

УДК 539.3 (075)
ББК 30.121
А 23

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *В.Н. Иванов*, профессор кафедры
прочности материалов и конструкций РУДН;

доктор технических наук *Л.Л. Сотников*, директор филиала МГСУ
в г. Люберцы, заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства;

доктор технических наук, профессор *Г.М. Муртазалиев*, заведующий кафедрой
сопротивления материалов, теоретической и строительной механики
Дагестанского государственного технического университета

Агапов, В.П.

А 23 Сопротивление материалов : учебник / В.П. Агапов ; М-во образования и науки Росс. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. Москва : МГСУ, 2014. 336 с.

ISBN 978-5-7264-0805-7

Изложены основы расчетных и экспериментальных методов исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций при растяжении — сжатии, кручении, изгибе и комбинированном нагружении. Содержатся сведения о расчетах стержней на устойчивость. Рассмотрены поведение стержней при действии динамических нагрузок. Приведены сведения о современных методах расчета стержней и стержневых систем на прочность.

Теоретический материал проиллюстрирован примерами расчета стержней при различных воздействиях.

Для студентов, обучающихся по программе специалитета по специальности 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

УДК 539.3 (075)
ББК 30.121

ISBN 978-5-7264-0805-7

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ВВЕДЕНИЕ	5
1.1. Предмет изучения, задачи и методы сопротивления материалов	5
1.2. Схематизация конструкции. Реальный объект и расчетная схема	8
1.3. Внешние силы	10
1.4. Перемещения и деформации	12
1.5. Внутренние усилия и напряжения. Метод сечений	14
1.6. Связь между внутренними силовыми факторами и напряжениями для стержней	16
1.7. Основные допущения и гипотезы, принятые в сопротивлении материалов	17
2. РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ	19
2.1. Внутренние силы при растяжении и сжатии	19
2.2. Напряжения при растяжении и сжатии	24
2.3. Удлинение стержня и закон Гука	30
2.4. Осевые перемещения	32
2.5. Потенциальная энергия деформации	36
2.6. Статически определимые и статически неопределимые системы	38
2.7. Напряженное и деформированное состояния при растяжении — сжатии	44
2.8. Испытание материалов на растяжение и сжатие	47
2.9. Основные механические характеристики материалов	50
2.10. Расчеты на прочность	51
3. СДВИГ	53
3.1. Чистый сдвиг и его особенности	53
3.2. Потенциальная энергия при чистом сдвиге	55
3.3. Расчет заклепочных и болтовых соединений	56
3.4. Расчет сварных соединений	59
4. КРУЧЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ	61
4.1. Определение внутренних усилий. Эпюры крутящих моментов	61
4.2. Определение напряжений в стержне круглого поперечного сечения при кручении	63
4.3. Кручение бруса прямоугольного сечения	68
4.4. Расчеты на прочность и жесткость при кручении	70
4.5. Напряжения и деформации в винтовых пружинах с малым шагом витка	76
4.6. Кручение тонкостенного бруса	80
4.6.1. Приближенный метод расчета стержней открытого профиля	80
4.6.2. Общая теория кручения тонкостенных стержней открытого профиля	83
4.6.3. Стержни замкнутого профиля	99

5. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ БРУСА	102
5.1. Статические моменты сечений	102
5.2. Моменты инерции сечений	104
5.3. Зависимость между моментами инерции при повороте осей	105
5.4. Главные оси и главные моменты инерции	106
5.5. Примеры определения моментов инерции простых сечений	109
5.6. Пример определения моментов инерции составных сечений	111
6. ИЗГИБ	114
6.1. Внутренние силовые факторы при изгибе. Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил	114
6.2. Дифференциальные зависимости между интенсивностью распределенной нагрузки, поперечной силой и изгибающим моментом	120
6.3. Эпюры M и Q при сложном нагружении	121
6.4. Напряжения в балке при чистом изгибе	125
6.5. Деформация балки	128
6.6. Потенциальная энергия при изгибе	130
6.7. Касательные напряжения при изгибе	130
6.8. Расчеты на прочность при изгибе	133
6.9. Главные напряжения при поперечном изгибе	134
6.10. Дифференциальное уравнение упругой линии балки	137
6.11. Определение перемещений балки по формуле Мора	143
6.11.1. Теорема о взаимности работ	143
6.11.2. Теорема о взаимности перемещений	144
6.11.3. Вывод формулы Мора для балки	145
6.11.4. Способ Верещагина	147
6.11.5. Вычисление интеграла Мора методом Симпсона	148
6.12. Изгиб тонкостенных балок	149
6.13. Изгиб бруса большой кривизны	153
6.13.1. Общие понятия	153
6.13.2. Вычисление внутренних усилий	154
6.13.3. Вычисление радиуса кривизны нейтрального слоя для прямоугольного сечения	158
6.14. Косой изгиб	158
6.15. Внецентренное растяжение или сжатие	162
7. ТОЛСТОСТЕННЫЕ ТРУБЫ И СОСТАВНЫЕ ЦИЛИНДРЫ	167
7.1. Основные соотношения	167
7.2. Частные случаи нагружения толстостенного цилиндра	171
7.2.1. Нагружение внутренним давлением	171
7.2.2. Нагружение внешним давлением	172
7.3. Определение напряжений в составных трубах	173
8. СТЕРЖНЕВЫЕ СИСТЕМЫ	177
8.1. Определение усилий в стержнях ферм	178
8.2. Определение внутренних усилий в элементах плоских рам	179

8.3.	Определение внутренних усилий в элементах пространственных рам	181
8.4.	Определение перемещений в стержневых системах по формуле Мора	183
8.5.	Статически неопределимые стержневые системы	190
8.6.	Расчет статически неопределимых систем методом сил. Канонические уравнения метода сил	193
8.7.	Примеры расчета статически неопределимых систем методом сил	195
9.	КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ	205
9.1.	Основные гипотезы механики деформируемого тела и классической теории упругости	205
9.2.	Принцип Сен-Венана	206
9.3.	Теория напряжений	206
9.3.1.	Напряжения на наклонных площадках	208
9.3.2.	Понятие о тензоре напряжений	209
9.3.3.	Главные напряжения и главные площадки	210
9.3.4.	Инварианты тензора напряжений	211
9.3.5.	Плоское напряженное состояние	212
9.3.6.	Наибольшие касательные напряжения	215
9.3.7.	Примеры анализа напряжений при плоском напряженном состоянии	216
9.3.8.	Круг Мора	217
9.3.9.	Круги Мора при объемном напряженном состоянии	223
9.4.	Теория деформаций	224
9.5.	Обобщенный закон Гука	227
9.6.	Потенциальная энергия	228
10.	КРИТЕРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ И РАЗРУШЕНИЯ	231
10.1.	Понятие о теориях прочности	231
10.2.	Теории хрупкого разрушения	231
10.3.	Теории вязкого разрушения	232
10.4.	Теория прочности Мора	235
10.5.	Использование теорий прочности для расчета стержней	238
11.	ТОНКОСТЕННЫЕ ОБОЛОЧКИ	245
11.1.	Определение напряжений в оболочках вращения	245
11.2.	Примеры определения напряжений в тонкостенных сосудах	248
12.	ПРОЧНОСТЬ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ НАПРЯЖЕНИЯХ	251
12.1.	Понятие об усталостной прочности	251
12.2.	Циклические напряжения	252
12.3.	Составление условия прочности при переменных напряжениях	253
12.4.	Определение предела выносливости при симметричном цикле	254
12.5.	Предел выносливости при несимметричном цикле	255
12.6.	Влияние концентрации напряжений на усталостную прочность	256
12.7.	Масштабный эффект	258
12.8.	Качество обработки поверхности	258

12.9. Определение коэффициента запаса усталостной прочности _____	259
12.10. Усталостная прочность в нестационарном режиме _____	261
13. УСТОЙЧИВОСТЬ РАВНОВЕСИЯ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СИСТЕМ _____	264
13.1. Определение критических сил для сжатого стержня _____	264
13.2. Зависимость критической силы от условий закрепления концов стержня _____	266
13.3. Устойчивость стержней при наличии пластических деформаций _____	267
13.4. Устойчивость плоской формы изгиба _____	272
13.5. Определение критических нагрузок в сложных случаях нагружения стержней _____	274
13.6. Продольно-поперечный изгиб _____	281
14. ДИНАМИКА _____	286
14.1. Основные понятия _____	286
14.2. Системы с одной степенью свободы _____	287
14.3. Собственные колебания без учета сил сопротивления _____	288
14.4. Собственные колебания с учетом сил сопротивления _____	290
14.5. Действие вибрационной силы на систему с одной степенью свободы _____	292
14.6. Системы с несколькими степенями свободы. Свободные колебания _____	295
14.7. Примеры расчета на собственные колебания _____	296
14.8. Действие ударной нагрузки на систему с одной степенью свободы _____	299
15. БАЛКИ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ _____	302
15.1. Основные понятия _____	302
15.2. Модель основания Винклера _____	302
15.3. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки на упругом винклеровом основании _____	303
15.4. Расчет длинных балок. Краевой эффект _____	305
15.5. Короткие балки на упругом основании _____	310
16. РАСЧЕТ БАЛОК МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ _____	313
16.1. Идея метода конечных элементов _____	313
16.2. Матрица жесткости плоской балки _____	317
16.3. Примеры расчета стержневых конструкций методом конечных элементов по программе ПРИНС _____	322
Библиографический список _____	326
Приложение. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОКАТНЫХ ПРОФИЛЕЙ _____	327