

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Е.П. ЖИЛЬНИКОВ, В.Б. БАЛЯКИН, А.Н. ТИХОНОВ

ДЕТАЛИ МАШИН

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» в качестве учебника для студентов, обучающихся по программе высшего профессионального образования по направлению подготовки бакалавров «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей»

САМАРА
Издательство СГАУ
2012

УДК 621.81(075)

ББК 34.44

Ж 726

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Я. М. К л е б а н о в,
д-р техн. наук, проф. С. В. Ф а л а л е е в

Жильников Е.П.

Ж 726 **Детали машин [Электронный ресурс]:** учеб. для студентов факультета инженеров воздушного транспорта / *Е.П. Жильников, В.Б. Балякин, А.Н. Тихонов.* – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD ROM).

ISBN 978-5-7883-0922-4

Учебник соответствует программе курса «Детали машин» для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 162300.62. Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей. Приводятся сведения о критериях работоспособности и методах расчета типовых деталей машин, применяемых в изделиях авиационной техники.

УДК 621.81(075)

ББК 34.44

ISBN 978-5-7883-0922-4

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Введение	8
1. Основные понятия и критерии работоспособности деталей машин	9
1.1. Машина, узел, деталь. Требования к деталям машин.....	9
1.2. Критерий прочности деталей машин.....	10
1.2.1. Определение разрушающих напряжений.....	12
1.2.2. Запасы прочности. Вероятностный выбор запасов прочности....	15
1.2.3. Проверка прочности при переменных режимах нагружения.....	18
1.3. Критерий жесткости деталей машин.....	22
1.4. Критерий виброустойчивости деталей машин.....	23
1.5. Критерий теплостойкости деталей машин.....	27
1.6. Критерий износостойкости деталей машин.....	28
1.6.1. Виды трения в машинах.....	28
1.6.2. Гидродинамический эффект.....	30
1.6.3. Виды изнашивания деталей машин.....	33
1.7. Надежность машин и деталей.....	33
1.8. Классификация деталей машин общего назначения.....	37
2. Механические передачи	38
2.1. Кинематические и энергетические отношения в передачах.....	38
2.2. Зубчатые передачи.....	40
2.2.1. Классификация зубчатых передач.....	40
2.2.2. Основные свойства эвольвентного зацепления.....	41
2.2.3. Стандартный исходный контур эвольвентных зубчатых передач.....	44
2.2.4. Цилиндрические зубчатые передачи.....	47
2.2.4.1. Элементы геометрии цилиндрических зубчатых передач.....	47
2.2.4.2. Усилия в зацеплении цилиндрических зубчатых передач.....	50
2.2.4.3. Виды разрушений зубчатых передач.....	55
2.2.4.4. Понятие о контактных напряжениях и деформациях.....	57
2.2.4.5. Определение допускаемых напряжений при расчете зубчатых передач.....	59
2.2.4.6. Расчет на прочность цилиндрических зубчатых передач по контактным напряжениям.....	65
2.2.4.7. Расчет прямозубой цилиндрической передачи по напряжениям изгиба.....	69
2.2.4.8. Понятие о прямозубом цилиндрическом колесе, эквивалентном косозубому.....	72
2.2.4.9. Расчет косозубого цилиндрического колеса по напряжениям изгиба.....	73
2.2.4.10. Коэффициенты нагрузки при расчетах на прочность зубчатых передач.....	75
2.2.5. Конические зубчатые передачи.....	84
2.2.5.1. Элементы геометрии конических зубчатых передач.....	84

2.2.5.2. Усилия в зацеплении конической зубчатой передачи.....	89
2.2.5.3. Понятие о прямозубом цилиндрическом колесе, эквивалентном коническому.....	91
2.2.5.4. Расчет на прочность конической зубчатой передачи.....	94
2.3. Винтовые передачи.....	98
2.3.1. Элементы геометрии винтовой передачи.....	99
2.3.2. Силовые соотношения в винтовой паре. Условие самоторможения и КПД винтовой передачи.....	101
2.3.3. Виды разрушений и критерии работоспособности винтовых передач.....	105
2.3.4. Проверка износостойкости винтовой передачи. Проверка устойчивости винта.....	106
2.4. Червячные передачи.....	108
2.4.1. Элементы геометрии червячной передачи.....	109
2.4.2. Усилия в зацеплении червячной передачи.....	114
2.4.3. Передаточное число и скольжение в червячной передаче.....	116
2.4.4. Виды разрушений и критерии работоспособности червячных передач.....	118
2.4.5. Допускаемые напряжения при расчете червячных передач.....	119
2.4.6. Понятие о прямозубом цилиндрическом колесе, биэквивалентном червячному.....	122
2.4.7. Расчет на прочность червячной передачи.....	123
2.5. Ременные передачи.....	127
2.5.1. Элементы геометрии ременной передачи.....	129
2.5.2. Силовые соотношения в ременной передаче.....	130
2.5.3. Передаточное отношение ременной передачи.....	133
2.5.4. Виды разрушений и критерии работоспособности ременных передач.....	135
2.5.5. Проверка прочности и теплостойкости ременной передачи.....	135
2.5.6. Расчет ременной передачи по тяговой способности.....	137
3. Соединения деталей машин.....	141
3.1. Резьбовые соединения.....	141
3.1.1. Элементы геометрии резьбового соединения.....	142
3.1.2. Расчет ненапряженного резьбового соединения.....	142
3.1.2.1. Распределение нагрузки по виткам резьбы.....	142
3.1.2.2. Проверка прочности элементов резьбы.....	144
3.1.2.3. Эксцентричное нагружение резьбового соединения.....	146
3.1.3. Расчет напряженного резьбового соединения.....	148
3.1.3.1. Моменты трения при затяжке гайки.....	148
3.1.3.2. Расчет затянутого болтового соединения без приложения внешней нагрузки.....	150
3.1.3.3. Расчет резьбового соединения, нагруженного сдвигающей нагрузкой.....	152

3.1.3.4. Расчет резьбового соединения, нагруженного внешней растягивающей нагрузкой.....	154
3.1.3.5. Требуемое усилие затяжки резьбового соединения из условия нераскрытия стыка.....	156
3.1.3.6. Определение коэффициентов податливости болта и соединяемых деталей резьбового соединения.....	157
3.1.3.7. Расчет резьбового соединения, нагруженного переменной растягивающей нагрузкой.....	159
3.1.4. Определение допускаемых напряжений при расчете резьбовых соединений.....	161
3.1.5. Расчет резьбового соединения, включающего группу болтов.....	164
3.2. Заклепочные соединения.....	170
3.2.1. Элементы геометрии заклепочного соединения.....	170
3.2.2. Виды разрушений и критерии работоспособности заклепочных соединений.....	172
3.2.3. Проверка прочности элементов заклепочного соединения.....	172
3.2.4. Расчет заклепочного шва.....	174
3.2.5. Допускаемые напряжения при расчете заклепочных соединений.....	176
3.3. Сварные соединения.....	178
3.3.1. Классификация сварных соединений.....	178
3.3.2. Виды разрушений и критерии работоспособности сварных соединений.....	180
3.3.3. Расчет стыкового сварного шва.....	180
3.3.4. Расчет валикового (углового) шва.....	181
3.3.5. Определение допускаемых напряжений при расчете сварных соединений.....	188
4. Детали, обслуживающие вращательное движение.....	190
4.1. Валы и оси.....	190
4.1.1. Расчетные схемы и расчетные нагрузки валов и осей.....	191
4.1.2. Виды разрушений и критерии работоспособности валов и осей..	192
4.1.3. Проверка статической прочности валов	192
4.1.4. Проверка усталостной прочности валов	194
4.2. Опоры валов и осей.....	196
4.2.1. Подшипники качения.....	199
4.2.1.1. Напряжения и деформации в подшипниках качения.....	201
4.2.1.2. Распределение нагрузки между телами качения подшипника..	203
4.2.1.3. Потери на трение в подшипниках качения.....	207
4.2.1.4. Кинематика подшипников качения.....	208
4.2.1.5. Виды разрушений и критерии работоспособности подшипников качения.....	210
4.2.1.6. Проверка статической грузоподъемности подшипников качения.....	212
4.2.1.7. Расчет долговечности подшипников качения.....	213

4.2.1.8. Определение расчетной осевой нагрузки для радиально-упорных подшипников.....	219
4.2.1.9. Расчет подшипников качения при повышенных требованиях к надежности.....	220
4.2.2. Подшипники скольжения.....	222
4.2.2.1. Элементы геометрии подшипника скольжения.....	224
4.2.2.2. Виды разрушений и критерии работоспособности подшипников скольжения.....	224
4.2.2.3. Расчет подшипников скольжения сухого и полужидкостного трения.....	225
4.2.2.4. Расчет гидродинамического подшипника скольжения.....	227
4.3. Соединения валов с установленными на них деталями.....	230
4.3.1. Шпоночные соединения.....	230
4.3.1.1. Расчет соединения с призматической шпонкой.....	233
4.3.1.2. Расчет соединения с круглой шпонкой.....	235
4.3.1.3. Расчет соединения с клиновой шпонкой.....	237
4.3.2. Шлицевые (зубчатые) соединения.....	240
4.3.2.1. Способы центрирования в шлицевых соединениях.....	241
4.3.2.2. Виды разрушений и критерии работоспособности шлицевых соединений.....	242
4.3.2.3. Элементы геометрии эвольвентных шлицевых соединений...	242
4.3.2.4. Расчет соединений с эвольвентными шлицами.....	243
4.3.3. Профильные соединения.....	247
4.3.4. Прессовые соединения.....	248
4.3.4.1. Определение требуемого посадочного натяга.....	249
4.3.4.2. Проверка прочности деталей прессового соединения.....	251
4.4. Муфты для соединения валов.....	253
4.4.1. Подбор стандартных муфт.....	254
4.4.2. Расчет нестандартных муфт.....	255
4.4.2.1. Расчет глухой втулочной муфты.....	255
4.4.2.2. Расчёт компенсирующей муфты.....	257
4.4.2.2.1. Расчет кулачково-дисковой муфты.....	257
4.4.2.2.2. Расчет зубчатой муфты.....	260
4.4.2.3. Муфты упругие.....	262
4.4.2.3.1. Расчет муфты с цилиндрическими пружинами.....	263
4.4.2.4. Расчет роликовой муфты обгона.....	266
Заключение..	268
Библиографический список	269

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник составлен на основе типовой программы курса «Детали машин» для машиностроительных и механических специальностей высших технических учебных заведений России и рабочей программы курса для студентов инженеров воздушного транспорта. Содержание учебника соответствует курсу лекций, читаемых авторами в Самарском государственном аэрокосмическом университете.

При изложении материала учитывался сокращенный объем курса для данной специальности. В этой связи наибольшее внимание уделяется физическим основам работы деталей машин общего назначения с учетом особенностей их эксплуатации в изделиях авиационной техники. Сокращены материалы курса «Детали машин», касающиеся конструкций и методов расчета деталей, не используемых или почти не используемых в механизмах авиационной техники (например, фрикционные передачи, цепные передачи и т.п.). Вместе с тем несколько расширены разделы, посвященные рассмотрению критериев работоспособности и надежности деталей машин. Кроме того, более подробно изложены выводы основных расчетных зависимостей и принятые при их выводе допущения, а также направления дальнейшего развития методов расчета деталей, эксплуатируемых в изделиях авиационной техники.

В учебнике отсутствуют справочные материалы, необходимые для практических расчетов. В этой связи для более подробного изучения курса «Детали машин» и выполнения практических расчетов рекомендуется использование учебников и справочников, список которых приведен в конце издания.

Учебное издание

*Жильников Евгений Петрович,
Балякин Валерий Борисович,
Тихонов Алексей Николаевич*

ДЕТАЛИ МАШИН

Учебник

Редакторская обработка Ю.Н. Литвинова
Компьютерная доверстка А.В. Ярославцева

Электронный ресурс.
Арт. - ЭР4(Д2)/2012.

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.