

СПРАВОЧНИК

ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

МИНСК
«НАУКА И ТЕХНИКА»
1988

Авторы:

Е. Ф. ВИНОКУРОВ, М. К. БАЛЫКИН, И. А. ГОЛУБЕВ,
В. Н. ЗАЯЦ, П. Н. МАКАРУК

УДК 539.3/6 (035.5)

Справочник по сопротивлению материалов / Е. Ф. Винокуров, М. К. Балыкин, И. А. Голубев и др.— Мн.: Наука и техника, 1988.— 464 с.: ил.— ISBN 5-343-00339-7.

Справочник содержит основные сведения по сопротивлению материалов: их механические и расчетные характеристики, расчеты элементов конструкций на прочность и жесткость. Рассматриваются растяжение и сжатие прямого бруса, сдвиг и кручение, основы напряженного и деформированного состояний, теории прочности, геометрические и секториальные характеристики сечений, плоский изгиб и статически неопределимые балки, изгиб балок на упругом основании, сложное сопротивление. Приводятся расчеты кривых брусьев, тонкостенных стержней, пластинок, сжатых стержней на устойчивость, расчеты конструкций при динамических нагрузках, при переменных напряжениях, расчеты с учетом ползучести материалов.

Предназначен для инженеров-строителей, проектировщиков, аспирантов и студентов.

Табл. 249. Ил. 95. Библиогр.— 28 назв.

Рецензенты:

д-р техн. наук Л. К. Лукша,
канд. техн. наук В. А. Савченко,
канд. техн. наук А. М. Трусъ,
канд. техн. наук Е. М. Дерещук,
д-р техн. наук В. П. Ильин

210500000—103
С—————124—87
М 316(03)—88

ISBN 5-343-00339-7

© Издательство
«Наука и техника», 1988.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Содержание справочника соответствует программе строительных специальностей вузов. Материал изложен в удобной для пользования форме и освещает современное состояние этой области знания. Так как новые планы в вузах предусматривают подготовку специалистов, владеющих навыками проектирования, ряд глав книги включает сведения в виде таблиц и графиков, взятых из нормативных документов. Терминология и обозначения величин приняты в соответствии с международными рекомендациями ИСО и стандартом СЭВ (СТ СЭВ 1565—79).

Главы 1—3 носят вводный характер. В них приводятся сведения о механических свойствах материалов, о характере деформируемости элементов конструкций под действием внешних сил, вводятся понятия внутренних сил и напряжений, деформаций и перемещений, прочности и жесткости.

В главе 4 наряду с традиционным решением задач при расчетах статически неопределимых стержневых систем использован метод перемещений, позволяющий применить в ряде случаев готовые формулы. Введены понятия жесткости системы, ее центра. Приемы расчета от силовых, температурных и монтажных воздействий подробно рассмотрены на примерах.

В главы 5—15 и 19—21 с целью более глубокого раскрытия смысла теоретических формул курса включены примеры расчета элементов конструкций сооружений с учетом их работы в условиях, максимально приближенных к реальным.

Главы 16—18 содержат дополнительные сведения в виде расчетных схем, формул и таблиц коэффициентов, необходимые для проектирования.

Расчетные формулы приведены без выводов, но с необходимыми пояснениями об их структуре и сведениями об ограничениях их использования. Расчетные условия приближены к формам записи их в соответствующих разделах СНиП. Методика расчетов показана на примерах.

Главы 1—4 и 20—22 написаны кандидатом технических наук, доцентом В. Н. Зайцем, главы 5—15 — доктором технических наук, профессором Е. Ф. Винокуровым, главы 16 и 17 — кандидатом технических

наук, доцентом П. Н. Макаруком, глава 18 — кандидатом технических наук, доцентом М. К. Балыкиным, глава 19 — кандидатом технических наук, доцентом И. А. Голубевым.

Авторы выражают глубокую благодарность рецензентам справочника: заведующему кафедрой сопротивления материалов Ленинградского инженерно-строительного института доктору технических наук, профессору В. П. Ильину, заведующему кафедрой мостов и тоннелей Белорусского политехнического института доктору технических наук, профессору Л. К. Лукше, заведующему кафедрой сопротивления материалов Брестского инженерно-строительного института кандидату технических наук, доценту В. А. Савченко и сотрудникам этой кафедры — кандидату технических наук, профессору А. М. Трусю, кандидату технических наук, доценту Е. М. Дерещуку, замечания и пожелания которых были приняты с признательностью и учтены при подготовке справочника к изданию.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Латинский алфавит

- A — площадь поперечного сечения брутто;
 A_{nt} — площадь поперечного сечения нетто;
 A_{con} — площадь смятия;
 a — расстояние между параллельными осями по вертикали;
 b — ширина элемента; расстояние между параллельными осями по горизонтали;
 c — центр тяжести сечения;
 D_{xy} — центробежный момент инерции;
 E — модуль упругости;
 e — индекс внешних сил;
 F — сила;
 F_{cr} — критическая сила;
 f_{tot} — суммарный (полный) прогиб;
 G — модуль сдвига; масса элемента;
 g — ускорение свободного падения;
 h — высота элемента;
 J_x, J_y — осевые моменты инерции;
 J_p — полярный момент инерции;
 J_{max}, J_{min} — главные моменты инерции сечения;
 J_t — момент инерции сечения при кручении;
 i — индекс внутренних сил (вводится в нужных случаях);
 l — длина стержня;
 M_e — сосредоточенный момент (изгибающий);
 M_x, M_y — изгибающий момент относительно соответствующей оси (внутренний);
 M_{tot} — суммарный изгибающий момент;
 m — изгибающий момент на единицу длины;
 N — продольная сила;
 n — индекс нормативной нагрузки (F^n, q^n);
 n_s — коэффициент запаса при расчете на устойчивость;
 p — полное напряжение; давление (нагрузка, распределенная по площади);
 Q — поперечная сила;
 q — погонная нагрузка;

- R — расчетное сопротивление материала;
 R_t, R_c, R_s — расчетное сопротивление материала растяжению, сжатию, сдвигу;
 S — усилие (обобщенное);
 S_x, S_y — статический момент площади сечения;
 S' — статический момент площади отсеченной части сечения относительно его нейтральной оси;
 T_e, T — крутящий момент, внутренний крутящий момент;
 t_e — крутящий момент на единицу длины;
 U — потенциальная энергия деформации;
 u — удельная потенциальная энергия деформации; перемещение в направлении оси x ;
 v — перемещение в направлении оси y ;
 w — перемещение в направлении оси z ;
 W, W_i — работа внешних и внутренних сил;
 W_p — полярный момент сопротивления;
 W_t — момент сопротивления сечения при кручении;
 x — горизонтальная поперечная ось;
 x_1, y_1 — центральные оси простых фигур в сложном сечении;
 x, y — центральные оси сложного сечения;
 x_0, y_0 — главные центральные оси сечения;
 $x_{дан}, y_{дан}$ — координаты опасной точки;
 x_c, y_c — координаты центра тяжести сечения;
 y — вертикальная поперечная ось;
 z — продольная ось.

Греческий алфавит

- α_0 — угол, определяющий положение главных осей;
 γ — удельный вес; угол сдвига, относительное угловое перемещение;
 γ_c — коэффициент условий работы, зависящий от назначения и конструктивных особенностей элемента, свойств материала, принимаемый в курсе сопротивления материалов условно равным единице;
 γ_n — коэффициент надежности, учитывающий степень ответственности зданий и сооружений и принимаемый в курсе сопротивления материалов условно равным единице;
 Δl_e — абсолютная упругая деформация;
 Δl_r — абсолютная остаточная деформация;
 Δs — абсолютный сдвиг;
 e — относительная линейная деформация;
 ϵ_r — относительное остаточное удлинение при разрыве;
 ϑ — угол поворота сечения;
 λ — гибкость стержня;

- μ — коэффициент расчетной длины ($l_{ef} = \mu l$);
- ν — коэффициент Пуассона;
- σ_{pr} — предел пропорциональности;
- σ_e — предел упругости;
- σ_y — предел текучести;
- σ_u — предел прочности (временное сопротивление);
- σ_{ut} — предел прочности при растяжении;
- σ_{uc} — предел прочности при сжатии;
- σ_{adm} — допускаемое напряжение;
- σ — нормальное напряжение;
- σ_{loc} — местное (концентрированное) напряжение;
- σ_{cr} — критическое напряжение;
- τ — касательное напряжение;
- φ — коэффициент продольного изгиба;
- ψ — относительная поперечная деформация;
- ψ_r — относительное остаточное сужение при разрыве.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Сопротивление материалов как наука, являясь частью общей теории сооружений, изучает вопросы прочности, жесткости и устойчивости отдельных частей сооружений или деталей машин. В курсе сопротивления материалов рассматриваются приемы и методы расчетов элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость. Основным объектом расчета является брус, т. е. твердое упругое тело, длина которого во много раз превышает размеры поперечного сечения. Брус с прямой осью принято называть стержнем. В зависимости от направления внешних сил и характера деформируемости стержень может быть использован в качестве стойки, вала, балки и др.

Конструкцию считают прочной, если в течение заданного времени она обеспечивает нормальные условия эксплуатации (отсутствуют признаки разрушения), при этом затраты материала на ее изготовление должны быть минимальными, жесткой, если она не испытывает чрезмерных деформаций, исключающих нормальные условия эксплуатации, устойчивой, если под действием заданных нагрузок она сохраняет свою первоначальную форму равновесия. При обеспечении заданных расчетных условий необходимо стремиться учесть требования эстетичности.

1.2. ВНЕШНИЕ СИЛЫ

Все внешние силы можно разделить на объемные, т. е. действующие по всему объему тела с одинаковой степенью (например, гравитационные, инерционные), и поверхностные, т. е. приложенные к его поверхности. Последние могут быть результатом воздействия контактирующих с ним тел, ветра, снега и других внешних факторов, поэтому указанные силы рассматривают как сосредоточенные, передающиеся по очень малой (контактной) части поверхности и распределенные по ней равномерно или неравномерно. Поверхностные силы, приложенные сплошь или с разрывами по длине, называют погонными нагрузками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров А. В., Державин Б. П., Лашенков Б. Я. и др. Сборник задач по сопротивлению материалов. М., 1977.
2. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. М., 1980. Т. 1.
3. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. М., 1952.
4. Артемов П. Я. Руководство к решению задач по определению перемещений и расчету статически неопределимых стержневых систем. Минск, 1964.
5. Афанасьев А. М., Марьин В. А. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов. М., 1975.
6. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. М., 1976.
7. Биргер М. А. Механика и машиностроение. М., 1965. № 2. С. 15—20.
8. Варвак П. М. Новые методы решения задач сопротивления материалов. Киев, 1977.
9. Дарков А. В., Широ Г. С. Сопротивление материалов. М., 1975.
10. Ильющин А. А. Пластичность. М., 1963.
11. Качанов Л. М. Теория ползучести. М., 1960.
12. Королев П. Г. Сопротивление материалов: Справочник по расчетно-проектировочным работам. Киев, 1974.
13. Калинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М., 1975.
14. Калинин Н. Н., Романов К. И., Ширшов А. А. Сборник задач по прикладной теории пластичности и ползучести. М., 1984.
15. Металлические конструкции: Справочник проектировщика / Под ред. Н. П. Мельникова и др. М., 1980.
16. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев, 1975.
17. Работнов Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций. М., 1966.
18. Работнов Ю. Н. Сопротивление материалов. М., 1962.
19. Работнов Ю. Н. Механика твердого деформируемого тела. М., 1979.
20. Ржаницын А. Р. Теория ползучести. М., 1968.
21. Рудицын М. Н., Артемов П. Я., Любошиц М. И. Справочное пособие по сопротивлению материалов. Минск, 1970.
22. Смирнов А. Ф., Александров А. В., Монаков Н. М. и др. Сопротивление материалов. М., 1975.
23. Справочник металлостроителей / Под ред. А. Г. Рихштадта и др. М., 1976.
24. Степин П. А. Сопротивление материалов. М., 1983.
25. Терегулов И. Г. Сопротивление материалов и основы теории упругости и пластичности. М., 1984.
26. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. М., 1974.
27. Фесик С. П. Справочник по сопротивлению материалов. Киев, 1982.
28. Филин А. П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. М., 1978.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Условные обозначения	5
Глава 1. Общие сведения	8
1.1. Основные задачи сопротивления материалов	8
1.2. Внешние силы	8
1.3. Деформации и перемещения	9
1.4. Внутренние силы. Напряжения	9
1.5. Связь напряжений и деформаций. Закон Гука	11
1.6. Виды сопротивления бруса	11
1.7. Принятые допущения	12
Глава 2. Механические свойства материалов	14
2.1. Опытное изучение материалов и конструкций	14
2.2. Диаграммы испытаний	15
2.3. Механические характеристики	20
2.4. Влияние некоторых факторов на механические свойства материалов	25
Глава 3. Прочность и жесткость	28
3.1. Расчет по допускаемым напряжениям	29
3.2. Расчет по разрушающим нагрузкам	33
3.3. Расчет по предельным состояниям	34
Глава 4. Растяжение и сжатие прямого бруса	42
4.1. Продольные силы в поперечных сечениях	42
4.2. Напряжения, деформации и перемещения	43
4.3. Потенциальная энергия упругой деформации	47
4.4. Примеры расчетов при растяжении и сжатии	47
4.5. Учет массы конструкции в расчетах на растяжение и сжатие	55
4.6. Расчет статически неопределимых стержневых систем	58
4.7. Температурные и монтажные напряжения в статически неопределимых системах	70
Глава 5. Напряженное и деформированное состояние в точке	78
5.1. Напряжения в точке	78
5.2. Линейное напряженное состояние	80
5.3. Плоское напряженное состояние	82

5.4. Круг напряжений	86
5.5. Объемное напряженное состояние	89
5.6. Деформация при объемном напряженном состоянии	95
5.7. Обобщенный закон Гука. Изменение объема и формы материала при деформации	98
5.8. Удельная потенциальная энергия при объемном напряженном состоянии	101
Глава 6. Теории прочности	
6.1. Классические теории прочности	104
6.2. Энергетическая теория прочности	107
6.3. Теория прочности Мора	109
6.4. Понятия о некоторых новых теориях прочности	112
Глава 7. Сдвиг	
7.1. Напряжение и деформация при чистом сдвиге	116
7.2. Расчет болтовых соединений	118
7.3. Расчет сварных соединений	122
7.4. Расчет врубок	126
Глава 8. Геометрические и секториальные характеристики сечений	
8.1. Статический момент площади поперечного сечения. Центр тяжести плоского сечения	129
8.2. Моменты инерции плоских фигур	131
8.3. Главные оси и главные моменты инерции	133
8.4. Круг инерции	138
8.5. Эллипс инерции	139
8.6. Момент сопротивления	151
8.7. Секториальные характеристики сечений	157
Глава 9. Кручение	
9.1. Крутящие моменты	164
9.2. Напряжения и деформации при кручении стержней круглого сечения	166
9.3. Расчет стержней на прочность и жесткость	170
9.4. Расчет винтовых пружин с малым шагом витка	172
9.5. Кручение стержней некруглого поперечного сечения	177
9.6. Кручение тонкостенных стержней открытого и замкнутого профиля	178
Глава 10. Плоский изгиб стержней	
10.1. Поперечные силы и изгибающие моменты	180
10.2. Напряжения при изгибе	189
10.3. Проверка прочности при изгибе и подбор сечения	197
10.4. Расчет составных балок	200
Глава 11. Определение перемещений при изгибе балок	
11.1. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки	205
11.2. Определение перемещений методом начальных параметров	207
11.3. Определение прогибов балки способом фиктивной нагрузки	218
11.4. Определение перемещений в балках переменного сечения	221

Глава 12. Статически неопределимые балки	225
12.1. Основные положения и принципы расчёта	225
12.2. Канонические уравнения метода сил	228
12.3. Уравнение трех моментов	239
12.4. Определение перемещений балки с учетом осадки опор	247
Глава 13. Изгиб балок, лежащих на упругом основании	249
13.1. Два принципа расчета балок	249
13.2. Балка конечной длины. Расчет на основе гипотезы Фусса—Винклера	251
13.3. Расчет бесконечно длинной балки, загруженной одной сосредоточенной силой	261
13.4. Расчет, основанный на теории линейно деформируемой среды	263
Глава 14. Сложное сопротивление	272
14.1. Косой изгиб	274
14.2. Растяжение или сжатие с изгибом	279
14.3. Внецентренное сжатие (растяжение)	282
14.4. Изгиб с кручением	288
14.5. Кручение, изгиб и сжатие (растяжение)	293
Глава 15. Расчет кривых брусев	297
15.1. Основные предпосылки	297
15.2. Напряжения в поперечных сечениях кривого бруса	299
15.3. Определение положения нейтральной оси	300
15.4. Деформация кривых брусев	308
Глава 16. Стесненное кручение тонкостенных стержней открытого профиля	313
16.1. Основные понятия. Напряжения при стесненном кручении	313
16.2. Изгибно-крутильные силовые факторы	326
Глава 17. Расчет плит	341
17.1. Основные понятия. Усилия, напряжения, деформации	341
17.2. Таблицы для прогибов и усилий	345
17.3. Круглые и кольцевые изотропные плиты	354
17.4. Обзор литературы, содержащей рекомендации по расчету плит	362
Глава 18. Устойчивость сжатых стержней	363
18.1. Устойчивость гибких стержней. Формула Эйлера	363
18.2. Устойчивость стержней с малой гибкостью	366
18.3. Практический расчет сжатых стержней	369
18.4. Расчет составных стоек на устойчивость	375
18.5. Устойчивость балок при плоской форме изгиба	388
18.6. Продольно-поперечный изгиб гибких стержней	397
Глава 19. Расчеты при динамических нагрузках	409
19.1. Общие замечания	409
19.2. Неравномерное движение	410
19.3. Вращающиеся элементы	411
	463

19.4. Колебания упругих систем с одной степенью свободы	415
19.5. Ударные нагрузки	425
19.6. Испытания материалов ударной нагрузкой	431
Глава 20. Проверка прочности материалов при переменных напряжениях	
20.1. Характеристики циклов переменных напряжений	434
20.2. Явление усталости и выносливость материала	435
20.3. Учет факторов, влияющих на величину предела выносливости	439
20.4. Расчеты на прочность при переменных напряжениях	442
Глава 21. Ползучесть материалов	
21.1. Явления ползучести в материалах	446
21.2. Сведения о некоторых теориях ползучести	448
21.3. Расчеты с учетом ползучести	450
Глава 22. Конструкции, составленные из различных материалов	
22.1. Призматические стержни с симметричным расположением исходных материалов	453
22.2. Несимметричное расположение жесткостей исходных материалов в составном стержне	455
22.3. Расчет составных стержней на изгиб	456
22.4. Расчет составных стержней на тепловое воздействие	457
Литература	460

Справочное издание

Винокуров Евгений Федорович, Балыкин Михаил Кириллович,
Голубев Иван Архипович и др.

СПРАВОЧНИК ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Заведующая редакцией Н. Т. Ломако. Редактор Т. С. Филушкина, Художник Л. М. Гомонов. Художественный редактор А. А. Кулаженко. Технический редактор Л. А. Корнеева. Корректор З. Я. Губашина.

ИБ № 2945

Сдано в набор 23.07.88. Подписано в печать 01.07.88. АТ 13634. Формат 84×108^{1/2}. Бум. тип. № 3. Гарнитура литературная. Высокая печать. Усл. печ. л. 24,36. Усл. кр.-отт. 24,57. Уч.-изд. л. 24,11. Тираж 20 000 экз. Зак. № 1546. Цена 1 р. 70 к. Издательство «Наука и техника» Академии наук БССР и Государственного комитета БССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 220600. Минск, Ленинский проспект, 68. Типография им. Франциска Скорины издательства «Наука и техника». 220600. Минск, Ленинский проспект, 68.