

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**



Кафедра технической механики

и прочности

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Справочные данные к задачам по курсу
для студентов всех специальностей

Санкт-Петербург 2007

УДК 539.3/8 (031)

Деменчук Н.П. Сопротивление материалов: Справ. данные к задачам по курсу для студентов всех спец. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2007. – 45 с.

Приведены данные, необходимые для выполнения расчетно-графических работ и решения задач.

Рецензент
Проф. Д.П. Малявко

Рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

© Санкт-Петербургский государственный
университет низкотемпературных
и пищевых технологий, 2007

СОДЕРЖАНИЕ

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ.....	6
2. КОЭФФИЦИЕНТЫ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МАТЕРИАЛОВ	7
3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ	3
4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ ..	21
5. ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В БАЛКАХ ПОСТОЯННОЙ ЖЕСТКОСТИ	22
6. ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛА МОРА СПОСОБОМ ВЕРЕЩАГИНА	20
7. УСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ....	21
8. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ КРИВЫХ СТЕРЖНЕЙ	25
9. ПРОЧНОСТЬ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ НАПРЯЖЕНИЯХ	31
10. ЛАТИНСКИЙ И ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТЫ	36
11. ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА	33

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ

Таблица 1.1

Основные единицы

Величина	Наименование	Обозначение
Длина	Метр	м
Масса	Килограмм	кг
Время	Секунда	с
Термодинамическая температура	Кельвин	К

Таблица 1.2

Дополнительные и производные единицы

Величина		Единица	
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение
Площадь	L^2	Квадратный метр	m^2
Объем, вместимость	L^3	Кубический метр	m^3
Скорость	LT^{-1}	Метр в секунду	м/с
Угловая скорость	T^{-1}	Радиян в секунду	рад/с
Ускорение	LT^{-2}	Метр на секунду в квадрате	m/c^2
Угловое ускорение	T^{-2}	Радиян на секунду в квадрате	$рад/c^2$
Плотность	ML^{-3}	Килограмм на кубический метр	$кг/m^3$
Удельный объем	L^3M^{-1}	Кубический метр на килограмм	$m^3/кг$
Частота	T^{-1}	Герц	Гц
Сила, вес	LMT^{-2}	Ньютон	Н
Давление, механическое напряжение, модуль упругости	$L^{-1}MT^{-2}$	Паскаль	Па
Энергия, работа, количество теплоты	L^2MT^{-2}	Джоуль	Дж
Мощность, поток энергии	L^2MT^{-3}	Ватт	Вт
Момент силы	L^2MT^{-2}	Ньютон-метр	Н · м

Таблица 1.3

**Множители и приставки для образования десятичных кратных
и дольных единиц и их наименования**

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	Множитель	Приставка	Обозначение приставки
10^{18}	экса	Э	10^{-1}	деци	д
10^{15}	пета	П	10^{-2}	санتي	с
10^{12}	тера	Т	10^{-3}	милли	м
10^9	гига	Г	10^{-6}	микро	мк
10^6	мега	М	10^{-9}	нано	н
10^3	кило	к	10^{-12}	пико	п
10^2	гекто	г	10^{-15}	фемто	ф
10^1	дека	да	10^{-18}	атто	а

**2. КОЭФФИЦИЕНТЫ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ
НЕКОТОРЫХ МАТЕРИАЛОВ**

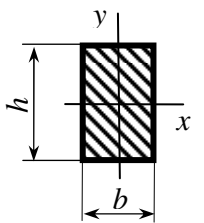
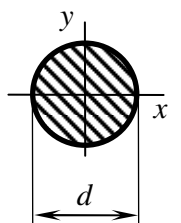
Таблица

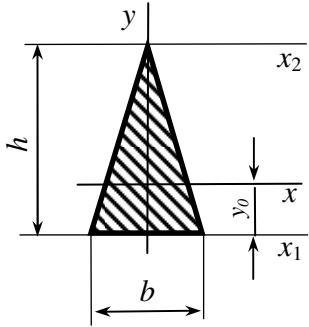
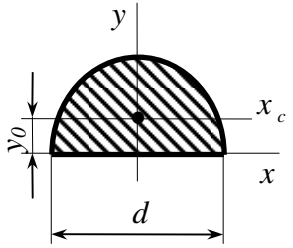
Материал	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$
Алюминий	24...26
Бронза	17...19
Дерево	2...5
Медь	16,5...17,5
Сталь	10...13
Чугун	10,4

3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ

Таблица 3.1

Геометрические характеристики некоторых плоских фигур

Форма сечения	Площадь	Осевой момент инерции	Момент сопротивления	Радиус инерции
Прямоугольник 	$F = hb$	$J_x = \frac{bh^3}{12}$, $J_y = \frac{hb^3}{12}$	$W_x = \frac{bh^2}{6}$, $W_y = \frac{bh^2}{6}$	$i_x = \frac{h}{\sqrt{12}} = 0,289 h$; $i_y = \frac{b}{\sqrt{12}} = 0,289 b$
Круг 	$F = \frac{\pi d^2}{4}$	$J_x = J_y = \frac{\pi d^4}{64}$, $J_p = \frac{\pi d^4}{32}$	$W_x = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1 d^3$; $W_p = \frac{\pi d^3}{16} \approx 0,2 d^3$	$i_x = i_y = \frac{d}{4}$

Форма сечения	Площадь	Осевой момент инерции	Момент сопротивления	Радиус инерции
<p>Треугольник</p> 	$F = \frac{bh^3}{2},$ $y_0 = \frac{h}{3}$	$J_x = \frac{bh^3}{36}; J_x J_{x_1} = \frac{bh^3}{12}$ $J_{x_2} = \frac{bh^3}{4}; J_y = \frac{bh^3}{48}$	<p>Для волокна в вершине</p> $W_x = \frac{bh^3}{24}.$ <p>Для волокон в основании</p> $W_x = \frac{bh^3}{12}.$	$i_x = \frac{h}{3\sqrt{2}} = 0,236h;$ $i_y = \frac{b}{6} \sqrt{\frac{3}{2}} = 0,204b$
<p>Полукруг</p> 	$F = \frac{bd^3}{8},$ $y_0 = \frac{2d}{3\pi} = 0,212 d$	$J_{x_c} = 0,0068 d^4$ $J_x = J_y = \frac{\pi d^4}{128} \approx 0,024 d^4$	<p>Для верхних волокон</p> $W_{x_c} = 0,0239 d^3.$ <p>Для нижних волокон</p> $W_{x_c} \approx 0,0324 d^3;$ $W_y = \frac{\pi d^3}{64} \approx 0,05 d^3$	$i_{x_c} = 0,132 d;$ $i_y = 0,25 d$

Окончание табл. 3.1

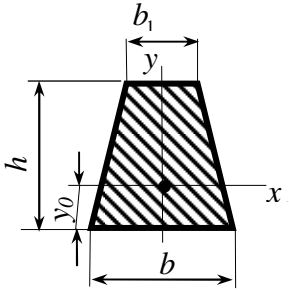
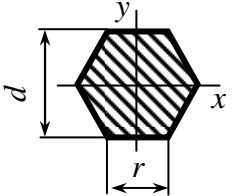
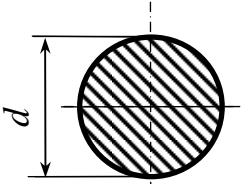
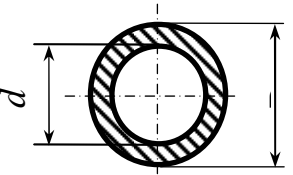
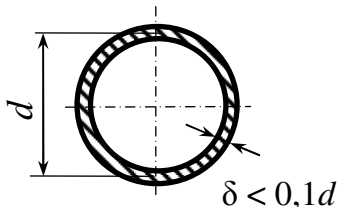
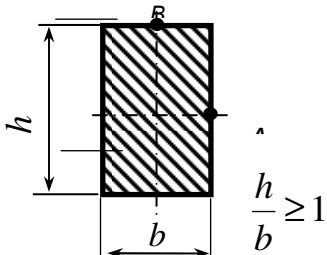
Форма сечения	Площадь	Осевой момент инерции	Момент сопротивления	Радиус инерции
<p>Трапеция</p> 	$F = \frac{b - b_1}{2} h,$ $y_0 = \frac{hb - 2b_1^2}{3(b - b_1)}$	$J_x = \frac{h^3 (b^2 + 4bb_1 + b_1^2)}{36 (b - b_1)},$ $J_y = \frac{h}{48} \frac{b^4 - b_1^4}{b - b_1}$	$W_x = \frac{h^2 (b^2 + 4bb_1 + b_1^2)}{12 (2b - b_1)},$ $W_y = \frac{h^2 (b^2 + 4bb_1 + b_1^2)}{12 (b - b_1)}$	$i_x = \frac{h}{6 (b - b_1)} \times$ $\times \sqrt{2(b^2 + 4bb_1 + b_1^2)}$
<p>Правильный шестиугольник</p> 	$F = 0,866d^2 = 2,598r^2$	$J_x = J_y = 0,06d^4 = 0,5413r^4$	$W_x = 0,12d^2 = 0,625r^3,$ $W_y = 0,06d^2 = 0,5413r^3$	$i_x = i_y = 0,263d = 0,456r$

Таблица 3.2

Геометрические характеристики для некоторых сечений при кручении прямого бруса

Форма поперечного сечения бруса	Момент инерции при кручении	Момент сопротивления при кручении	Положение точки с максимальными напряжениями
Круглое сплошное 	$J_k = J_p = \frac{\pi d^4}{32} \approx 0,01 d^4$	$W_k = W_p = \frac{\pi d^3}{16} 0,2 d^3$	Все точки контура поперечного сечения
Кольцевое толстостенное 	$J_k = J_p = \frac{\pi d^4}{32} (1 - c^4) \approx 0,1 d^3 (1 - c^4)$ $c = \frac{d}{D}$	$W_k = W_p = \frac{\pi d^3 \delta}{16} (1 - c^4) \approx 0,1 d^3 (1 - c^4)$	Все точки наружного контура поперечного сечения. В точках внутреннего контура $\tau = c \tau_{\max}$
Кольцевое тонкостенное 	$J_k = \frac{\pi d^3 \delta}{4}$	$W_k = \frac{\pi d^2 \delta}{2}$	Все точки находятся в одинаковых условиях (приближенно)

Окончание табл. 3.2

Форма поперечного сечения бруса	Момент инерции при кручении	Момент сопротивления при кручении	Положение точки с максимальными напряжениями
Прямоугольное 	$I_k = \beta hb^3$	$W_k = \alpha hb^2$	τ_{\max} возникает на середине длинных сторон (точка <i>A</i>). На середине коротких сторон (точка <i>B</i>) $\tau = \gamma \tau_{\max}$

Примечание. Коэффициенты α, β, γ для прямоугольного сечения определяют по табл. 3.3.

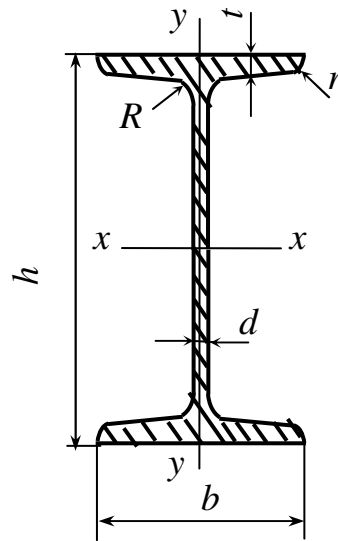
Таблица 3.3

Коэффициенты α, β, γ , определяющие геометрические характеристики прямоугольного сечения при кручении

$\frac{h}{b}$	1,00	1,20	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,0	∞
α	0,208	0,219	0,221	0,231	0,239	0,246	0,258	0,267	0,282	0,291	0,299	0,307	0,312	0,333
β	0,141	0,166	0,172	0,196	0,214	0,229	0,249	0,263	0,281	0,291	0,299	0,307	0,312	0,333
γ	1,00	0,93	0,91	0,86	0,82	0,79	0,77	0,75	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74

Таблица 3.4

Сталь прокатная – балки двутавровые (ГОСТ 8239–72)



h – высота балки;
 b – ширина полки;
 d – толщина стенки;
 t – средняя толщина полки
 R – радиус внутреннего закругления полки;
 r – радиус наружного закругления полки;
 J – момент инерции;
 i – радиус инерции;
 W – момент сопротивления;
 S – статический момент полусечения

Номер профиля	Масса, кг/м	h , мм	b , мм	d , мм	t , мм	R , мм	r , мм	Площадь сечения см^2	J_x , см^4	W_x , см^3	i_x , см	S_x , см^3	J_y , см^4	W_y , см^3	i_y , см
10	9,46	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	11,5	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,3	8,72	1,38
14	13,7	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	15,9	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70

18	18,4	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
18a	19,9	180	100	5,1	8,3	9,0	3,5	25,4	1430	159	7,51	89,8	114	22,8	2,12

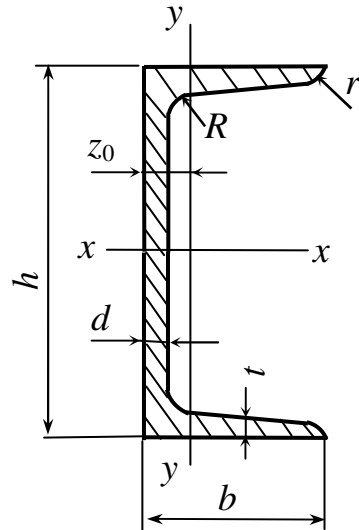
Окончание табл. 3.4

Номер про- филя	Масса, кг/м	h , мм	b , мм	d , мм	t , мм	R , мм	r , мм	Площадь сечения см ²	J_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	S_x , см ³	J_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см
20	21,0	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
20a	22,7	200	110	5,2	8,6	9,5	4,0	28,9	2030	203	8,37	114	155	28,2	2,32
22	24,0	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
22a	25,8	220	120	5,4	8,9	10,0	4,0	32,8	2790	254	9,22	143	206	34,3	2,50
24	27,3	240	125	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
24a	29,4	240	125	5,6	9,8	10,5	4,0	37,5	3800	317	10,10	178	260	41,6	2,63
27	31,5	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	5010	371	11,20	210	260	41,5	2,54
27a	33,9	270	135	6,0	10,2	11,0	4,5	43,2	5500	407	11,30	229	337	50,0	2,80
30	36,5	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	7080	472	12,30	268	337	49,9	2,69
30a	39,2	300	145	6,5	10,7	12,0	5,0	49,9	7780	518	12,50	292	436	60,1	2,95

33	42,2	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	9840	597	13,50	339	419	59,9	2,79
36	48,6	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	13380	743	14,70	423	516	71,1	2,89
40	57,0	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	19062	953	16,20	545	667	86,1	3,03
45	66,5	450	160	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7	27696	1231	18,10	708	808	101,0	3,09
50	78,5	500	170	10,0	15,2	17,0	7,0	100,0	39727	1589	19,90	919	1043	123,0	3,23
55	92,6	550	180	11,0	16,5	18,0	7,0	118,0	55962	2035	21,80	1181	1356	151,0	3,39
60	108,0	600	190	12,0	17,8	20,0	8,0	138,0	76806	2560	23,60	1491	1725	182,0	3,54

Таблица 3.5

Сталь прокатная – швеллеры (ГОСТ 8240–72)



- h – высота профиля;
 b – ширина полки;
 d – толщина стенки;
 t – средняя толщина полки;
 R – радиус внутреннего закругления полки;
 r – радиус наружного закругления полки;
 J – момент инерции;
 i – радиус инерции;
 W – момент сопротивления;
 S – статический момент полусечения;
 z_0 – расстояние от оси y – y до наружной стенки

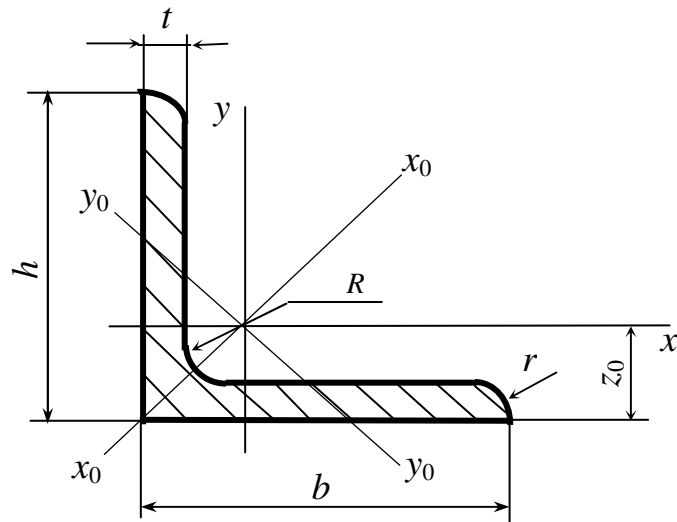
Номер профиля	Масса, кг/м	h , мм	b , мм	d , мм	t , мм	R , мм	r , мм	Площадь сечения, см^2	J_x , см^4	W_x , см^3	i_x , см	S_x , см^3	J_y , см^4	W_y , см^3	i_y , см	z_0 , см
5	4,84	50	32	4,4	7,0	6,0	2,5	6,16	22,8	9,1	1,92	5,59	5,6	2,75	0,95	1,16
6,5	5,90	65	36	4,4	7,2	6,0	2,5	7,51	48,6	15,0	2,54	9,0	8,7	3,68	1,08	1,24
8	7,05	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	8,59	100	46	4,5	7,6	7,0	2,5	10,9	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	10,4	120	52	4,8	7,8	7,5	3,0	13,3	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	12,3	140	58	4,9	8,1	8,0	3,0	15,6	491	70,2	5,60	40,8	45,4	11,0	1,70	1,67
14a	13,3	140	62	4,9	8,7	8,0	3,0	17,0	545	77,8	5,66	45,1	57,5	13,3	1,84	1,87

Окончание табл. 3.5

Номер про- филя	Масса, кг/м	h , мм	b , мм	d , мм	t , мм	R , мм	r , мм	Площадь сечения, см ²	J_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	S_x , см ³	J_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	z_0 , см
16	14,2	160	64	5,0	8,4	8,5	3,5	18,1	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,80
16a	15,3	160	68	5,0	9,0	8,5	3,5	19,5	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2,00
18	16,3	180	70	5,1	8,7	9,0	3,5	20,7	1090	121	7,24	69,8	86	17,0	2,04	1,94
18a	17,4	180	74	5,1	9,3	9,0	3,5	22,2	1190	132	7,32	76,1	105	20,0	2,18	2,13
20	18,4	200	76	5,2	9,0	9,5	4,0	23,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,30	2,07
20a	19,8	200	80	5,2	9,7	9,5	4,0	25,2	1670	167	8,15	95,9	139	24,2	2,35	2,28
22	21,0	220	82	5,4	9,5	10,0	4,0	26,7	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
22a	22,6	220	87	5,4	10,2	10,0	4,0	28,8	2330	212	8,99	121	187	30,0	2,55	2,46
24	24,0	240	90	5,6	10,0	10,5	4,0	30,6	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,60	2,42
24a	25,8	240	95	5,6	10,7	10,5	4,0	32,9	3180	265	9,84	151	254	37,2	2,78	2,67
27	27,7	270	95	6,0	10,5	11,0	4,5	35,2	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	31,8	300	100	6,5	11,0	12,0	5,0	40,5	5810	387	12,0	224	327	43,6	2,84	2,52
33	36,5	330	105	7,0	11,7	13,0	5,0	46,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	41,9	360	110	7,5	12,6	14,0	6,0	53,4	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,10	2,68
40	48,3	400	115	8,0	13,5	15,0	6,0	61,5	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

Таблица 3.6

Сталь прокатная угловая равнополочная (ГОСТ 8509–72)



h – высота балки;
 b – ширина малой полки;
 d – толщина полки;
 t – средняя толщина полки;
 R – радиус внутреннего закругления полки;
 r – радиус наружного закругления полки;
 J – момент инерции;
 i – радиус инерции;
 W – момент сопротивления;
 z_0 – расстояние от центра тяжести до наружных граней полок;
 $J_{x,y}$ – центробежный момент инерции

Номер профиля	Масса, кг/м	b , мм	t , мм	R , мм	r , мм	Площадь сечения, см ²	J_x , см ⁴	i_x , см	$J_{x_0 \max}$, см ⁴	$i_{x_0 \max}$, см	$J_{y_0 \min}$, см ⁴	$i_{y_0 \min}$, см	z_0 , см
4,5	2,08	45	3	5,0	1,7	2,65	5,13	1,39	8,13	1,75	2,12	0,89	1,21
	2,73		4			3,43	6,63	1,38	10,52	1,74	2,74	0,89	1,26
	3,37		5			4,29	8,03	1,37	12,74	1,72	3,33	0,88	1,30
	3,99		6			5,08	9,35	1,36	14,80	1,71	3,90	0,88	1,34

Продолжение табл. 3.6

Номер профиля	Масса, кг/м	b , мм	t , мм	R , мм	r , мм	Площадь сечения, см ²	J_x , см ⁴	i_x , см	$J_{x_0 \max}$, см ⁴	$i_{x_0 \max}$, см	$J_{y_0 \min}$, см ⁴	$i_{y_0 \min}$, см	z_0 , см
5,0	2,32	50	3	5,5	1,8	2,96	7,11	1,55	11,27	1,95	2,95	1,00	1,33
	3,05		4			3,89		1,54	14,63	1,94	3,80	0,99	1,38
	3,77		5			4,80	9,21	1,53	17,77	1,92	4,63	0,98	1,42
	4,47		6			5,69	11,20	1,52	20,72	1,91	5,43	0,98	1,46
	5,15		7			6,56	13,07	1,50	23,47	1,89	6,21	0,97	1,50
	5,82		8			7,41	14,84	1,49	26,03	1,87	6,98	0,97	1,53
						16,51							
5,6	3,44	56	4	6,0	2,0	4,38	13,10	1,73	20,79	2,18	5,41	1,11	1,52
	4,25		5			5,41	15,97	1,72	25,36	2,16	6,59	1,10	1,57
6	3,71	60	4	7,0	2,3	4,72	16,21	1,85	25,69	2,33	6,72	1,19	1,62
	4,58		5			5,83	19,79	1,84	31,40	2,32	8,18	1,18	1,66
	5,43		6			6,92	23,21	1,83	36,81	2,31	9,60	1,18	1,70
	7,10		8			9,04	29,55	1,81	46,77	2,27	12,34	1,17	1,78
	8,70		10			11,08	35,32	1,79	55,64	2,24	15,00	1,16	1,85
6,3	3,90	63	4	7,0	2,3	4,69	18,86	1,95	29,90	2,45	7,81	1,25	1,69
	4,81		5			6,13	23,10	1,94	36,80	2,44	9,52	1,25	1,74
	5,72		6			7,28	27,06	1,93	42,91	2,43	11,18	1,24	1,78

7	4,87	70	4,5	8,0	2,7	6,20	29,04	2,16	46,03	2,72	12,04	1,39	1,88
	5,38		5			6,86	31,94	2,16	50,67	2,72	13,22	1,39	1,90
	6,39		6			8,15	37,58	2,15	59,64	2,71	15,52	1,38	1,94
	7,39		7			9,42	42,98	2,14	68,19	2,69	17,77	1,37	1,99
	8,37		8			10,67	48,16	2,12	76,35	2,68	19,97	1,37	2,02
	10,29		10			13,11	57,90	2,10	91,52	2,64	24,27	1,36	2,10

Продолжение табл. 3.6

Номер профиля	Масса, кг/м	b , мм	t , мм	R , мм	r , мм	Площадь сечения, см ²	J_x , см ⁴	i_x , см	$J_{x_0 \max}$, см ⁴	$i_{x_0 \max}$, см	$J_{y_0 \min}$, см ⁴	$i_{y_0 \min}$, см	z_0 , см
7,5	5,80	75	5	9	3,0	7,39	39,53	2,31	62,65	2,91	16,41	1,49	2,02
	6,89		6			8,78	46,57	2,30	73,87	2,90	19,28	1,48	2,06
	7,96		7			10,15	53,34	2,29	84,61	2,89	22,07	1,47	2,10
	9,02		8			11,50	59,84	2,28	94,89	2,87	24,80	1,47	2,15
	10,07		9			12,83	66,10	2,27	104,72	2,86	27,48	1,46	2,18
8	6,78	80	5,5	9	3,0	8,63	52,68	2,47	83,56	3,11	21,80	1,59	2,17
	7,36		6			9,38	56,97	2,47	90,40	3,11	23,54	1,58	2,19
	8,51		7			10,85	66,31	2,45	103,66	3,09	26,97	1,58	2,23
	9,65		8			12,30	73,36	2,44	116,39	3,08	30,32	1,57	2,27
	11,88		10			15,14	88,58	2,42	140,31	3,04	36,85	1,56	2,35
	14,05		12			17,90	102,74	2,40	162,27	3,01	43,21	1,55	2,42

9	8,33	90	6	10	3,3	10,61	82,10	2,78	130,00	3,50	33,97	1,79	2,43
			7			12,28	94,30	2,77	149,67	3,49	38,94	1,78	2,47
	9,64		8			13,93	106,11	2,76	168,42	3,48	43,80	1,77	2,51
	10,93		9			15,60	118,00	2,75	186,00	3,46	48,60	1,77	2,55
	12,20		10			17,17	128,60	2,74	203,93	3,45	53,27	1,76	2,59
	13,48		12			20,33	149,67	2,71	235,88	3,41	62,40	1,75	2,67
	15,96												

Продолжение табл. 3.6

Номер профиля	Масса, кг/м	b , мм	t , мм	R , мм	r , мм	Площадь сечения, см ²	J_x , см ⁴	i_x , см	$J_{x_0 \max}$, см ⁴	$i_{x_0 \max}$, см	$J_{y_0 \min}$, см ⁴	$i_{y_0 \min}$, см	z_0 , см
10	10,06	100	6,5	12	4,0	12,82	122,10	3,09	193,46	3,89	50,73	1,99	2,68
	10,79		7			13,75	130,59	3,08	207,01	3,88	54,16	1,98	2,71
	12,25		7			15,60	147,19	3,07	233,46	3,87	60,92	1,98	2,75
	15,10		8			19,24	178,95	3,05	283,83	3,84	74,08	1,96	2,83
	17,90		8			22,80	208,90	3,03	330,95	3,81	86,84	1,95	2,91
	20,63		10			26,28	237,15	3,00	374,98	3,78	99,32	1,94	2,99
	21,97		12			27,99	250,82	2,99	395,87	3,76	105,48	1,94	3,03
	14		15										
11	11,89	110	7	12	4,0	15,15	175,61	3,40	278,54	4,29	72,68	2,19	2,96
	13,50		8			17,20	198,17	3,39	314,51	4,28	81,83	2,18	3,00
12	14,76	120	8	14	4,6	18,80	259,75	3,72	412,45	4,68	107,04	2,39	3,25
	18,24		9			23,24	317,16	3,69	503,79	4,66	130,54	2,37	3,33
	21,67		10			27,60	371,80	3,67	590,28	4,62	153,33	2,36	3,41
	26,68		12			33,99	448,90	3,63	711,32	4,57	186,48	2,34	3,53

12,5	15,46	125	8	14	4,6	19,69	294,36	3,87	466,76	4,87	121,96	2,49	3,36						
	17,30		9			22,0	327,48							3,86	520,00	4,86	135,88	2,48	3,40
	19,10		10			24,33	359,82							3,85	571,04	4,84	148,59	2,47	3,45
	22,68		12			28,89	422,23							3,82	670,02	4,82	174,43	2,46	3,53
	26,20		14			33,37	481,76							3,80	763,90	4,78	199,62	2,45	3,61
	29,65		16			37,77	538,56							3,78	852,84	4,75	224,29	2,44	3,68

Продолжение табл. 3.6

Номер профиля	Масса, кг/м	b , мм	t , мм	R , мм	r , мм	Площадь сечения, см ²	J_x , см ⁴	i_x , см	$J_{x_0 \max}$, см ⁴	$i_{x_0 \max}$, см	$J_{y_0 \min}$, см ⁴	$i_{y_0 \min}$, см	z_0 , см
14	19,41	140	9	14	4,6	24,72	465,72	4,34	739,42	5,47	192,03	2,79	3,78
	21,45		10			27,33	512,29	4,33	813,62	5,46	210,96	2,78	3,82
	25,50		12			32,49	602,49	4,31	956,98	5,43	248,01	2,76	3,90

16	31,43	160	10	16	5,3	24,67	774,24	4,96	1229,10	6,25	319,38	3,19	4,30
	34,42		11			27,02		4,95	1340,06	6,24	347,77	3,18	4,35
	37,39		12			28,35		4,94	1450,00	6,23	375,78	3,17	4,39
	43,57		14			33,97		4,92	1662,13	6,20	430,81	3,16	4,47
	49,07		16			38,52		4,89	1865,73	6,17	484,64	3,14	4,55
	54,79		18			43,01		487	2061,03	6,13	537,46	3,13	4,63
	60,44		20			47,44		4,85	2248,26	6,10	549,43	3,12	4,70
18	30,47	180	11	16	5,3	38,60	1216,44	5,60	1933,10	7,06	499,78	3,59	4,85
	33,12		12			42,19	5,59	2092,78	7,04	540,45	3,58	4,89	
20	36,97	200	12	18	6,0	47,10	1822,78	6,22	2896,16	7,84	749,40	3,99	5,37
	39,92		13			50,85	6,21	3116,18	7,83	805,35	3,98	5,42	
	42,80		14			54,60	6,20	3333,00	7,81	861,00	3,97	5,46	
	48,65		16			61,98	6,17	3755,39	7,78	969,74	3,96	5,54	
	60,08		20			76,54	6,12	4560,42	7,72	1181,90	3,93	5,70	
	74,02		25			94,29	6,06	5494,04	7,63	1438,40	3,91	5,89	

Окончание табл. 3.6

Номер профиля	Масса, кг/м	b , мм	t , мм	R , мм	r , мм	Площадь сечения, см ²	J_x , см ⁴	i_x , см	$J_{x_0 \max}$, см ⁴	$i_{x_0 \max}$, см	$J_{y_0 \min}$, см ⁴	$i_{y_0 \min}$, см	z_0 , см
------------------	----------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--	----------------------------	---------------	-------------------------------------	------------------------	-------------------------------------	------------------------	---------------

22	47,40	220	14	21	7,0	60,38	2814,36	6,83	4470,15	8,60	1158,60	4,39	5,91
	53,83		16			68,58	3175,44	6,81	5045,37	8,58	1305,50	4,36	6,02
25	61,55	140	16	24	8,0	78,40	4717,10	7,76	7492,10	9,78	1942,10	4,98	6,75
	68,86		18			87,72	5247,24	7,73	8336,69	9,75	2157,80	4,96	6,83
	76,11		20			96,96	5764,87	7,71	9159,73	9,72	2370,00	4,94	6,91
	83,31		22			106,10	6270,32	7,69	9961,60	9,69	2579,00	4,93	7,00
	93,97		25			119,70	7006,39	7,65	11125,50	9,64	2887,30	9,91	7,11
	104,50		28			133,10	7716,86	7,61	12243,80	9,59	3189,90	4,90	7,23
111,40	30	142,00	8176,52	7,59	12964,70	9,56	3389,00	4,89	7,31				

4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

Таблица 4.1

Механические характеристики некоторых сталей

Материал	Предел прочности σ_b , МПа	Предел текучести σ_t , МПа	Предел выносливости, МПа		
			при изгибе σ_{-1}	при кручении τ_{-1}	при растяжении σ_{-AP}
<i>Углеродистые обыкновенного качества</i>					
Ст. 1	320...400	180	160...220	80...120	120...150
Ст. 2	320...400	190...220	170...220	80...130	120...160
Ст. 3	380...470	210...240	170...220	100...130	120...160
Ст. 4	420...520	240...260	190...250	–	190...250
Ст. 5	500...620	260...280	220...300	130...180	170...220
Ст. 6	600...720	300...310	250...340	150...250	190...250
<i>Углеродистые качественные</i>					
10	340...420	210	160...220	80...120	120...150
20	420...500	250	170...220	100...130	120...160
30	500...600	300	200...270	110...140	170...210
40	580...700	340	230...320	140...190	180...240
45	610...750	360	250...340	150...200	190...250
50	640...800	380	270...350	160...210	200...260
60	690...900	410	310...380	180...220	220...280
30Г	550...700	320	220...320	–	–
60Г	710	420	–	–	250...320
<i>Легированные</i>					
20Х	720...850	400...650	310...380	170...230	–
40Х	730...1050	650...900	320...480	210...260	240...340
45Х	850...1050	700...950	400...500	–	–
30ХМ	740...1000	540...850	310...410	230	370
40ХН	1000...1450	800...1300	460...600	–	310...420
12ХН3А	950...1400	700...1100	420...640	220...300	–
20ХН3А	950...1450	850...1100	430...650	240...310	–
40ХНМА	1100...1700	850...1600	500...700	270...380	–
15ХСНД	640...660	390...420	310	160	–
30ХГСА	1100...1700	850...1500	480...700	280...400	–


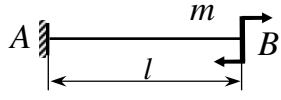
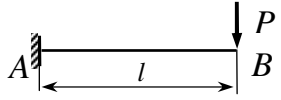
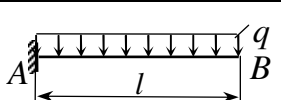
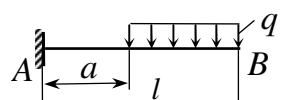
Таблица 4.2

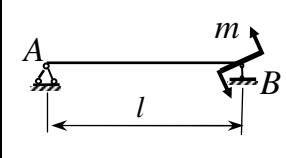
Модули упругости и коэффициент Пуассона

Материал	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	$G \cdot 10^{-4}$, МПа	μ
Чугун серый, белый	1,13...1,57	4,4	0,23...0,27
Углеродистые стали	2,0...2,1	8,0...8,1	0,24...0,28
Легированные стали	2,06...2,16	7,85...7,94	0,25...0,30
Бронза фосфористая	1,13	4,12	0,32...0,35
Бронза марганцовистая	2,08	3,92	0,35
Латунь холоднотянутая	0,89...0,97	3,43...3,63	0,32...0,42
Алюминий катаный	0,68	2,55...2,65	0,32...0,36
Дюралюминий катаный	0,7	2,65	–
Стекло кварцевое	0,55	2,16	0,25
Дерево вдоль волокон	0,1...0,12	0,054	–
Дерево поперек волокон	0,005...0,01	–	–


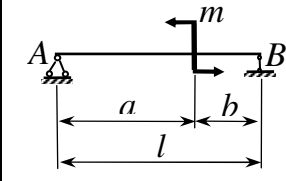
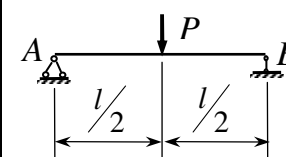
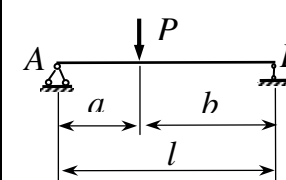
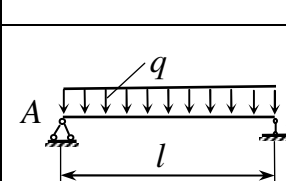
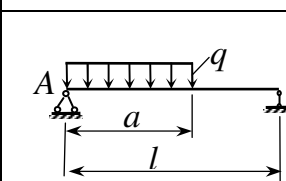
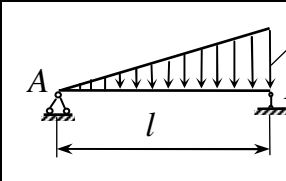
5. ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В БАЛКАХ ПОСТОЯННОЙ ЖЕСТКОСТИ

Таблица

Схема балки в координатной системе 	$EJ\theta_A$	$EJ\theta_B$	EJy_{\max}
	0	ml	$\frac{m l^2}{2}$
	0	$\frac{Pl^2}{2}$	$\frac{Pl^3}{3}$
	0	$\frac{ql^3}{6}$	$\frac{ql^4}{8}$
	0	$\frac{ql^3}{6} \left(1 - \frac{a^3}{l^3} \right)$	$\frac{ql^3}{24} \left(3 - \frac{4a^3}{l^3} - \frac{a^4}{l^4} \right)$

	$\frac{ml}{6}$	$-\frac{ml}{3}$	$\frac{ml^2}{9\sqrt{3}}$ при $z = \frac{l}{\sqrt{3}}$
---	----------------	-----------------	---

Окончание табл.

Схема балки в координатной системе 	$EJ\theta_A$	$EJ\theta_B$	EJy_{\max}
	$\frac{ma}{6} \left(6 - \frac{2l}{a} - \frac{3a}{l} \right)$	$\frac{mb}{6} \left(6 - \frac{2l}{b} - \frac{3b}{l} \right)$	$\frac{mlz}{6} \left(2 - \frac{6a}{l} + \frac{3a^2}{l^2} - \frac{z^2}{l^2} \right)$ при $z = l \sqrt{2 \frac{a}{l} - \frac{2}{3} - \frac{a^2}{l^2}}$
	$\frac{Pl^2}{16}$	$-\frac{Pl^2}{16}$	$\frac{Pl^3}{48}$
	$\frac{Pab}{6l} (l + b)$	$-\frac{Pab}{6l} (l + a)$	$\frac{Pb}{3l} \left(\frac{a^2 + 2ab}{3} \right)^{\frac{3}{2}}$ при $z = \sqrt{\frac{a^2 + 2ab}{3}}$
	$\frac{ql^3}{24}$	$-\frac{ql^3}{24}$	$\frac{5ql^4}{384}$
	$\frac{qa^2l}{24} \left(2 - \frac{a}{l} \right)^2$	$-\frac{qa^2l}{24} \left(2 - \frac{a^2}{l^2} \right)$	$\frac{qa^3l}{24} \left(4 - 7 \frac{a}{l} + \frac{3a^2}{l^2} \right)$ при $z = a$ (прогиб не наибольший)
	$\frac{7ql^3}{360}$	$-\frac{8ql^3}{360}$	$0,00652 ql^4$ при $z = 0,5193 l$

	$\frac{qa^2l}{360} \left(40 - 45 \frac{a}{l} + \frac{a^2}{l^2} \right)$	$-\frac{qa^2l}{90} \left(5 - 3 \frac{a^2}{l^2} \right)$	$\frac{qa^3l}{45} \left(5 - 9 \frac{a}{l} + 4 \frac{a^2}{l^2} \right)$ при $z = a$ (прогиб не наибольший)
--	--	--	---

6. ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛА МОРА СПОСОБОМ ВЕРЕЩАГИНА

Площади и координаты центров тяжести некоторых эпюр

Эпюра M_n	Площадь эпюры	Координата центра тяжести площади z_c
	$\frac{1}{2} hl$	$\frac{1}{3} l$
	$\frac{1}{2} hl$	$\frac{1}{3} (a + l)$
	$\frac{h_1 + h_2}{2} l$	$\frac{h_1 + 2h_2}{3(h_1 + h_2)} l$
<p style="text-align: center;">Квадратичная парабола</p>	$\frac{2}{3} hl$	$\frac{1}{2} l$
<p style="text-align: center;">Половина квадратичной параболы</p>	$\frac{2}{3} hl$	$\frac{3}{8} l$

 <p>Квадратичная парабола</p>	$\frac{1}{3} hl$	$\frac{1}{4} l$
 <p>Кубическая парабола</p>	$\frac{1}{4} hl$	$\frac{1}{5} l$

7. УСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ

Таблица 7.1

Значения коэффициента приведения длины для стержней постоянного поперечного сечения

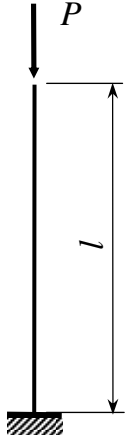
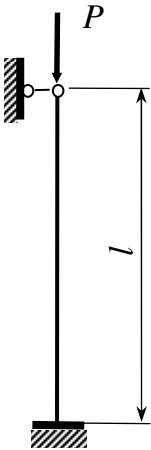
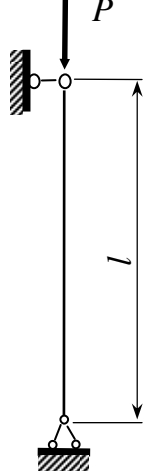
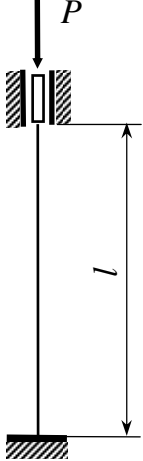
<p>Схема стержня</p>				
<p>Характер опорных закреплений</p>	<p>Защемление одного конца стержня</p>	<p>Защемление одного конца стержня, на другом – шарнир</p>	<p>Шарнирное закрепление обоих концов стержня</p>	<p>Защемление обоих концов стержня</p>
<p>μ</p>	<p>2,0</p>	<p>0,7</p>	<p>1,0</p>	<p>0,5</p>

Таблица 7.2

Значения коэффициентов a и b для некоторых материалов при определении критического напряжения по формуле Ясинского $\sigma_{кр} = a - b \lambda$ и предельные значения гибкости $\lambda_{пред}$ сжатых стержней

Материал	a , МПа	b , МПа	$\lambda_{пред}$	λ_0
Сталь Ст. 2	250	0,668	105	60
Сталь Ст. 3	310	1,11	100	61
Сталь 20, Ст. 4	343	1,42	95	60
Сталь Ст. 5, 35Л	348	1,42	90	55
Сталь 35, 45Л	420	2,00	90	50
Сталь 45	589	3,82	85	60
Сталь 50, 55Л	413	1,25	82	50
Сталь 30ХМА, 30ГСА, 40ХНМА	1000	5,40	55	28
Сталь 14Г2, 14ХГС, 15ХСНД	469	2,62	85	50
Дюралюминий Д16Т	400	3,33	60	30
Дюралюминий Д6Т	290	2,28	80	5
Сосна, ель	29,3	0,194	110	–

Примечание:

$\lambda_{пред}$ – предельное значение гибкости, выше которого применима формула Эйлера;

λ_0 – значение гибкости, при котором критическое напряжение равно опасному (σ_T или σ_B) при чистом сжатии.

Для стержней из чугунного литья (СЧ12-28, СЧ15-32 и др.) $\lambda_{пред} \approx 80$, $\sigma_{кр} = 776 - 12 \lambda + 0,053 \lambda^2$, МПа.

Таблица 7.3

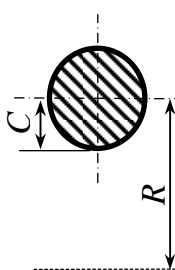
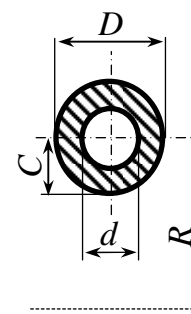
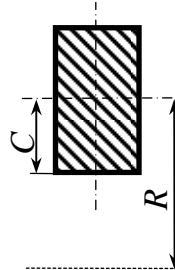
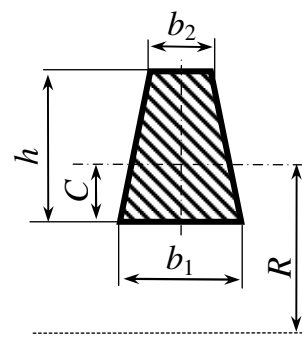
Значение коэффициента продольного изгиба φ

Гибкость λ	Сталь			Чугун		Дюралюминий Д16Т	Дерево
	Ст. 3 Ст. 4	Ст. 5	14Г2 15ГС	СЧ12-28 СЧ15-32	СЧ24-44 СЧ28-48		
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	1,00
10	0,99	0,98	0,98	0,97	0,95	0,999	0,99
20	0,97	0,96	0,95	0,91	0,87	0,998	0,97
30	0,95	0,93	0,92	0,81	0,75	0,835	0,93
40	0,92	0,90	0,89	0,69	0,60	0,700	0,87
50	0,89	0,85	0,84	0,57	0,43	0,568	0,80
60	0,86	0,80	0,78	0,44	0,32	0,455	0,71
70	0,81	0,74	0,71	0,34	0,23	0,353	0,61
80	0,75	0,67	0,63	0,26	0,18	0,269	0,49
90	0,69	0,59	0,54	0,20	0,14	0,212	0,38
100	0,60	0,50	0,46	0,16	0,12	0,172	0,31
110	0,52	0,43	0,39	–	–	0,142	0,25
120	0,45	0,37	0,33	–	–	0,119	0,22
130	0,40	0,32	0,29	–	–	0,101	0,18
140	0,36	0,28	0,25	–	–	0,087	0,16
150	0,32	0,25	0,23	–	–	0,076	0,14
160	0,29	0,23	0,21	–	–	–	0,12
170	0,26	0,21	0,19	–	–	–	0,11
180	0,23	0,19	0,17	–	–	–	0,10
190	0,21	0,17	0,15	–	–	–	0,09
200	0,19	0,15	0,13	–	–	–	0,08
210	0,17	0,14	0,12	–	–	–	–
220	0,16	0,13	0,11	–	–	–	–

8. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ КРИВЫХ СТЕРЖНЕЙ

Таблица 8.1

Определение положения нейтральной оси

$\frac{R}{C}$		 $D=2d$		 $b_1=2b_2$ $b_1=4b_2$ $h=(1\div 3) b_2$ $h=5b_2$	
				$C = \frac{4}{9} h$	$C = \frac{4}{10} h$
1,2	0,224	0,269	0,305	0,336	0,352
1,4	0,151	0,182	0,204	0,229	0,243
1,6	0,108	0,134	0,149	0,168	0,179
1,8	0,084	0,104	0,112	0,128	0,138
2,0	0,069	0,083	0,090	0,102	0,110
2,2	0,058	0,068	0,077	0,084	0,092
2,4	0,049	0,057	0,065	0,071	0,078
2,6	0,042	0,049	0,055	0,061	0,067
2,8	0,036	0,043	0,047	0,053	0,058
3,0	0,030	0,038	0,041	0,046	0,050
3,5	0,022	0,028	0,028	0,033	0,037
4,0	0,016	0,020	0,021	0,024	0,028
6,0	0,0070	0,0087	0,0093	0,011	0,012
8,0	0,0039	0,0049	0,0052	0,0060	0,0060
10,0	0,0025	0,0031	0,0033	0,0039	0,0039

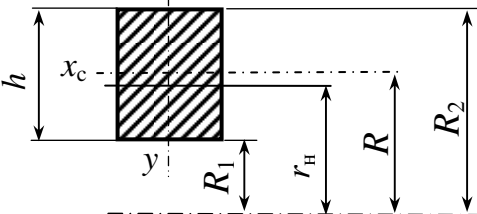
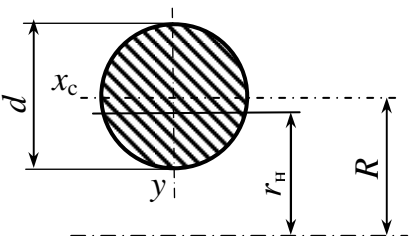
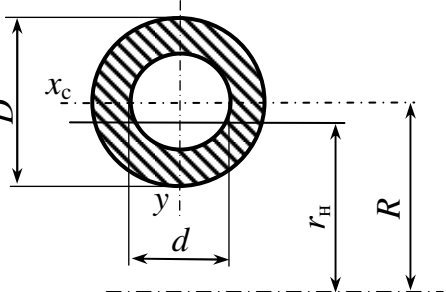
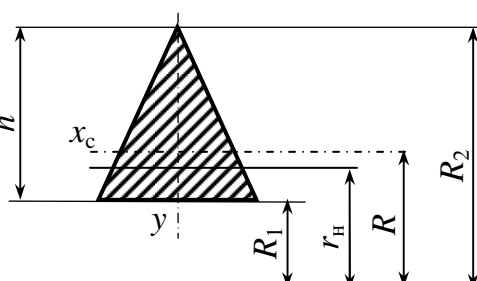
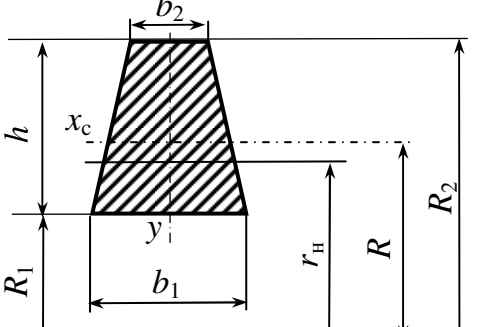
Примечание:

$$e = k R,$$

где e – смещение нейтральной оси от центральной; k – табличный коэффициент, определенный в зависимости от формы сечения и R/C , здесь C – расстояние от центрального до внутреннего волокна; R – радиус кривизны центрального слоя.

Таблица 8.2

Радиус кривизны нейтрального слоя r_H для некоторых форм сечений

Сечение	r_H
	$r_H = \frac{h}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$
	$r_H = \frac{d^2}{4(2R - \sqrt{4R^2 - d^2})}$
	$r_H = \frac{\sqrt{4R^2 - d^2} + \sqrt{4R^2 - D^2}}{4}$
	$r_H = \frac{h}{2 \left[\frac{R_2}{h} \ln \frac{R_2}{R_1} - 1 \right]}$
	$r_H = \frac{h(b_2 + b_1)}{2 \left[\frac{b_1 R_2 - b_2 R_1}{h} \ln \frac{R_2}{R_1} - (b_1 - b_2) \right]}$

Примечание: x_c – центральная ось сечения.

Таблица 8.3

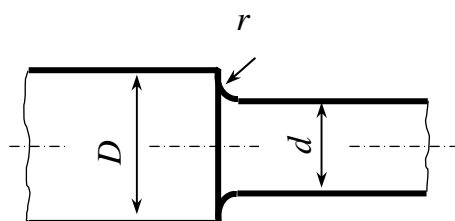
Интегралы для определения перемещений в кривых стержнях

$f = (\varphi)$	$\int_0^{\alpha} f(\varphi) d\varphi$	$\alpha = \frac{\pi}{2}$	$\alpha = \pi$	$\alpha = \frac{3\pi}{2}$	$\alpha = 2\pi$
$\sin \varphi$	$1 - \cos \varphi$	1	2	1	0
$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	1	0	-1	0
$\sin^2 \varphi$	$\frac{1}{2}\varphi - \frac{1}{4}\sin 2\varphi$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{4}$	π
$\cos^2 \varphi$	$\frac{1}{2}\varphi + \frac{1}{4}\sin 2\varphi$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{4}$	π
$\sin \varphi \cos \varphi$	$\frac{1}{2}\sin^2 \varphi$	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	0
$(1 - \cos \varphi)^2$	$\frac{3}{2}\varphi - 2\sin \varphi + \frac{1}{4}\sin 2\varphi$	$\frac{3\pi}{4} - 2$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{9\pi}{4} + 2$	3π
$(1 + \cos \varphi)^2$	$\frac{3}{2}\varphi + 2\sin \varphi + \frac{1}{4}\sin 2\varphi$	$\frac{3\pi}{4} + 2$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{9\pi}{4} - 2$	3π
$(1 - \sin \varphi)^2$	$\frac{3}{2}\varphi - 2 + 2\cos \varphi - \frac{1}{4}\sin 2\varphi$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4} - 2$	$\frac{9\pi}{4} - 4$	$3\pi - 2$
$(1 + \sin \varphi)^2$	$\frac{3}{2}\varphi + 2 - 2\cos \varphi - \frac{1}{4}\sin 2\varphi$	$\frac{3\pi}{4}$	$3\pi + 2$	$\frac{9\pi}{4} + 2$	$3\pi + 2$

9. ПРОЧНОСТЬ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ НАПРЯЖЕНИЯХ

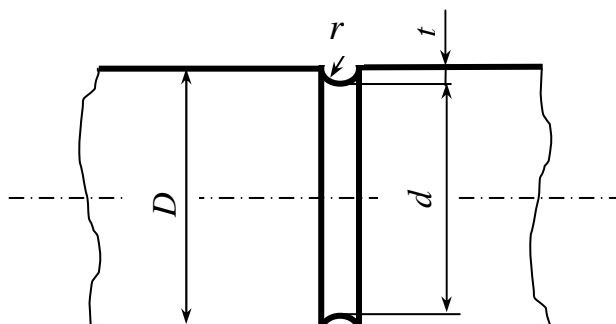
Таблица 9.1

**Эффективные коэффициенты концентрации напряжений K_σ , K_τ
для валов и осей с галтелями**



$\frac{D}{d}$	$\frac{r}{d}$	K_σ при изгибе деталей из стали, имеющей σ_B , МПа			K_τ при кручении деталей из стали, имеющей σ_B , МПа		
		≤ 500	800	≥ 1000	≤ 500	800	≥ 1000
1,05	0,02	1,70	1,88	2,05	1,24	1,29	1,33
	0,05	1,48	1,57	1,63	1,15	1,18	1,20
	0,10	1,28	1,33	1,36	1,08	1,10	1,12
	0,15	1,20	1,23	1,25	1,06	1,08	1,09
	0,20	1,16	1,20	1,22	1,05	1,06	1,07
1,1	0,02	2,00	2,24	2,47	1,40	1,52	1,62
	0,05	1,64	1,70	1,75	1,25	1,28	1,30
	0,10	1,37	1,42	1,45	1,12	1,16	1,18
	0,15	1,27	1,31	1,34	1,09	1,12	1,14
	0,20	1,20	1,24	1,27	1,06	1,08	1,10
1,25	0,02	2,12	2,68	3,10	1,64	1,73	1,80
	0,05	1,81	1,97	2,10	1,40	1,45	1,48
	0,10	1,47	1,54	1,60	1,20	1,27	1,32
	0,15	1,35	1,40	1,43	1,15	1,20	1,24
	0,20	1,30	1,32	1,34	1,09	1,13	1,16
1,5	0,02	2,42	–	–	1,76	1,97	2,14
	0,05	1,91	2,06	2,20	1,48	1,56	1,62
	0,10	1,53	1,61	1,67	1,24	1,32	1,38
	0,15	1,38	1,44	1,48	1,19	1,25	1,29
	0,20	1,33	1,36	1,38	1,10	1,18	1,24

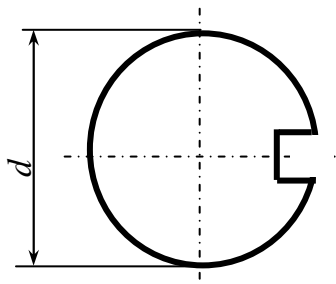
**Эффективные коэффициенты концентрации напряжений
для валов и осей с выточками**



$\frac{t}{r}$	$\frac{r}{d}$	Коэффициент концентрации напряжений при изгибе для деталей из стали, имеющих σ_B , МПа			Коэффициент концентрации напряжений при кручении для деталей из стали, имеющих σ_B , МПа		
		≤ 500	800	≥ 1000	≤ 500	800	≥ 1000
0,05	0,02	1,77	2,02	2,22	1,46	1,61	1,73
	0,05	1,72	1,87	1,98	1,43	1,52	1,60
	0,10	1,59	1,69	1,77	1,36	1,42	1,46
	0,15	1,45	1,53	1,59	1,27	1,32	1,36
	0,20	1,37	1,41	1,45	1,22	1,25	1,27
1,0	0,02	1,85	2,12	2,35	1,51	1,67	1,81
	0,05	1,80	1,95	2,10	1,48	1,58	1,66
	0,10	1,65	1,76	1,85	1,39	1,47	1,51
	0,15	1,50	1,58	1,65	1,30	1,35	1,39
	0,20	1,45	1,48	1,50	1,27	1,29	1,30
2,0	0,02	1,92	2,21	2,41	1,56	1,73	1,87
	0,05	1,86	2,03	2,99	1,51	1,62	1,71
	0,10	1,70	1,82	1,76	1,42	1,50	1,56
	0,15	1,54	1,63	1,52	1,33	1,38	1,42
	0,20	1,48	1,52	1,40	1,29	1,30	1,32

Таблица 9.3

**Эффективные коэффициенты концентрации напряжений
для валов и осей с одной и двумя шпоночными канавками**



Характер нагружения	Предел прочности материала вала σ_b , МПа					
	500	500	700	800	900	1000
Изгиб K_σ	1,50	1,60	1,72	1,80	1,90	2,0
Кручение K_τ	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90

Таблица 9.4

**Эффективные коэффициенты концентрации напряжений
для шлицевых (зубчатых) участков валов**

Характер нагружения	Предел прочности материала вала σ_b , МПа							
	400	500	600	700	800	900	1000	1200
Прямоугольные шлицы по ГОСТ 1130–53: изгиб K_σ кручение K_τ	1,35	1,45	1,55	1,60	1,65	1,70	1,72	1,75
	2,40	2,25	2,35	2,45	2,25	2,65	2,70	2,80
Эвольвентные шлицы по ГОСТ 6033–51: изгиб K_σ кручение K_τ	1,35	1,45	1,55	1,60	1,65	1,70	1,72	1,75
	1,40	1,43	1,46	1,49	1,52	1,55	1,58	1,60

Таблица 9.5

Коэффициенты чувствительности материала к симметрии цикла

Материал	σ_B , МПа	Ψ_σ	Ψ_τ
Сталь углеродистая	350...550	0	0
	520...750	0,05	0
	700...1000	0,1	0,05
	1000...1200	0,2	0,10
	1200...1400	0,25	0,15
Сталь легированная	–	0,2...0,3	0,1...0,15

Таблица 9.6

**Значения масштабного фактора $\epsilon_\sigma = \epsilon_\tau$
в зависимости от диаметра детали**

Предел прочности стали	d , мм							
	10	20	30	40	50	70	100	120
Углеродистая сталь, $\sigma_B = 400...500$ МПа	0,98	0,92	0,88	0,85	0,82	0,76	0,7	0,63
Углеродистая и легированная сталь, $\sigma_B = 500...800$ МПа	0,97	0,89	0,85	0,81	0,78	0,73	0,68	0,61
Легированная сталь, $\sigma_B = 500...1200$ МПа	0,95	0,86	0,81	0,77	0,74	0,69	0,65	0,59
Легированная сталь, $\sigma_B = 1200...1400$ МПа	0,94	0,83	0,77	0,73	0,70	0,66	0,62	0,57

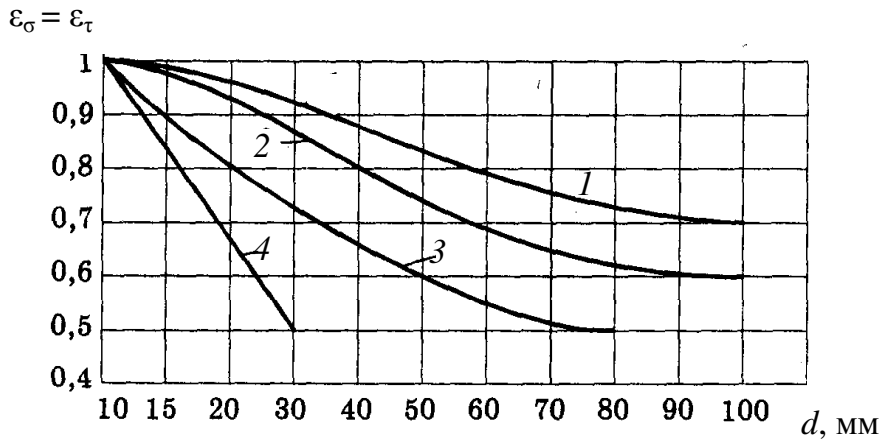


Рис. 9.1. Масштабный коэффициент при изгибе ε_σ и кручении ε_τ валов:
 1 – углеродистая сталь при отсутствии концентрации напряжений;
 2 – легированная сталь при отсутствии концентрации напряжений
 и углеродистая сталь при наличии умеренной концентрации напряжений;
 3 – легированная сталь при наличии концентрации напряжений;
 4 – сталь при большой концентрации напряжений

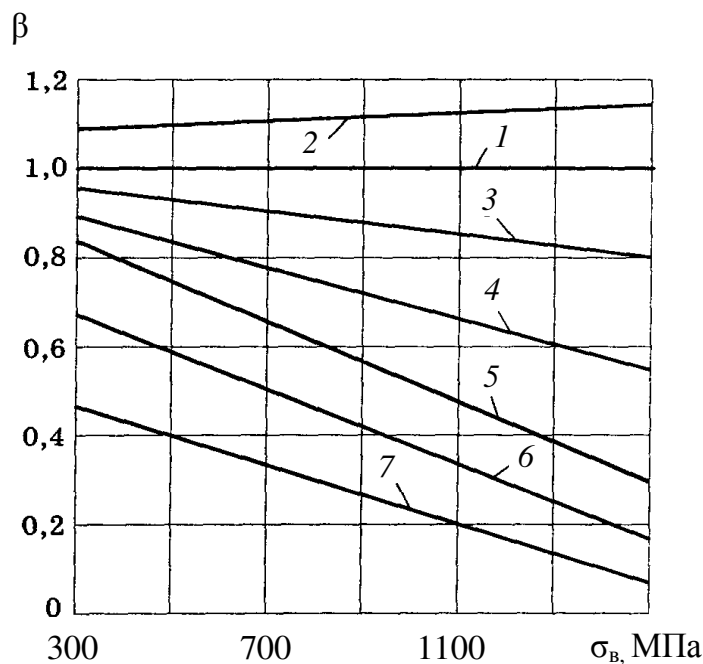


Рис. 9.2. Значения коэффициента качества поверхности β различных сталей в зависимости от их предела прочности и вида механической обработки:
 1 – шлифованные образцы; 2 – образцы с полированной поверхностью;
 3 – обработка резцом; 4 – мелкая насечка; 5 – поверхности после проката;
 6, 7 – поверхности, корродированные в пресной и морской воде

10. ЛАТИНСКИЙ И ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТЫ

Латинский алфавит				Греческий алфавит						
Начертание	Название	Начертание	Название	Начертание	Название	Начертание	Название			
A	a	N	n	эн	Α	α	альфа	Ξ	ξ	кси
B	b	O	o	о	Β	β	бэта	Ο	ο	омикрон
C	c	P	p	пэ	Γ	γ	гамма	Π	π	пи
D	d	Q	q	ку	Δ	δ	дельта	Ρ	ρ	ро
E	e	R	r	эр	Ε	ε	эпсилон	Σ	σ	сигма
F	f	S	s	эс	Z	ξ	дзэта	Τ	τ	тау
G	g	T	t	тэ	Η	η	эта	Φ	φ	фи
H	h	U	u	у	Θ	θ θ	тэта	Χ	χ	хи
I	i	V	v	вэ	Ι	ι	йота	Υ	υ	ипсилон
J	j	W	w	дубль-вэ	Κ	κ	каппа	Ψ	ψ	пси
K	k	X	x	икс	Λ	λ	ламбда	Ω	ω	омега
L	l	Y	y	игрек	Μ	μ	мю(ми)			
M	m	Z	z	зэт	Ν	ν	ню(ни)			

11. ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

1. **Галилео Галилей** (1564–1642) – итальянский ученый. Занимался исследованиями в области математики, механики, астрономии; заложил основы динамики; дал описание поверхности Луны, обнаружил спутники Юпитера, наблюдал фазы Венеры, описал пятна на Солнце, подтвердил теорию Коперника. В 1633 г. Галилей был осужден инквизицией за свои астрономические работы. После отречения ему запретили заниматься астрономией, обязали поселиться в его вилле Арцетри рядом с Флоренцией, где он стал заниматься сопротивлением материалов. Им были высказаны положения о прочности бруса при растяжении и изгибе и сделаны попытки установить безопасные размеры элементов сооружений. Работы Галилея положили начало науке «сопротивление материалов».

2. **Эдм Мариотт** (1620–1684) – французский физик, член Французской академии наук. Ему принадлежат изобретение баллистиче-

ского маятника и проект трубопровода для водоснабжения Версальского дворца. Э. Мариотт предложил теорию изгиба с учетом свойств материала; показал, что разрушение наступает тогда, когда удлинение достигает определенного значения. Исследовал влияние заделки концов балки на ее прочность, вывел формулу для оценки прочности труб на разрыв.

3. **Роберт Гук** (1636–1703) – английский ученый, член Лондонского Королевского общества. Научные работы Р. Гука охватывают многие отрасли естествознания: изобретение воздушного насоса и открытие газовых законов, разработка теории капиллярности, объяснение волновой природы света и явления ньютоновских колец, идея закона всемирного тяготения; изобретение пружинного привода и анкерного хода часов, механического арифмометра, морского барометра; опыты по созданию искусственных мускулов, эксперименты по гравитации. Читал лекции о кометах, янтаре, причинах землетрясений. Имел степень доктора медицины. Открытие Р. Гуком закона пропорциональности между силой, приложенной к упругому телу, и его деформацией явилось фундаментом, на котором получила развитие механика упругих тел.

4. **Даниил Бернулли** (1700–1782) – швейцарский ученый, член Российской академии наук с 1725 г. Основные труды Д. Бернулли посвящены гидродинамике, кинетической теории газов, теории колебаний балок, теории упругих кривых. Он первым вывел дифференциальное уравнение поперечных колебаний призматического бруса, дал анализ частных случаев колебаний, много занимался экспериментальными работами. В сопротивлении материалов Д. Бернулли была сформулирована и предложена гипотеза плоских сечений.

5. **Леонард Эйлер** (1707–1783) родился близ Базеля (Швейцария). С 1730 г. – член Российской академии наук. Его вклад в развитие математики и механики огромен. Используя аналитические методы в механике, Л. Эйлер показал, как из дифференциальных уравнений движения частицы путем последующего их интегрирования может быть выяснено движение тела. В сопротивлении материалов Л. Эйлер получил формулу для критической нагрузки стержня при продольном сжатии, провел исследования формы упругих линий изгиба при различных условиях нагружения упругих тонких стержней, рассматривал вопросы колебания балок и пластин. Им выполне-

ны значительные исследования по небесной механике, динамике, гидромеханике; получены выдающиеся результаты в области математики, вариационного исчисления и т. д. Л. Эйлером написано около 886 книг и статей. Только за период с 1766 по 1783 гг. после полной утраты зрения им было опубликовано свыше 400 научных работ. Рукописи, оставшиеся после смерти ученого, публиковались в анналах Российской академии наук еще в течение 47 лет.

6. **Жан Лерон Даламбер** (1717–1783) – французский математик и философ. В 13 лет поступил в колледж имени Мазорини, по окончании которого получил звание бакалавра искусств. За литературную деятельность в 23 года был избран членом Французской академии искусств. В возрасте 26 лет дал общее решение задачи о нахождении динамических реакций связей несвободной материальной системы, получившей позже название принципа Даламбера. Принцип Даламбера является одним из важнейших общих принципов динамики. В 1754 г. Ж.Л. Даламбер был избран членом Французской академии наук. Он доказал существование воздушных приливов, дал решение дифференциального уравнения второго порядка с частными производными, обосновал признак сходимости рядов. В 1764 г. был избран членом Петербургской академии наук.

7. **Шарль Огюстен Кулон** (1736–1806) – выдающийся французский ученый, член Французской академии наук. Ему принадлежат работы по электричеству и магнетизму, вязкости жидкости, трению, изгибу балок, расчету подпорных стенок и арок, кручению и крутильным колебаниям, прочности материалов при различных видах нагружения. Ш.О. Кулоном получено соотношение между крутящим моментом и углом закручивания для стержня круглого поперечного сечения.

8. **Пьер Симон Лаплас** (1749–1827) – французский ученый, астроном, физик, математик, механик, член Академии наук. Основные работы относятся к небесной механике (название «небесная механика» введено им в 1798 г.). Им выполнены работы по исследованию теплоты и электричества, по чистой математике и физике, астрофизике, теории вероятности, теории капиллярности, теории распространения звука и света. П.С. Лаплас был председателем и главным руководителем метрической комиссии по установлению единообразной системы мер и весов.

9. **Франтишек Иосиф Герстнер** (1756–1832) – немецкий ученый. Основные труды посвящены механике. Существенный вклад в сопротивление материалов внес, изучая влияние остаточной деформации на свойства образцов, подвергнутых растяжению. Он установил, что упругие деформации при растяжении за пределами упругости всегда подчиняются закону Гука и первый предложил материалы для висячих мостов подвергать предварительному растяжению до определенного предела (наклепу). Им проведено первое исследование линий влияния при проектировании висячих мостов.

10. **Томас Юнг** (1773–1829) – английский ученый, член Лондонского Королевского общества. Ему принадлежат основополагающие работы по теории зрения, звука; открытие интерференции света. Является основоположником изучения удара, решения задач о внецентренном растяжении и сжатии прямоугольного бруса. Т. Юнг впервые показал, что продольные деформации всегда сопровождаются изменением поперечных размеров; дал оценку величины молекулы; определил величину модуля упругости стали; участвовал в расшифровке египетских иероглифов.

11. **Симеон Дени Пуассон** (1781–1840) – член Французской академии наук. Ему принадлежат важные работы в теории дифференциальных уравнений в частных производных, в теории вероятности, в теории изгиба пластин со свободно опертыми и с жестко заземленными краями. С.Д. Пуассоном выведены уравнения для продольных, крутильных и поперечных колебаний стержней, получено значение коэффициента Пуассона при простом растяжении призматического стержня.

12. **Луи Мари Анри Навье** (1785–1836) – французский ученый и инженер, член Французской академии наук, автор первой книги по сопротивлению материалов. Им заложены основы математической теории упругости, дано современное представление модуля упругости, внесен существенный вклад в теорию балок и кривых брусьев, пластин и оболочек, в теорию колебаний, в теорию расчета висячих мостов; получено дифференциальное уравнение изогнутой оси балки; разработан общий метод решения статически неопределимых задач.

13. **Огюстэн Луи Коши** (1789–1857) – член Французской академии наук. Внес большой вклад в развитие математической теории упругости, дал соотношения между шестью компонентами напряжения и компонентами деформаций для изотропного тела. Впервые в 1882 г. сформулировал и ввел понятие главных напряжений и деформаций. Исследовал кручение прямоугольного стержня и показал депланацию его поперечного сечения.

14. **Габриэль Ламе** (1795–1870) – французский ученый. После окончания политехнической школы и школы горных инженеров в 1820 г. был приглашен в Петербург для преподавания прикладной математики и физики в Институте инженеров путей сообщения. Принимал участие в проектировании через реку Неву большого висячего моста длиной пролета 306 м. Им положено начало механическим испытаниям материалов. В связи со строительством Исаакиевского собора в Петербурге Г. Ламе занимался исследованием устойчивости и расчета арок. Основные работы ученого посвящены теории прочности. Им доказано, что напряжения в точке образуют эллипсоид напряжений; получены формулы для напряжений и перемещений, возникающих в стенках толстостенных цилиндров, при этом впервые применены цилиндрические координаты. В 1852 г. Г. Ламе была опубликована первая книга по теории упругости под названием «Лекции по математической теории упругости твердых тел». Дал полное решение задачи о деформации сферической оболочки. В связи с июльской революцией 1830 г. и связанным с этим событием ухудшением взаимоотношений между Россией и Францией Г. Ламе в 1831 г. был уволен с русской службы и вернулся во Францию, где работал профессором Политехнической школы, а затем Сорбонны. В 1843 г. был избран членом Французской академии наук.

15. **Барре де Сен-Венан** (1797–1886) – член Французской академии наук. Главными научными результатами являются вывод основных уравнений теории упругости, разработка теории изгиба и кручения балок, создание теории пластических деформаций и теории колебаний. Он сформулировал принцип, носящий его имя, используемый для решения задач сопротивления материалов.

16. **Вёлер А.** (1819–1914) – основоположник научного изучения усталости материалов, создатель первых машин для испытаний сопротивления усталости. Впервые разработал технические условия

на материалы, поступающие для использования на железных дорогах, а также впервые изучал влияние концентрации напряжений на усталость.

17. **Уильям Джон Макуорн Рэнкин** (1820–1872) – английский ученый, член Королевского общества. Ему принадлежат многие работы по молекулярной физике и термодинамике, по теории упругости и строительной механике, в частности исследования поведения арок и подпорных стен, исследования усталостных разрушений.

18. **Журавский Дмитрий Иванович** (1821–1891) – русский ученый и инженер. Впервые провел исследование касательных напряжений при поперечном изгибе и предложил формулу для приближенного определения их величин. Журавским спроектирован и построен ряд мостов и других металлических конструкций, в том числе металлический шпиль Петропавловского собора в Петербурге.

19. **Энрико Бетти** (1823–1892) – итальянский математик и инженер, дал общее доказательство теоремы о взаимности работ. Позже лорд Рэлей распространил эту теорему на колебания упругих систем.

20. **Джеймс Клерк Максвелл** (1831–1879) – английский математик и физик, родился в Эдинбурге. Ему принадлежат важные работы в области расчета конструкций. Предложил метод единичной нагрузки для определения перемещений в упругих фермах. Сформулировал теорему о взаимности перемещений, разработал метод податливостей для определения лишних неизвестных сил в статически неопределимых фермах. Им был разработан метод анализа напряжений в поляризованном свете. В 1856 г. Д. К. Максвеллом была высказана мысль, что разрушение элемента тела начинается, когда энергия формоизменения достигает определенного предела. Наибольшую известность получили его работы по оптике, кинетической теории газов, теории электричества и магнетизму.

21. **Отто Кристиан Мор** (1835–1918) – немецкий ученый. Его основные научные работы посвящены расчету статически неопределимых конструкций. Предложил графические методы определения напряжений и деформаций в точке, уравнение трех моментов с учетом разности высоты опор, метод определения прогибов. Используя метод графического представления напряжений, он предложил теорию прочности, не имеющую в своей основе критерия разрушения.

22. **Лорд Рэлей (Джон Уильям Стрэтт)** (1842–1919) окончил в 1864 г. Тринити-колледж в Кембридже. Главные научные труды посвящены распространению звука и света, теории электричества. Им впервые дано объяснение, почему небо имеет голубой цвет. Он исследовал колебания струн, стержней, мембран, пластин и оболочек, ввел понятие обобщенных сил и обобщенных координат. Разработал способ определения частоты колебаний сложных систем путем перевода сложной системы в систему с одной степенью свободы. Метод получил широкое применение в решении задач теории упругости и теории сооружений. В 1904 г. получил Нобелевскую премию по физике за открытие первого инертного газа – аргона.

23. **Карло Альберто Кастилиано** (1847–1884) – итальянский инженер. В Туринском политехническом институте студент Кастилиано выполнил выдающееся исследование по теории сооружений. Представленная им в 1873 г. научная дипломная работа содержала формулировку его знаменитой теоремы. В дальнейшем им было сформулировано большое число концепций и принципов расчета конструкций, доказал принцип «наименьшей работы». Преждевременная смерть Кастилиано положила конец дальнейшим успехам этого блестящего ученого. Однако его теорема получила всеобщее признание в качестве одного из краеугольных камней теории сооружений.

24. **Ясинский Феликс Станиславович** (1856–1899) – профессор Петербургского института инженеров путей сообщения, видный ученый в области устойчивости стержней и стержневых систем. Он исследовал точное решение дифференциального уравнения продольного изгиба и доказал справедливость формулы Эйлера, полученной на основе приближенного уравнения; ввел понятие «приведенная длина» стержня. Провел большую работу по оптимизации прокатных профилей, глубокие исследования по теории пространственных ферм. Им спроектирован и построен ряд крупных сооружений для железных дорог Петербург–Варшава и Петербург–Москва.

25. **Крылов Алексей Николаевич** (1863–1945) – выдающийся ученый-математик, кораблестроитель, лауреат Государственной премии СССР, Герой Социалистического труда, академик. Им разработаны теория колебаний мостов при перемещении постоянной и импульсивной нагрузки, теория вибрации корабля, метод расчета балок на упругом основании; проведены глубокие исследования упругой

линии сжатого стержня при больших прогибах; выполнен перевод с латинского на русский язык «Начал» Ньютона; разработана теория приближенных вычислений для практического пользования инженерами.

26. **Людвиг Прандтль** родился в 1875 г. во Фрейзинге, вблизи Мюнхена. С 1904 г. – директор института прикладной механики Геттингенского университета. Круг научных интересов Прандтля очень широк. Им разработаны модель поверхности скольжения при растяжении; модель, объясняющая гистерезисные петли. Изучая явления разрушения, Л. Прандтль указал на два типа разрушения – хрупкое разрушение (отрывом) и разрушение от сдвига. Обосновал принцип мембранной аналогии в задачах кручения; дал строгое решение задачи чистого изгиба кривого бруса; развил теорию изгиба круглых пластинок; заложил основы теории поперечной устойчивости балок и кривых брусьев, теории устойчивости плоской формы изгиба. Исследуя вопросы пластичности, предложил диаграмму схематизации пластичных материалов. Л. Прандтлем проведены значительные работы в области аэродинамики.

27. **Тимошенко Степан Прокофьевич** (1878–1972) оказал большое влияние на развитие инженерного дела и высшего технического образования в мире. Являлся членом Академии наук Украины, членом-корреспондентом АН СССР. С 1922 по 1960 гг. жил в США, был профессором Мичиганского и Стенфордского университетов. С 1960 по 1972 гг. жил в ФРГ. Научные работы посвящены теории упругости, теории удара и теории колебаний, расчету пластин и оболочек, теории устойчивости упругих и неупругих систем. Тимошенко первым исследовал изгиб и кручение тонкостенных стержней, определил центр изгиба балки.

28. **Серенсен Сергей Владимирович** (1905–1977) – лауреат Государственной премии СССР, академик АН УССР, ведущий ученый в области прочности и анализа разрушения конструкций. Разработал критерии усталостной прочности материалов и несущей способности элементов конструкций с учетом характера цикла напряжений, вида напряженного состояния и конструктивно-технологических факторов. Является одним из основоположников науки о сопротивлении усталости элементов конструкций.

29. **Давиденков Николай Николаевич** (1879–1962) – академик, основные труды относятся к теории прочности. Им предложена объединенная гипотеза прочности для хрупких материалов, разработан способ определения остаточных напряжений в деталях конструкций, выполнены экспериментальные исследования по определению влияния размеров образцов на предел прочности.

30. **Верещагин А.Н.**, будучи студентом Московского института инженеров транспорта (1925 г.), разработал и предложил способ вычисления интегралов от произведения двух функций.

Деменчук Николай Павлович

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Справочные данные к задачам по курсу
для студентов всех специальностей

Редактор

Е.О. Трусова

Корректор

Н.И. Михайлова

Компьютерная верстка

Н.В. Гуральник

Подписано в печать 26.06.2007. Формат 60×84 1/16

Усл. печ. л. 2,79. Печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 2,75

Тираж экз. Заказ № С 8

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИИК СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9