

Г. Д. Межецкий, Г. Г. Загребин,
Н. Н. Решетник

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Учебник

5-е издание

*Допущено
Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому
образованию в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по машиностроительным специальностям*

Москва

Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°»

2016

УДК 539.3
ББК 30.121
М43

Рецензенты:

И. Г. Овчинников — доктор технических наук, профессор Саратовского государственного технического университета;

Н. П. Крючин — доктор технических наук, профессор ФГОУ ВПО «Самарская ГСХА»;

Е. М. Попов — кандидат технических наук, доцент Воронежского государственного аграрного университета им. К. Д. Глинки.

Межецкий Г. Д.

М43

Сопротивление материалов: Учебник / Г. Д. Межецкий, Г. Г. Загребин, Н.Н. Решетник; под общ. ред. Г. Д. Межецкого, Г. Г. Загребина. — 5-е изд. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. — 432 с.

ISBN 978-5-394-02628-7

В предлагаемом учебнике рассмотрены разделы: осевое растяжение-сжатие; сдвиг; кручение; изгиб; геометрические характеристики сечений; расчеты на прочность и основные теории прочности, понятие о статически определимых и статически неопределимых системах; энергетические методы расчета перемещений в стержневых системах; статически неопределимые системы; сложное сопротивление; продольный изгиб; динамические нагрузки; расчет на усталость; расчет тонкостенных сосудов.

Для студентов бакалавриата и специалитета инженерно-технических направлений подготовки.

УДК 539.3
ББК 30.121

ISBN 978-5-394-02628-7

© Коллектив авторов, 2015
 © ООО «ИТК «Дашков и К°», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Тема 1. Предмет курса сопротивления материалов.	
Основные понятия и определения.....	5
Наука о сопротивлении материалов. Историческая справка.....	5
Допущения о свойствах материала элементов конструкций.....	7
Изучаемые объекты и расчетные схемы.....	8
Классификация нагрузок.....	10
Метод сечений.....	11
Напряжения.....	13
Деформации.....	14
Тема 2. Осевое растяжение (сжатие).....	
Понятие осевого растяжения (сжатия).....	16
Внутренние усилия.....	16
Нормальные напряжения в поперечных сечениях бруса при растяжении (сжатии).....	19
Деформации. Закон Гука при растяжении (сжатии).....	21
Тема 3. Механические испытания материалов.....	
Диаграмма растяжения образца из малоуглеродистой стали.....	26
Диаграмма растяжения материала.....	30
Механические характеристики материалов.....	31
Диаграмма растяжения пластичных и хрупких материалов, не имеющих площадки текучести.....	32
Испытания на сжатие.....	34
Тема 4. Расчет на прочность. Метод допускаемых напряжений и разрушающих нагрузок.....	
Допускаемые напряжения.....	37
Расчет на прочность по допускаемым напряжениям.....	40
Расчет на прочность по разрушающим нагрузкам.....	42
Тема 5. Особенности расчета статически неопределимых систем при осевом растяжении (сжатии).....	
Понятие статически определимых и неопределимых систем.....	45
Решение статически неопределимых задач.....	47
Расчет по допускаемым напряжениям и разрушающим нагрузкам....	52
Монтажные и температурные напряжения.....	54

Тема 6. Основы теории напряженного состояния в точке	59
Напряженное состояние в точке тела.....	59
Виды напряженных состояний.....	65
Линейное напряженное состояние.....	66
Плоское напряженное состояние.....	70
Объемное напряженное состояние.....	77
Тема 7. Напряженно-деформированное состояние в точке	81
Деформированное состояние в точке.....	81
Обобщенный закон Гука.....	82
Потенциальная энергия деформации.....	86
Потенциальная энергия деформации при линейном напряженном состоянии.....	87
Удельная потенциальная энергия деформации при объемном напряженном состоянии.....	88
Тема 8. Основные теории прочности	93
Задачи теорий прочности.....	93
Теория наибольших нормальных напряжений (первая теория прочности).....	97
Теория наибольших деформаций (вторая теория прочности).....	98
Теория наибольших касательных напряжений (третья теория прочности).....	99
Теория наибольшей удельной потенциальной энергии формоизменения (четвертая теория прочности – энергетическая)....	100
Теория Мора.....	102
Тема 9. Геометрические характеристики плоских сечений	108
Понятие геометрических плоских сечений.....	108
Моменты инерции плоских фигур.....	110
Моменты инерции простейших фигур.....	112
Моменты инерции сложных фигур.....	115
Зависимости между моментами инерции относительно параллельных осей.....	117
Зависимости между моментами инерции при повороте координатных осей.....	119
Положение главных осей инерции и главные моменты инерции....	122
Тема 10. Сдвиг	126
Сдвиг. Внутренние усилия и напряжения в поперечных сечениях бруса при сдвиге.....	127
Чистый сдвиг.....	129
Напряжения на наклонных площадках при чистом сдвиге. Главные напряжения.....	130
Деформация при чистом сдвиге. Закон Гука при сдвиге.....	132

Потенциальная энергия деформации при сдвиге.....	134
Соотношение между упругими постоянными конструкционных материалов.....	136
Расчет на прочность при сдвиге.....	137
Тема 11. Расчет соединений, работающих на сдвиг.....	139
Общие сведения о болтовых, заклепочных и сварных соединениях	139
Расчет заклепочных и болтовых соединений.....	139
Расчет сварных соединений.....	148
Тема 12. Кручение брусьев круглого поперечного сечения.....	156
Основные понятия.....	156
Внутренние усилия в поперечных сечениях вала.....	157
Экспериментальная картина деформации круглого вала при кручении.....	159
Гипотезы теории кручения валов круглого сечения.....	160
Напряжения в поперечных сечениях вала при кручении.....	161
Вывод формулы касательных напряжений при кручении.....	161
Изменение касательных напряжений по сечению вала (построение эпюры τ).....	164
Деформация при кручении.....	166
Анализ напряженного состояния и разрушения при кручении.....	167
Расчет валов на прочность и жесткость при кручении.....	168
Потенциальная энергия деформации при кручении.....	170
Тема 13. Прямой изгиб. Внутренние усилия.....	172
Общие понятия.....	172
Определение опорных реакций.....	175
Внутренние усилия в поперечных сечениях балки при изгибе.....	177
Правило знаков для поперечных сил Q и изгибающих моментов M	179
Эпюры внутренних усилий.....	180
Дифференциальные зависимости между изгибающим моментом M , поперечной силой Q и интенсивностью распределенной нагрузки q	184
Контроль правильности построения эпюр Q и M	187
Тема 14. Нормальные напряжения при чистом изгибе.....	189
Экспериментальное изучение работы материала при чистом изгибе.....	189
Гипотезы, положенные в основу вывода формулы нормальных напряжений при чистом изгибе.....	191
Нормальные напряжения при чистом изгибе.....	191
Изменение нормальных напряжений по высоте поперечного сечения балки (эпюра σ).....	197
Расчет на прочность при изгибе по нормальным напряжениям.....	199

Тема 15. Касательные напряжения при поперечном изгибе.....	200
Экспериментальное изучение работы материала при поперечном изгибе.....	200
Гипотезы, положенные в основу вывода формулы касательных напряжений.....	202
Касательные напряжения в сечениях балки при изгибе (вывод формулы τ).....	203
Изменение касательных напряжений по высоте поперечного сечения балки (построение эпюры τ).....	207
Расчет на прочность по касательным напряжениям.....	211
 Тема 16. Главные напряжения при изгибе.	
Полная проверка прочности балок при изгибе.....	212
Главные напряжения при прямом изгибе.....	212
Проверка прочности по главным напряжениям.....	215
Экстремальные касательные напряжения при изгибе.	
Траектории главных напряжений.....	219
 Тема 17. Перемещения в балках при прямом изгибе.....	222
Линейные и угловые перемещения в балках при прямом изгибе.....	222
Дифференциальное уравнение упругой линии балки.....	226
Определение перемещений в балках интегрированием дифференциального уравнения изогнутой оси балки.....	229
Метод начальных параметров.....	231
 Тема 18. Энергетические методы расчета перемещений в стержневых системах.....	237
Обобщенные силы и перемещения.....	237
Энергетические методы расчета. Упругие перемещения в стержневых системах.....	238
Теорема о взаимности работ (теорема Бетти). Теорема Максвелла	240
Интеграл Мора (общая формула перемещений).....	243
 Тема 19. Упругие перемещения в линейно деформированных системах (способ Верещагина).....	248
Анализ интеграла Мора.....	248
Вывод формулы Верещагина.....	249
Определение площади и центра тяжести простейших эпюр.....	252
Пример определения линейных Δ и угловых θ перемещений способом Верещагина.....	253
 Тема 20. Рамы.....	257
Основные понятия и определения.....	257
Статически определимые рамы.....	259

Последовательность определения внутренних усилий и построение эпюр в рамах.....	259
Пример построения эпюр внутренних усилий и определение перемещений в рамах.....	261
Тема 21. Статически неопределимые системы.....	268
Статически неопределимые системы.....	268
Основная система и уравнения совместности деформаций.....	270
Канонические уравнения метода сил.....	274
Последовательность расчета статически неопределимых конструкций методом сил.....	277
Пример расчета статически неопределимой системы.	278
Тема 22. Сложное сопротивление. Косой изгиб.....	285
Основные понятия.....	285
Усилия и напряжения при косом изгибе.....	286
Нулевая линия и ее свойства.....	289
Расчет на прочность при косом изгибе.....	290
Изгиб с растяжением (сжатием).....	292
Тема 23. Внецентренное растяжение (сжатие) (ВРС).....	295
Основные понятия внецентренного растяжения (сжатия).....	295
Расчет внутренних усилий и напряжений при ВРС.....	296
Свойства нулевой линии при ВРС.....	300
Ядро сечения.....	303
Последовательность построения ядра сечения.....	305
Примеры расчета ядра сечения.....	305
Тема 24. Изгиб с кручением.....	309
Основные понятия и определения.....	309
Внутренние усилия, действующие на вал при изгибе с кручением.....	310
Напряжения при изгибе с кручением.....	313
Расчет на прочность.....	315
Тема 25. Продольный изгиб в пределах пропорциональности.....	317
Основные понятия продольного изгиба.....	317
Определение критической силы при продольном изгибе (формула Эйлера).....	321
Влияние способа закрепления концов стержня на величину критической силы.....	324
Критическое напряжение.....	327
Предел применимости формулы Эйлера.....	327

Тема 26. Продольный изгиб за пределом пропорциональности.....	330
Расчет на прочность за пределом пропорциональности.....	330
Допускаемое напряжение при продольном изгибе.	
Расчет на прочность и устойчивость.....	333
Выбор материала и рациональных форм поперечных сечений для сжатых стержней.....	336
Тема 27. Продольно-поперечный изгиб	338
Основные понятия, внутренние изгибающие моменты в сечениях стержня	338
Определение суммарного прогиба при продольно-поперечном изгибе	340
Эйлера сила	343
Максимальные напряжения и допускаемая нагрузка при продольно-поперечном изгибе	344
Расчет на прочность при продольно-поперечном изгибе	346
Тема 28. Пружины. Расчет винтовых цилиндрических пружин.....	348
Пружины и их применение на практике.....	348
Расчет внутренних усилий в пружинах при их нагружении.....	348
Напряжения в пружинах.....	350
Расчет на прочность винтовых пружин.....	352
Деформации пружин.....	353
Тема 29. Динамические нагрузки.....	356
Общие сведения о динамических нагрузках.....	356
Определение напряжений и перемещений при движении с ускорением.....	358
Определение сил, напряжений и перемещений при ударе.....	360
Вычисление напряжений и допускаемой окружной скорости у вращающегося кольца (обода маховика).....	366
Тема 30. Расчет на прочность при напряжениях, циклически изменяющихся во времени (расчет на усталость).....	370
Понятие об усталостном разрушении материала.....	370
Характеристики циклов напряжений.....	373
Предел выносливости. Кривые усталости. Предел выносливости при симметричном цикле.....	377
Диаграмма предельных амплитуд.....	381
Факторы, влияющие на усталостную прочность материала.....	384
Расчет на прочность при регулярном режиме нагружения.....	392

Тема 31. Расчет тонкостенных сосудов.....	397
Основные понятия и определения тонкостенных сосудов.....	397
Вывод формулы Лапласа.....	399
Примеры расчета тонкостенных оболочек.....	404
Приложения.....	407
Литература.....	423