

О.П. Леликов

ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН

*Конспект лекций
по курсу “Детали машин”*

4-е издание, исправленное

Москва «Инновационное машиностроение» 2021

УДК 621.81.001.66

ББК 34.42

Л33

Л33

Леликов О.П.

Основы расчета и проектирования деталей и узлов машин.
Конспект лекций по курсу "Детали машин". 4-е изд. перераб. и
доп. – М.: Инновационное машиностроение, 2021. – 464 с.: ил.

ISBN 978-5-907104-62-4

Изложены теоретические основы и инженерные методы расчета и проектирования деталей и узлов общемашиностроительного применения. Рассмотрены наиболее сложные темы по основным разделам курса "Детали машин": разъемные и неразъемные соединения, передачи трением и зацеплением; валы и оси; подшипники качения и скольжения; муфты приводов.

4-е издание (3-е изд. 2007 г.) исправлено и переработано в соответствии с современной научно-технической документацией, а также дополнено приложением по новой методике расчета ресурса подшипников качения.

Для студентов технических специальностей вузов; может быть полезен также слушателям факультетов повышения квалификации преподавателей, инженерам, конструкторам.

УДК 621.81.001.66

ББК 34.42

ISBN 978-5-907104-62-4

© ООО "Издательство "Инновационное
машиностроение", 2021

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов,
публикованных в данной книге, допускаются только с разрешения
издательства и со ссылкой на источник информации

ПРЕДИСЛОВИЕ

Конспект лекций написан по программе курса с традиционным названием "Детали машин" для технических специальностей высших учебных заведений России, которые автор читает в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Балумана и которые отражают опыт работы кафедры "Основы конструирования машин". Объем каждой лекции соответствует реальному времени, затрачиваемому в аудитории, с учетом изображения рисунков лектором на доске и слушателями в тетради.

В конспекте лекций изложены теоретические основы и инженерные методы расчета и проектирования деталей и узлов машин – неотъемлемые составляющие конструирования. Рассмотрены 29 тем по основным разделам курса: разъемные и неразъемные соединения; передачи трением и зацеплением; валы и оси; подшипники качения и скольжения; муфты приводов. Общее число лекций – 36. Вместе с другими литературными источниками конспект лекций призван заложить основу конструкторской подготовки, формирования широкого инженерного мышления.

3-е издание (2-е изд. 2004 г.) исправлено и переработано в соответствии с современной научно-технической документацией и дополнено приложением по новой методике расчета ресурса подшипников качения. Значительно переработаны темы: "Резьбовые соединения", "Зубчатые передачи", "Червячные передачи", "Подшипники качения", а также "Муфты приводов".

В лекциях, как известно, есть возможность изложения новейших достижений науки и техники, а ограниченность их по времени вынуждает рассматривать лишь узловые вопросы и разделы, наиболее трудные для самостоятельного изучения. Более подробное изложение можно найти в учебниках [1–3], учебных пособиях [4–6, 10], энциклопедии [7], справочниках [8, 9].

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
ЛЕКЦИЯ 1	4
Тема 1. Задачи и методы курса "Детали машин"	4
Тема 2. Основные понятия и показатели надежности	7
Тема 3. Критерии работоспособности и расчета деталей машин	10
3.1. Прочность	11
3.2. Жесткость	15
ЛЕКЦИЯ 2	17
Тема 3. Критерии работоспособности и расчета деталей машин	17
3.3. Износостойкость	17
3.4. Теплостойкость	19
3.5. Виброустойчивость	19
Тема 4. Общие вопросы проектирования	21
4.1. Проектировочный и проверочный расчеты	21
4.2. Комплексная модель качества	22
4.3. Комплексное и системное проектирование	27
ЛЕКЦИЯ 3	30
Тема 5. Резьбовые соединения	30
5.1. Общие сведения	30
5.2. Винтовая линия	32
5.3. Метрическая резьба	34
5.4. Механические свойства материалов резьбовых деталей	35
5.5. Соотношение между силами и моментами, действующими на резьбовые детали в процессе затяжки	38
5.6. Условие самоторможения резьбы	42
5.7. Прочность затянутого резьбового соединения	43
ЛЕКЦИЯ 4	44
Тема 5. Резьбовые соединения	44
5.7. Прочность затянутого резьбового соединения. Продолжение	44
5.8. Основные случаи расчета резьбовых соединений	46
5.9. Допускаемые напряжения в болтах при постоянных нагрузках	56

ЛЕКЦИЯ 5	57
Тема 5. Резьбовые соединения	57
5.10. Расчет резьбовых соединений при переменных нагрузках	57
5.11. Расчет группы болтов	61
ЛЕКЦИЯ 6	72
Тема 6. Сварные соединения	72
6.1. Общие сведения	72
6.2. Соединения электродуговой и газовой сваркой	73
6.2.1. Сварныестыковые соединения	76
6.2.2. Сварные нахлесточные соединения	77
ЛЕКЦИЯ 7	80
Тема 6. Сварные соединения	80
6.2.2. Сварные нахлесточные соединения.	
Продолжение	80
6.2.3. Сварные тавровые соединения	84
6.3. Конструкция и расчет соединений, выполненных контактной сваркой	86
6.4. Выбор допускаемых напряжений для расчета сварных соединений	88
6.5. Расчет сварных соединений при переменных режимах нагружения	89
ЛЕКЦИЯ 8	93
Тема 7. Паяные соединения	93
7.1. Общие сведения	93
7.2. Конструкции паяных соединений	95
7.3. Расчет паяных соединений на прочность	97
Тема 8. Клеевые соединения	98
8.1. Общие сведения	98
8.2. Конструкции клеевых соединений	99
8.3. Расчет клеевых соединений на прочность	101
8.4. Выбор клеев и склеивание	102
ЛЕКЦИЯ 9	104
Тема 9. Заклепочные соединения	104
9.1. Общие сведения	104
9.2. Типы заклепок. Конструкции швов	105

9.3.	Расчет заклепочного соединения, нагруженного растягивающей силой и моментом в плоскости стыка	107
9.4.	Расчет заклепки на прочность	108
9.5.	Расчет деталей заклепочного соединения на прочность	109
9.6.	Материалы заклепок и выбор допускаемых напряжений	111
Тема 10. Соединения с натягом		112
10.1.	Краткие сведения о допусках и посадках	112
ЛЕКЦИЯ 10		116
Тема 10. Соединения с натягом		116
10.2.	Вероятностная оценка натяга посадки	116
10.3.	Нагрузочная способность соединений с натягом	118
10.4.	Напряженное состояние деталей соединения с натягом	124
ЛЕКЦИЯ 11		126
Тема 10. Соединения с натягом		126
10.5.	Упрощенный расчет деталей соединений с натягом на отсутствие пластических деформаций	126
10.6.	Последовательность подбора посадки	128
10.7.	Расчет соединений с натягом, нагруженных изгибающим моментом	128
10.8.	Особенности сборки и конструирования соединений с натягом	130
10.9.	Соединения посадкой на конус	133
ЛЕКЦИЯ 12		135
Тема 11. Шпоночные соединения		135
11.1.	Общие сведения	135
11.2.	Соединения с призматическими шпонками	136
11.3.	Соединения с сегментными шпонками	139
11.4.	Материалы шпонок и выбор допускаемых напряжений	140
Тема 12. Шлицевые соединения		141
12.1.	Общие сведения	141
12.2.	Расчет шлицевых соединений	146

ЛЕКЦИЯ 13	149
Тема 13. Механические передачи	149
13.1. Общие сведения	149
13.2. Краткие сведения о контактных напряжениях	153
13.3. Характер и причины отказов под действием контактных напряжений	156
Тема 14. Зубчатые передачи	159
14.1. Общие сведения	159
ЛЕКЦИЯ 14	163
Тема 14. Зубчатые передачи	163
14.2. Точность зубчатых передач	163
14.3. Материалы зубчатых колес	165
14.4. Характер и причины отказов зубчатых передач	168
14.5. Выбор допускаемых контактных напряжений при постоянном режиме нагружения	170
ЛЕКЦИЯ 15	174
Тема 14. Зубчатые передачи	174
14.6. Выбор допускаемых напряжений изгиба при постоянном режиме нагружения	174
14.7. Выбор допускаемых напряжений при переменном режиме нагружения	176
14.8. Типовые режимы нагружения	180
14.9. Критерии работоспособности зубчатых передач	181
ЛЕКЦИЯ 16	183
Тема 14. Зубчатые передачи	183
14.10. Расчетная нагрузка	183
Тема 15. Цилиндрические зубчатые передачи	190
15.1. Силы в зацеплении цилиндрических зубчатых передач	190
15.2. Расчет прямозубых цилиндрических передач на контактную прочность	191
ЛЕКЦИЯ 17	197
Тема 15. Цилиндрические зубчатые передачи	197
15.3. Расчет зубьев цилиндрических передач на прочность при изгибе	197
15.4. Особенности геометрии и условий работы конос зубчатых передач	201

15.5.	Понятие о эквивалентном колесе	204
15.6.	Особенности расчетов на прочность косозубых передач	205
15.7.	Расчет на прочность зубчатых передач при действии пиковой нагрузки	205
ЛЕКЦИЯ 18		208
Тема 16. Конические зубчатые передачи		208
16.1.	Общие сведения	208
16.2.	Осевая форма зуба	210
16.3.	Основные геометрические соотношения	211
16.4.	Эквивалентное цилиндрическое колесо	212
16.5.	Силы в зацеплении	213
16.6.	Расчет конических зубчатых передач на контактную прочность	215
16.7.	Расчет зубьев конической передачи на прочность при изгибе	217
ЛЕКЦИЯ 19		219
Тема 17. Червячные передачи		219
17.1.	Общие сведения	219
17.2.	Геометрия червячной передачи	221
17.3.	Кинематика передачи	227
17.4.	Скольжение в червячной передаче	228
17.5.	КПД червячной передачи	230
17.6.	Силы в зацеплении	231
17.7.	Проверка тела червяка на жесткость	232
ЛЕКЦИЯ 20		233
Тема 17. Червячные передачи		233
17.8.	Материалы червяков и венцов червячных колес	233
17.9.	Характер и причины отказов червячных передач	234
17.10.	Расчет передач на контактную прочность и предотвращение заедания	235
17.11.	Расчет зубьев колес на прочность при изгибе	239
17.12.	Выбор допускаемых напряжений	240
17.13.	Тепловой расчет	243
ЛЕКЦИЯ 21		246
Тема 18. Планетарные зубчатые передачи		246
18.1.	Общие сведения	246

18.2. Передаточное отношение	248
18.3. Схемы планетарных передач	250
18.4. Вращающие моменты на основных звеньях	251
18.5. Силы в зацеплении	252
18.6. Подбор чисел зубьев колес	253
18.7. Расчет планетарных передач на прочность	255
ЛЕКЦИЯ 22	257
Тема 19. Волновые передачи	257
19.1. Устройство и принцип работы фрикционной волновой передачи	257
19.2. Зубчатая волновая передача	259
19.3. Принцип работы волновой зубчатой передачи	260
19.4. Передаточное отношение волновой зубчатой передачи	261
19.5. Связь радиальной деформации с передаточным отношением	263
19.6. Характер и причины отказов деталей волновых передач	265
19.7. Расчет гибкого колеса на сопротивление усталости	266
ЛЕКЦИЯ 23	270
Тема 20. Ременные передачи	270
20.1. Общие сведения	270
20.2. Силы в передаче	272
20.3. Напряжения в ремне	275
20.4. Скольжение ремня по шкивам. Передаточное число	277
20.5. Критерии работоспособности и расчета ременной передачи	279
ЛЕКЦИЯ 24	283
Тема 21. Передачи клиновым и поликлиновым ремнем	283
21.1. Общие сведения	283
21.2. Расчет передачи клиновым и поликлиновым ремнем	287
Тема 22. Передачи зубчатым ремнем	291
22.1. Общие сведения	291
22.2. Расчет передачи зубчатым ремнем	292

ЛЕКЦИЯ 25	295
Тема 23. Цепные передачи	295
23.1. Общие сведения	295
23.2. Приводные цепи	296
23.3. Особенности работы цепных передач	300
23.4. Звездочки	302
23.5. Силы в ветвях цепи	303
23.6. Характер и причины отказов цепных передач	305
23.7. Расчет передачи роликовой (втулочной) цепью	305
23.8. Натяжение цепи. КПД цепных передач	307
ЛЕКЦИЯ 26	308
Тема 24. Передачи винт-гайка скольжения	308
24.1. Общие сведения о передачах винт-гайка	308
24.2. Передачи скольжения. Конструкция и материа-	
лы	310
24.3. КПД передачи скольжения	313
24.4. Расчет передачи винт-гайка скольжения	314
Тема 25. Передачи винт-гайка качения	317
25.1. Общие сведения	317
25.2. Устройство и принцип работы шариковинто-	
вых передач	318
ЛЕКЦИЯ 27	321
Тема 25. Передачи винт-гайка качения	321
25.3. ШВП с предварительным натягом	321
25.4. Основные геометрические соотношения	322
25.5. Коэффициент трения качения	323
25.6. Силовое взаимодействие в ШВП и расчет по-	
терь на трение	325
ЛЕКЦИЯ 28	331
Тема 25. Передачи винт-гайка качения	331
25.7. Коэффициент полезного действия	331
25.8. Контактные напряжения	332
25.9. Определение числа циклов нагружения	334
25.10. Характер и причины отказов шариковинто-	
вых передач	337
25.11. Расчет шариковинтовой передачи	338

ЛЕКЦИЯ 29	343
Тема 26. Валы и оси	343
26.1. Общие сведения	343
26.2. Способы передачи нагрузок на валы	346
26.3. Критерии работоспособности валов и осей	348
26.4. Проектировочный расчет валов	348
26.5. Проверочный расчет валов	349
ЛЕКЦИЯ 30	357
Тема 27. Подшипники качения	357
27.1. Общие сведения	357
27.2. Классификация подшипников качения	358
27.3. Назначение основных деталей подшипника	359
27.4. Материалы деталей подшипников	361
27.5. Система условных обозначений	361
27.6. Характер и причины отказов подшипников качения	365
27.7. Распределение сил между телами качения	366
ЛЕКЦИЯ 31	371
Тема 27. Подшипники качения	371
27.8. Кинематика подшипника. Определение числа циклов нагружения	371
27.9. Статическая расчетная грузоподъемность подшипника	376
27.10. Расчет подшипников на статическую грузо- подъемность	377
27.11. Испытания подшипников качения на ресурс	379
ЛЕКЦИЯ 32	383
Тема 27. Подшипники качения	383
27.12. Динамическая расчетная грузоподъемность подшипника	383
27.13. Расчет эквивалентной динамической нагруз- ки при постоянном режиме нагружения	385
27.14. Расчет эквивалентной нагрузки при перемен- ных режимах нагружения	386
27.15. Расчет подшипников на заданный ресурс	388
27.16. Выбор значений коэффициента a_{23}	390

27.17. Особенности определения осевых сил, на- гружающих радиально-упорные подшипники	391
27.18. Посадки колец подшипников	393
ЛЕКЦИЯ 33	396
Тема 28. Подшипники скольжения	396
28.1. Общие сведения	396
28.2. Режимы смазки	398
28.3. Материалы вкладышей	400
28.4. Виды отказов подшипников скольжения . . .	401
28.5. Расчет подшипников в условиях несовер- шенной смазки	401
28.6. Несущая способность масляного слоя	402
28.7. Несущая способность подшипника скольже- ния в условиях жидкостной смазки	404
28.8. Трение в подшипнике скольжения	408
ЛЕКЦИЯ 34	410
Тема 29. Муфты приводов	410
29.1. Общие сведения	410
29.2. Расчетный момент	412
29.3. Глухие муфты	413
29.4. Смещения валов. Жесткие компенсирующие муфты	415
29.5. Основные свойства упругих муфт	419
ЛЕКЦИЯ 35	422
Тема 29. Муфты приводов	422
29.6. Конструкции упругих компенсирующих муфт	422
29.7. Сцепные кулачковые муфты	424
29.8. Сцепные фрикционные муфты	427
ЛЕКЦИЯ 36	432
Тема 29. Муфты приводов	432
29.9. Предохранительные муфты	432
29.10. Центробежные муфты	434
29.11. Обгонные муфты	436
Приложение. Новая методика расчета ресурса подшипников качения	442
Список литературы	454