

М.Д. Подскребко

# СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Утверждено

Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебника для студентов учреждений,  
обеспечивающих получение высшего образования  
по техническим специальностям



Минск  
«Вышэйшая школа»  
2007

УДК 621.7.014(075.8)

ББК 30.121я73

П 44

Рецензенты: доктор технических наук, профессор кафедры инженерной графики и механики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники *В.М. Сурин*; заведующий кафедрой сопротивления материалов машиностроительного профиля Белорусского национального технического университета доктор физико-математических наук, профессор *Ю.В. Василевич*; кафедра сопротивления материалов, строительной механики и металлических конструкций Полоцкого государственного университета (кандидат технических наук, доцент *Л.В. Первицкий*)

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.*

#### **Подскребко, М. Д.**

П 44      **Сопротивление материалов : учебник / М. Д. Подскребко. — Минск : Выш. шк., 2007. — 797 с. : ил.  
ISBN 978-985-06-1293-9.**

В учебнике, охватывающем все основные темы курса «Сопротивление материалов», подробно рассматриваются основы напряженного и деформированного состояний, механические характеристики материалов и композитов, критерии прочности, сдвиг, кручение, изгиб, колебания упругих систем, вероятностные методы оценки прочности и надежности элементов конструкций и т. д.

Каждая тема содержит большое количество примеров с подробным решением. В приложении приводятся все необходимые для расчетов справочные материалы.

Для студентов инженерных специальностей вузов. Будет полезен преподавателям вузов и колледжей, инженерам-механикам и всем желающим повысить свои знания в области расчетов элементов конструкций на прочность.

УДК 621.7.014(075.8)

ББК 30.121я73

© Подскребко М.Д., 2007

© Издательство «Вышэйшая школа», 2007

ISBN 978-985-06-1293-9

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
<b>Глава 1. Основные понятия и определения.....</b>	<b>5</b>
1.1. Основные понятия.....	5
1.2. Основные критерии работоспособности элементов конструкций.....	7
1.3. Расчетная модель.....	9
1.4. Метод сечений. Определение внутренних силовых факторов через внешние силы.....	14
1.5. Эпюры внутренних силовых факторов.....	18
1.6. Соотношение между нагрузкой, нормальной и поперечной силами, изгибающим моментом при растяжении стержней, изгибе балок и криволинейных брусев.....	19
1.7. Напряжения.....	58
1.8. Перемещения и деформации.....	61
1.9. Связь перемещений и деформаций.....	65
1.10. Относительная линейная деформация в произвольном направлении.....	69
<b>Глава 2. Теория напряженного состояния.....</b>	<b>74</b>
34 2.1. Напряженное состояние в точке.....	74
2.2. Плоское и линейное напряженные состояния.....	78
2.3. Исследование напряженного состояния в точке.....	79
2.4. Касательные напряжения.....	85
2.5. Обзор различных видов напряженных состояний.....	87
2.6. Уравнение равновесия элемента тела в случае линейного неоднородного напряженного состояния.....	93
<b>Глава 3. Основные законы и константы упругих свойств материала.....</b>	<b>99</b>
3.1. Закон Гука при растяжении и сжатии.....	99
3.2. Коэффициент Пуассона.....	100
3.3. Обобщенный закон Гука.....	103
3.4. Закон Гука при сдвиге.....	106
3.5. Объемная деформация.....	108
3.6. Потенциальная энергия деформации.....	109
<b>Глава 4. Механические характеристики материалов.....</b>	<b>119</b>
4.1. Испытание материалов на растяжение.....	119
4.2. Испытание материалов на сжатие.....	131
4.3. Работа деформации.....	135
4.4. Оценка предела прочности материала по показателю твердости... ..	137
4.5. Понятие о наклепе.....	140
4.6. Влияние различных факторов на механические характеристики материала.....	141
4.7. Допускаемые напряжения.....	145
4.8. Композиционные материалы.....	148
4.9. Механические характеристики композитов.....	150
<b>Глава 5. Критерии прочности, или критерии предельных напряженных состояний.....</b>	<b>153</b>

353	1. Сущность теорий прочности.....	153
	5.2. Классические критерии прочности.....	156
	5.3. Критерий прочности Мора.....	160
	<b>Глава 6. Геометрические характеристики плоских сечений</b> .....	166
	6.1. Основные определения.....	166
	6.2. Центр тяжести сложных сечений.....	170
	6.3. Параллельный перенос осей.....	178
	6.4. Поворот осей координат.....	180
	6.5. Главные оси и главные моменты инерции.....	182
	<b>Глава 7. Растяжение и сжатие</b> .....	198
	7.1. Определение напряжений в поперечных сечениях стержня.....	198
	7.2. Определение перемещений сечений стержня.....	200
147	7.3. Условие прочности и жесткости при растяжении и сжатии.....	202
	7.4. Гибкие нити.....	213
	7.5. Расчет биметаллических проводов.....	222
	<b>Глава 8. Кручение</b> .....	231
	8.1. Напряжения в поперечных сечениях прямого круглого бруса.....	231
	8.2. Определение углов закручивания сечений бруса при кручении.....	235
328	8.3. Условия прочности и жесткости при кручении. Допускаемые напряжения.....	236
	8.4. Напряжения при кручении прямых брусьев некруглого поперечного сечения.....	239
333	8.5. Расчет валов по заданной мощности и числу оборотов.....	242
	<b>Глава 9. Статически неопределимые системы при растяжении (сжатии) и кручении</b> .....	249
	9.1. Составление уравнений перемещения и расчет статически неопределимых систем.....	249
	9.2. Начальные (монтажные) и температурные напряжения.....	259
	<b>Глава 10. Сдвиг</b> .....	273
	10.1. Практические расчеты на срез и смятие.....	273
	10.2. Допускаемые напряжения для сварных, болтовых и заклепочных соединений.....	286
	<b>Глава 11. Изгиб</b> .....	296
28	11.1. Виды изгибов.....	296
	11.2. Напряжения в поперечных сечениях балки при частом изгибе.....	297
	11.3. Напряжения в поперечных сечениях балки при поперечном изгибе.....	302
	11.4. Касательные напряжения при поперечном изгибе.....	303
30	11.5. Расчет балок на прочность при изгибе.....	315
	11.6. Балки переменного сечения.....	318
	11.7. Рациональные формы поперечных сечений балок при изгибе.....	328
	11.8. Концентрация напряжений.....	332
	<b>Глава 12. Перемещения при изгибе</b> .....	342
	12.1. Дифференциальное уравнение упругой линии балки.....	342
	12.2. Метод начальных параметров.....	349
	12.3. Расчет на жесткость при изгибе.....	355
	12.4. Влияние поперечных сил на изгиб балок.....	355

<b>Глава 13. Перемещения в брус при произвольной нагрузке.....</b>	<b>361</b>
13.1. Потенциальная энергия деформации бруса в общем случае нагружения .....	361
13.2. Теорема Кастилиано. Теорема Лагранжа .....	367
13.3. Интегралы Максвелла - Мора для определения перемещений .....	373
13.4. Способ Верещагина .....	382
13.5. Вариационные методы расчета конструкций.....	394
<b>Глава 14. Сложное нагружение .....</b>	<b>404</b>
14.1. Особенности расчета брусьев при сложном нагружении .....	404
14.2. Косой изгиб.....	404
14.3. Изгиб с кручением.....	424
14.4. Расчет цилиндрических винтовых пружин растяжения – сжатия.....	434
14.5. Внецентренное растяжение и сжатие брусьев большой жесткости.....	443
14.6. Изгиб с растяжением (сжатием).....	450
14.7. Изгиб плоских кривых брусьев .....	458
14.8. Перемещения в брусьях большой кривизны.....	467
<b>Глава 15. Расчет статически неопределимых стержневых систем методом сил.....</b>	<b>474</b>
15.1. Общие понятия о статически неопределимых стержневых системах.....	474
15.2. Определение степени статической неопределимости системы .....	476
15.3. Метод сил. Выбор основной системы .....	481
15.4. Теоремы о взаимности работ и перемещений.....	482
15.5. Канонические уравнения метода сил.....	484
15.6. Определение перемещений в статически неопределимых системах.....	490
15.7. Особенности расчета симметричных систем.....	490
15.8. Расчет статически неопределимых балок.....	495
15.9. Метод перемещений. Канонические уравнения метода перемещений.....	520
<b>Глава 16. Расчет на прочность при циклически изменяющихся напряжениях .....</b>	<b>529</b>
16.1. Понятие об усталостном разрушении .....	529
16.2. Типы циклов напряжений и их параметры .....	535
16.3. Кривая усталости. Предел выносливости при симметричном цикле .....	537
16.4. Факторы, влияющие на сопротивление усталости деталей .....	540
16.5. Диаграмма усталостной прочности, или диаграмма Хейга .....	545
16.6. Схематизация диаграммы усталостной прочности .....	547
16.7. Расчет на выносливость при линейном напряженном состоянии.....	548
16.8. Расчет на выносливость при чистом сдвиге.....	551
16.9. Расчет на выносливость при плоском напряженном состоянии... ..	552
16.10. Пути повышения сопротивления усталости конструкций.....	553
16.11. Понятие о малоцикловой усталости.....	562

<b>Глава 17. Динамические нагрузки</b> .....	575
17.1. Динамические нагрузки, вызывающие движение тела с ускорением .....	575
17.2. Ударная нагрузка .....	578
17.3. Вычисление коэффициента $\eta$ приведения массы .....	583
17.4. Анализ формулы динамического коэффициента .....	587
17.5. Условие прочности при ударе и некоторые рекомендации к проектированию элементов конструкций .....	592
<b>Глава 18. Продольный и продольно-поперечный изгиб прямых стержней</b> .....	598
18.1. Понятие об устойчивости равновесия упругих тел .....	598
18.2. Определение критической силы. Формула Эйлера .....	600
18.3. Влияние закрепления концов стержня на величину критической силы .....	605
18.4. Пределы применимости формулы Эйлера. Формула Ясинского .....	607
18.5. Расчет на устойчивость сжатых стержней по коэффициенту снижения допускаемых напряжений .....	611
18.6. Выбор рациональной формы поперечных сечений для сжатых стержней .....	613
18.7. Энергетический метод (метод Ритца) определения критической силы .....	621
18.8. Продольно-поперечный изгиб .....	626
<b>Глава 19. Расчет тонкостенных оболочек вращения</b> .....	636
19.1. Особенности расчетной схемы тонкостенной оболочки вращения .....	636
19.2. Определение напряжений в осесимметричной оболочке по безмоментной теории .....	636
19.3. Частные случаи расчета оболочек по безмоментной теории .....	641
19.4. Определение радиальной распределенной нагрузки, действующей на распорное кольцо в оболочках .....	645
<b>Глава 20. Расчет толстостенных цилиндров</b> .....	653
20.1. Определение напряжений в толстостенном цилиндре при действии внутреннего и наружного давления .....	653
20.2. Определение перемещений в толстостенном цилиндре при действии внутреннего и наружного давления .....	657
20.3. Анализ частных случаев нагружения толстостенных цилиндров $\sigma_x = 0$ .....	659
20.4. Расчет посадок с гарантированным натягом .....	668
20.5. Определение напряжений в составных трубах .....	672
<b>Глава 21. Механические колебания упругих линейных систем</b> .....	681
21.1. Основные положения теории колебаний .....	681
21.2. Общее дифференциальное уравнение колебаний упругих линейных систем с одной степенью свободы .....	684
21.3. Свободные колебания линейных систем .....	685
21.4. Вынужденные колебания линейных систем .....	691
21.5. Учет собственного веса системы при колебаниях .....	700
21.6. Методы отстройки систем от резонанса .....	703
21.7. Условие прочности при колебаниях .....	704
21.8. Колебания систем с несколькими степенями свободы .....	711

<b>Глава 22. Расчет конструкций по предельной нагрузке</b> .....	716
22.1. Основные понятия.....	716
22.2. Схематизация диаграмм растяжения материалов .....	719
22.3. Растяжение и сжатие стержневых систем при наличии пластических деформаций.....	721
22.4. Упруго-пластическое кручение.....	726
22.5. Упруго-пластический изгиб .....	729
22.6. Остаточные напряжения.....	742
22.7. Заневоливание валов.....	750
<b>Историческая справка.....</b>	<b>752</b>
<b>Приложения.....</b>	<b>760</b>
<b>Литература.....</b>	<b>791</b>

Учебное издание

**Подскребко Михаил Данилович**

**СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**

Учебник

Редактор *А.В. Новикова*

Художественный редактор *В.А. Ярошевич*

Технический редактор *Л.И. Счисленок*

Корректоры *Т.В. Кульнис, Е.В. Савицкая, В.И. Аверкина, Т.К. Хваль*

Компьютерная верстка *Н.В. Шабуни*

Подписано в печать 30.08.2007. Формат 84×108/32. Бумага офсетная.  
Гарнитура «Нимбус». Офсетная печать. Усл. печ. л. 42,0. Уч.-изд. л. 35,72.  
Тираж 2700 экз. Заказ 2312.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».  
ЛИ № 02330/0131768 от 06.03.2006. 220048, Минск, проспект Победителей, 11.  
<http://vshph.com>

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Белорусский Дом печати”».  
220013, Минск, проспект Независимости, 79.

**Издательство «Вышэйшая школа»**



**Книги по издательской цене  
(с доставкой, оптом и в розницу)  
можно приобрести по адресу:**

**РУП «Издательство «Вышэйшая школа»»**

пр. Победителей, 11

220048, Минск, Республика Беларусь

Тел.: (+375-17) 203-67-38, 203-99-35

Факс: (+375-17) 203-54-15

<http://vshph.com>

e-mail: [market@vshph.com](mailto:market@vshph.com)

**Мы рады работать для Вас!**

## **Издательство «Вышэйшая школа»**

**Наши партнеры на территории  
Российской Федерации**

### **Издательско-книготорговая компания «Техническая книга»**

ул. Шоссе Энтузиастов, 56  
111123, Москва, Российская Федерация  
Тел.: (+7-495) 778-92-27, 8-916-812-73-12  
e-mail: tbook@lit.by

### **Магазин-салон «Новая техническая книга»**

Измайловский пр., 29  
191167, Санкт-Петербург, Российская Федерация  
Тел.: (+7-812) 251-41-10  
e-mail: trade@techkniga.com

### **ООО «Издательские компьютерные системы "ИКС"»**

**Представительство в Москве**  
Промзона, корп. 48  
142700, г. Видное, Ленинский р-н, Московская обл.  
Российская Федерация  
Тел: (+7-495) 933-32-74, 777-80-96  
e-mail: bhv@bhvm.ru