);  
доктор технических наук профессор *Б.В. Соболев* (Донской ГТУ).

**Тимофеев С. И.**

**Т41** Детали машин : учебное пособие / С. И. Тимофеев. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — Ростов н/Д : Феникс, 2013. — 572, [1] с. : ил. — (Высшее образование).

**ISBN 978-5-222-20175-6**

Как и во всех учебниках с традиционным названием «Детали машин», здесь излагаются основы теории расчета и конструирования деталей, сборочных единиц, соединений деталей машин, фрикционных, зубчатых, цепных механизмов передачи вращения, винтовых механизмов, осей и валов, подшипников, упругих элементов и приводных муфт.

Содержание книги соответствует учебным программам дисциплин «Детали машин», «Детали машин (приборов), основы конструирования», разделов «Детали машин» программ дисциплин «Проектирование приборов (машин)», «Техническая механика», «Теория механизмов и детали машин» и др.

В учебных планах не всех специальностей, где изучаются перечисленные дисциплины, есть «Сопrotивление материалов», «Теоретическая механика», «Теория механизмов и механика машин», необходимые для изучения «Деталей машин». По этой причине в первых двух, пятой и шестой главах этого издания излагаются сведения из этих дисциплин.

**ISBN 978-5-222-20175-6**

УДК 621.81/.85(075.8)  
ББК 34.44я73

© Тимофеев С. И., 2013  
© Оформление: ООО «Феникс», 2013

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	9
Основные обозначения .....	11
<b>Часть I. ОСНОВЫ РАСЧЕТА ДЕТАЛЕЙ МАШИН .....</b>	<b>13</b>
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О РАВНОВЕСИИ И ДВИЖЕНИИ ТЕЛ .....	13
1.1. Равновесие взаимодействующих тел .....	13
1.1.1. Сила, системы сил и их преобразование .....	13
1.1.2. Система сходящихся сил .....	17
1.1.3. Теоремы о парах сил .....	18
1.1.4. Преобразование пространственной системы сил .....	19
1.1.5. Уравнения равновесия пространственной системы сил .....	22
1.1.6. Плоская система сил .....	24
1.2. Геометрические свойства движения и кинематические параметры тел .....	28
1.2.1. Способы задания движения точки .....	28
1.2.2. Скорость и ускорение точки .....	29
1.2.3. Характеристики движения твердого тела .....	30
1.3. Движение твердых тел под действием сил .....	40
1.3.1. Динамика свободной точки .....	40
1.3.2. Геометрические характеристики распределения массы тела по объему .....	41
1.3.3. Общие теоремы динамики .....	44
1.3.4. Движение твердого тела .....	54
2. ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН .....	59
2.1. Напряжения и их статические эквиваленты .....	59
2.2. Растяжение стержней .....	67
2.2.1. Напряжения и деформации .....	67
2.2.2. Механические характеристики материалов .....	69
2.2.3. Расчет на прочность при растяжении .....	73
2.3. Кручение круглых стержней .....	75
2.3.1. Крутящий момент .....	75
2.3.2. Касательные напряжения и угол закручивания .....	77
2.3.3. Расчет круглого стержня при кручении .....	79
2.4. Критерии прочности изотропных материалов .....	82

2.5. Изгиб стержней .....	85
2.5.1. Поперечные силы и изгибающие моменты .....	86
2.5.2. Нормальные и касательные напряжения в балках .....	96
2.5.3. Расчет балок на прочность .....	100
2.5.4. Перемещения при изгибе .....	101
2.6. Сложные случаи нагружения стержней .....	105
2.7. Устойчивость и колебания стержней .....	114
2.7.1. Устойчивость стержней .....	114
2.7.2. Свободные колебания стержней .....	118
2.7.2.1. Продольные колебания .....	119
2.7.2.2. Поперечные колебания балки на двух опорах .....	121
3. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ДЕТАЛЕЙ МАШИН .....	126
3.1. Особенности конструкции и нагружения .....	126
3.2. Основные требования к машинам и их деталям. ....	127
3.3. Материалы для машин и механизмов .....	129
3.4. Допуски и посадки .....	133
3.5. Шероховатость поверхностей деталей .....	135
3.6. Технологичность .....	136
3.7. Износ сопряженных поверхностей кинематических пар .....	138
3.7.1. Условия взаимодействия кинематических пар .....	138
3.7.2. Трение в механизмах и машинах .....	144
3.7.3. Нагрев деталей механизмов .....	148
3.7.4. Виды износа деталей, способы защиты .....	150
3.8. Расчет на прочность при циклическом изменении напряжений ....	155
4. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН .....	168
4.1. Резьбовые соединения .....	168
4.1.1. Резьбы и крепежные детали .....	168
4.1.2. Расчет болтов при растяжении .....	174
4.1.3. Расчет болтовых соединений при произвольном направлении внешней силы .....	182
4.1.4. Расчет болтов при сдвиге .....	185
4.1.5. Расчет на усталостную прочность .....	186
4.2. Заклепочные соединения .....	189
4.2.1. Заклепки .....	189
4.2.2. Расчет соединений .....	192
4.3. Сварные соединения .....	196

4.3.1. Общая характеристика .....	196
4.3.2. Виды сварных швов .....	198
4.3.3. Расчет на прочность .....	202
4.4. Паяные соединения .....	206
4.5. Клеевые соединения .....	209
4.6. Соединения валов с другими деталями механизмов .....	210
4.6.1. Шпоночные соединения .....	211
4.6.2. Зубчатые (шлицевые) соединения .....	213
4.6.3. Соединение с натягом .....	219
<b>Часть II. МЕХАНИЗМЫ .....</b>	<b>224</b>
5. СТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ .....	224
5.1. Кинематические пары .....	225
5.2. Кинематические цепи .....	228
5.3. Классификация механизмов по их структуре .....	230
6. РЫЧАЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ .....	232
6.1. Виды рычажных механизмов .....	232
6.2. Кинематический анализ рычажных механизмов .....	234
6.2.1. Скорости и ускорения точек звеньев .....	234
6.3. Силовой анализ рычажных механизмов .....	241
7. ФРИКЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ .....	247
7.1. Общая характеристика механизмов передачи вращения .....	247
7.2. Фрикционные механизмы с жесткими звеньями .....	250
7.3. Фрикционные вариаторы .....	257
7.4. Фрикционные механизмы с гибкими связями .....	258
7.4.1. Общая характеристика фрикционных механизмов с приводными ремнями .....	258
7.4.2. Ремни .....	259
7.4.3. Кинематический и силовой расчет механизмов по допускаемым напряжениям .....	262
7.4.4. Расчет ремней по тяговой способности .....	267
7.4.5. Шкивы .....	273
7.4.6. Зубчато-ременные механизмы .....	274
7.4.7. Ременные вариаторы .....	277

8. ЗУБЧАТЫЕ МЕХАНИЗМЫ .....	279
8.1. Общие сведения .....	279
8.2. Основная теорема зацепления .....	282
8.3. Изготовление цилиндрических зубчатых колес .....	287
8.4. Геометрические параметры цилиндрических зубчатых колес внешнего зацепления .....	297
8.5. Кинематические параметры зубчатых механизмов .....	299
8.6. Силы в зацеплении цилиндрических колес с зубьями эвольвентного профиля .....	301
8.7. Основные параметры и прочность механизмов с цилиндрическими колесами эвольвентного зацепления .....	313
8.7.1. Основные параметры .....	313
8.7.2. Контактная прочность зубьев (поверочный расчет) .....	317
8.7.3. Поверочный расчет зубьев на изгиб и сжатие .....	321
8.7.4. Расчет цилиндрических колес ступени редуктора (пример) .....	325
8.8. Механизмы с коническими колесами .....	333
8.8.1. Основные особенности .....	333
8.8.2. Геометрический расчет механизма с коническими колесами .....	333
8.8.3. Основные параметры механизма с коническими зубчатыми колесами .....	340
8.8.4. Поверочные расчеты на прочность .....	348
8.8.5. Расчет механизма (ступени редуктора) с коническими колесами эвольвентного зацепления (пример) .....	355
8.9. Механизмы с гиперболоидными колесами .....	360
8.9.1. Геометрические и кинематические параметры червячных механизмов .....	365
8.9.2. Основные параметры и прочность червячного механизма .....	370
8.9.3. Коэффициент полезного действия и нагрев редуктора ...	380
8.9.4. Гипоидные механизмы .....	383
8.9.5. Пример расчета основных параметров червячного механизма (ступени редуктора) .....	384
8.10. Механизмы с зубьями кругового профиля .....	389
8.10.1. Основные особенности зацепления Новикова .....	389
8.10.2. Расчет механизмов с зубьями кругового профиля (исходный контур Г. 15023-76) .....	392



8.10.3. Расчет механизмов с зубьями высокой изгибной прочности .....	395
8.10.4. Пример расчета цилиндрического механизма .....	410
8.11. Многозвенные механизмы с неподвижными осями .....	418
8.11.1. Оптимальный проект редуктора .....	422
8.11.2. Материалы для зубчатых колес, способы их упрочнения. Допускаемые напряжения .....	424
8.11.3. Потери на трение .....	430
8.12. Планетарные редукторы .....	431
8.12.1. Конструктивные схемы и кинематика эпициклических механизмов .....	432
8.12.2. Основные параметры и прочность механизмов .....	439
8.13. Волновые механизмы .....	440
8.13.1. Структурные схемы .....	440
8.13.2. Принцип действия и кинематика .....	444
8.13.3. Расчет гибких колес .....	448
9. ЦЕПНЫЕ МЕХАНИЗМЫ .....	451
9.1. Приводные цепи и звездочки .....	453
9.2. Расчет цепных механизмов .....	455
10. ВИНТОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ .....	461
10.1. Краткие сведения о конструкции .....	461
10.2. Расчет механизмов .....	465
10.2.1. Механизмы с трением скольжения .....	465
10.2.2. Механизмы с шариками .....	467
10.2.3. Устойчивость винтов .....	469
11. ВАЛЫ И ОСИ .....	470
11.1. Конструкция и материалы .....	470
11.2. Расчет на прочность .....	472
11.3. Расчет на жесткость .....	485
11.4. Колебания валов и осей .....	490
11.4.1. Собственные колебания .....	490
11.4.2. Вынужденные колебания вращающихся валов .....	493
12. ОПОРЫ ПОДВИЖНЫХ ЗВЕНЬЕВ МЕХАНИЗМОВ .....	496
12.1. Общая характеристика .....	496



## ДЕТАЛИ МАШИН

---

12.2. Подшипники скольжения .....	497
12.2.1. Конструкция .....	497
12.2.2. Расчет подшипников скольжения .....	499
12.3. Подшипники качения .....	504
12.3.1. Конструкция .....	504
12.3.2. Кинематика и динамика подшипников .....	507
12.3.3. Внешние силы .....	509
12.3.4. О долговечности подшипников .....	512
12.3.5. О статической грузоподъемности подшипников .....	515
12.3.6. Подбор и проверка подшипников .....	517
13. УПРУГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН .....	522
13.1. Пружины .....	523
13.1.1. Материал и допускаемые напряжения .....	523
13.1.2. Витые пружины .....	524
13.1.3. Тарельчатые пружины .....	532
13.1.4. Кольцевые пружины .....	533
13.1.5. Прочность витых пружин при циклическом изменении напряжений .....	534
13.1.6. Колебания пружин .....	535
13.2. Рессоры .....	538
13.2.1. Конструкция рессор .....	538
13.2.2. Расчет рессор .....	540
14. МУФТЫ .....	545
14.1. Глухие муфты .....	545
14.2. Компенсирующие муфты .....	546
14.3. Упругие муфты .....	552
14.4. Сцепные управляемые муфты .....	559
14.5. Самодействующие муфты .....	565
Приложение .....	572
Список литературы .....	573