

Г.В. БЕЛИКОВ, И.С. АНТОНОВ

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ
К РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНЫМ РАБОТАМ
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

Ульяновск
2009

Федеральное агентство по образованию
Государственное общеобразовательное учреждение высшего профессионального образования
Ульяновский государственный университет

Г.В. БЕЛИКОВ, И.С. АНТОНОВ

**СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ
К РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНЫМ РАБОТАМ
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ**

Учебное пособие

Ульяновск
2009

УДК 539.9(076)
ББК 30.121я7
С74

Рецензенты:

С74 **Справочные** данные к расчетно - проектировочным работам по сопротивлению материалов: учебное пособие / сост. Г.В. Беликов, И.С. Антонов. – Ульяновск: УлГУ, 2009. – с.

Пособие составлено в соответствии с учебными программами по дисциплине «Сопротивление материалов» для направления подготовки дипломированных специалистов 653200 — Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы.

Пособие рекомендуется студентам при изучении курса «Сопротивление материалов» и при выполнении расчетно-проектировочных работ.

Работа выполнена на кафедре «Физическое материаловедение».

УДК 539.9(076)
ББК 30.121я7

Учебное пособие

**Справочные данные к расчетно-проектировочным работам
по сопротивлению материалов**

БЕЛИКОМ Геннадий Викторович
АНТОНОВ Иван Степанович

Редактор

Подписано в печать . Формат .
Бумага . Печать . Усл. печ. л. .
Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ .

Отпечатано в издательском центре Ульяновского

Государственного университета.

432000, г. Ульяновск, ул. Л.Толстова, 42

© Г.В. Беликов, И.С. Антонов, составление 2009
© Оформление. УлГУ, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

Основные обозначения и единицы измерения физических величин.....	
1. Международная система единиц, справочные данные общего характера.....	
2. Геометрические характеристики плоских сечений.....	
3. Физико-механические свойства материалов.....	
4. Методы определения перемещений в упругих стержневых системах.....	
5. Устойчивость сжатых элементов конструкций.....	
6. Усталостная прочность.....	
Библиографический список.....	

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН [7]

<i>ВЕЛИЧИНА</i>	<i>ОБОЗНА- ЧЕНИЕ</i>	<i>ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ в СИ</i>
Абсолютное удлинение -	Δl	[м]
Амплитуда цикла возмущающей силы-	F_a	[Н]
Амплитуда возмущающей силы -	F_0	[Н]
Величина, определяющая чувствительность металла к концентрации напряжений -	v_σ, v_τ	
Вес единицы объема материала -	γ	[Н/м ³]
Вес стержня, груза -	F_r	[Н]
Время-	t	[с]
Высота прямоугольного сечения, падения груза-	h, H	[м]
Возмущающая сила -	F_b	[Н]
Гибкость стержня -	λ	
Геометрическая характеристика сечения стержня при кручении -	J_k	[м ⁴]
Градус по шкале Цельсия -	°С	[град]
Давление -	p	[Па]
Диаметр сечения стержня -	d, D	[м]
Динамический момент -	M_d	[Нм]
Длина стержня (или участок его длины) -	l, a	[м]
Динамическая сила -	F_d	[Н]
Допустимый угол закручивания -	[φ]	[рад]

Жесткость стержня, системы -	c	[Н/м]
Запас прочности -	n	
Интенсивность распределенной нагрузки -	q	[Н/м]
Изгибающий момент:		
- внешний -	M	[Нм]
- относительно главных центральных осей инерции сечения z и y -	M_z, M_y	[Нм]
- от действия единичной обобщенной силы -	M	
Коэффициенты:		
• асимметрия цикла -	R	
• в уравнениях метода сил -	δ_{ii}, δ_{ik}	
• динамичности (динамический) -	K_d	
• допускаемый (запаса прочности) -	$[n]$	
• допускаемый (запаса устойчивости) -	$[n_y]$	
• запаса прочности -	n, n_σ, n_τ	
• запаса устойчивости -	n_y	
• качества обработки поверхности -	$K_{F\sigma}, K_{F\tau}$	
• качества поверхностного упрочнения -	$K_{V\sigma}, K_{V\tau}$	
• концентрации напряжений:		
- теоретические -	$\alpha_\sigma, \alpha_\tau$	
- эффективные -	K_σ, K_τ	
• влияния коррозии -	$K_{кор}$	
• линейного расширения (температурный) -	α	[град ⁻¹]
• поперечной деформации (Пуассона) -	ν	
• приведения длины при расчете на устойчивость -	μ	
• уменьшения допускаемого напряжения при расчете на устойчивость -	φ	
• снижения предела выносливости -	K	

Критическая сила -	$F_{кр}$	[Н]
Круговая частота изменения возмущающей силы -	ω_0	[с ⁻¹]
Круговая частота колебаний -	ω	[с ⁻¹]
Крутящий момент:		
• <i>внешний</i> -	T	[Нм]
• <i>внутренний</i> -	$T_x, T_{кр}$	[Нм]
Масштабный фактор -	$K_{d\sigma}, K_{d\tau}$	
Масса груза, стержня -	m	[кг]
Модуль продольной упругости материала-	E	[Па]
Модуль сдвига материала -	G	[Па]
Момент инерции массы относительно оси вращения -	J_m	[кг м ²]
Момент сопротивления сечения при кручении -	W_k	[м ³]
Мощность -	P	[Вт]
Напряжения:		
• <i>главные</i> -	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3,$	[Па]
• <i>динамические</i> -	σ_d, τ_d	[Па]
• <i>допускаемые</i> -	$[\sigma], [\tau]$	[Па]
• <i>допускаемые при цикле с коэффициентом асимметрии R</i> -	$[p_R], [\sigma_R], [\tau_R]$	[Па]
• <i>допускаемые на растяжение, сжатие, изгиб, смятие</i> -	$[\sigma_p], [\sigma_c],$ $[\sigma_n], [\sigma_{cm}]$	[Па]
• <i>допускаемое на устойчивость</i> -	$[\sigma_y]$	[Па]
• <i>допускаемое при кручении, сдвиге</i> -	$[\tau_{кр}], [\tau_{сд}]$	[Па]
• <i>допускаемые при симметричном цикле</i> -	$[p_{-1}], [\sigma_{-1}], [\tau_{-1}]$	[Па]
• <i>касательное</i> -	τ	[Па]
• <i>предел прочности при срезе</i> -	$\tau_{ср}$	[Па]
• <i>критическое</i> -	$\sigma_{кр}$	[Па]
• <i>максимальное, минимальное, среднее, амплитуда</i>	$p_{max}, p_{min}, p_m, p_a$	[Па]

<i>цикла</i> -	$\sigma_{\max}, \sigma_{\min}, \sigma_m, \sigma_a$ $\tau_{\max}, \tau_{\min}, \tau_m, \tau_a$	
• <i>нормальное</i> -	σ	[Па]
• <i>полное</i> -	ρ	[Па]
• <i>пределы выносливости</i> -	ρ_R, σ_R, τ_R	[Па]
• <i>предельное</i> -	$\sigma_{\text{пред}}$	[Па]
• <i>пределы выносливости при симметричном цикле нагружения</i> -	$\rho_{-1}, \sigma_{-1}, \tau_{-1}$	[Па]
• <i>пределы пропорциональности</i> -	$\sigma_{\text{пц}}, \tau_{\text{пц}}$	[Па]
• <i>предел прочности при изгибе</i> -	$\sigma_{\text{вн}}$	[Па]
• <i>предел прочности при растяжении</i> -	$\sigma_{\text{вр}}$	[Па]
• <i>предел прочности при сжатии</i> -	$\sigma_{\text{вс}}$	[Па]
• <i>пределы текучести</i> -	σ_T, τ_T	[Па]
• <i>пределы упругости</i> -	σ_y, τ_y	[Па]
• <i>окружное, радиальное, осевое, амплитудное</i> -	$\sigma_t, \sigma_r, \sigma_a$	[Па]
• <i>средние (цикла)</i> -	σ_m, τ_m	[Па]
Объем -	V	[м ³]
Осадка пружины -	$\Delta l_{\text{пр}}$	[м]
Осевые моменты инерции сечения относительно осей z и y -	I_z, I_y	[м ⁴]
Осевые моменты сопротивления сечения относительно осей z и y -	W_z, W_y	[м ³]
Относительное остаточное удлинение -	δ	%
Относительный градиент первого главного напряжения в зоне концентрации напряжений -	G	[мм ⁻¹]
Относительное остаточное сужение -	Ψ	%
Параметр рабочего сечения образца или детали или его часть, прилегающая к местам повышенной напряженности-	L	[мм]

Перемещения осевые:

по оси x -	u	[м]
по оси y -	v	[м]
по оси z -	w	[м]
Период колебаний -	t_k	[с]
Погонный момент внешних пар сил, равномерно распределенных по длине стержня -	m	[Нм/м]
Площадь поперечного сечения стержня -	A	[м ²]
Полярный момент инерции площади сечения -	I_p	[м ⁴]
Полярный момент сопротивления сечения -	W_p	[м ³]
Поперечная деформация -	ε'	
Поперечные силы, направленные по осям z и y -	Q_z, Q_y	[Н]
Приведенный момент в балке -	$M_{пр}$	[Нм]
Прогиб балки -	v, f, w	[м]
Продольная деформация -	ε	
Продольная сила -	N	[Н]
Работа -	W	[Дж]
Радиусы инерции поперечного сечения относительно осей z и y -	i_z, i_y	[м]
Радиусы кривизны -	ρ	[м]
Размер по дуге, длина кривой -	s	[м]
Реакции лишних связей -	X_1, X_2, X_3	[Н]
Свободные члены в уравнениях метода сил -	Δ_{ip}	
Сила сосредоточенная (внешняя) -	F	[Н]
Скорость -	v	[м/с]
Статические моменты площади сечения относительно осей z и y -	S_z, S_y	[м ³]

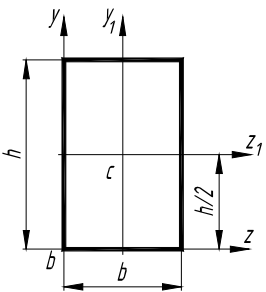
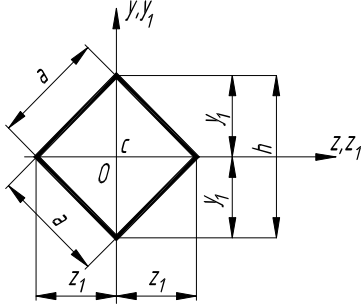
Углы:

• закручивания -	φ	[град]
• закручивания (относительный) -	φ'	[град/м]
• поворота сечения балки -	θ	[град]
• сдвига -	γ	[град]
Ударная вязкость, ускорение -	$a_{н},$	[Дж/см ²]
	a	[м/с ²]
Удельная потенциальная энергия упругой деформации; ее части, идущие на изменение формы и объема -		
	$U, U_{\phi}, U_{об}$	[Дж]
Ускорение силы тяжести -	g	[м/с ²]
Центробежный момент инерции сечения относительно осей z и y -	J_{zy}	[м ⁴]
Частота:		
• вращения -	ω	[с ⁻¹]
• вращения критическая -	$\omega_{кр}$	[с ⁻¹]
• свободных колебаний -	ν	[с ⁻¹]
• возмущающей силы (линейная) -	f	[с ⁻¹]
Ширина сечения -	b	[м]
Элемент длины геометрической оси участка -	ds	[м]
Энергия:		
• кинетическая -	E_k	[Дж]
• потенциальная -	U	[Дж]

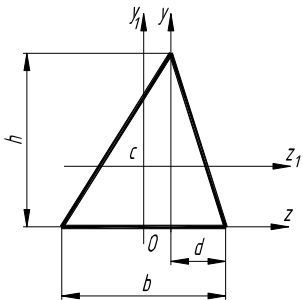
2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ

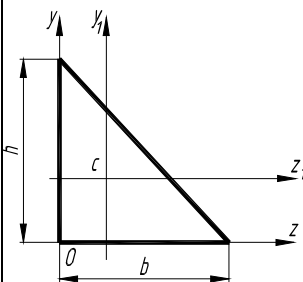
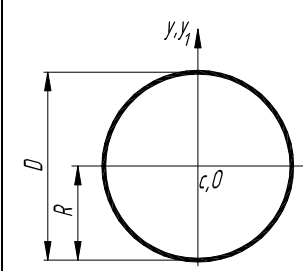
Таблица 2.1

Геометрические характеристики простейших плоских сечений
($C_{y_1z_1}$ – центральная система координат; $C(y_c, z_c)$) [10, 25]

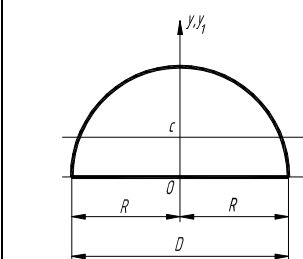
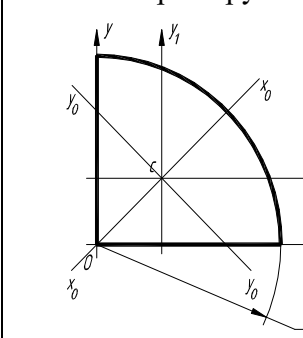
Форма сечения	Площадь сечения А	Координаты центра тяжести	Моменты инерции	Примечания
1	2	3	4	5
<p style="text-align: center;">Прямоугольник</p> 	hb	$z_c = \frac{b}{2}, y_c = \frac{h}{2}$	$I_{z_1} = \frac{bh^3}{12}, I_{y_1} = \frac{hb^3}{12},$ $I_z = \frac{bh^3}{3}, I_y = \frac{bh^3}{3}$	
<p style="text-align: center;">Квадрат, поставленный на ребро</p> 	a^2	$z_c = y_c = 0$	$I_{z_1} = I_{y_1} = \frac{a^4}{12} = \frac{h^4}{48}$	

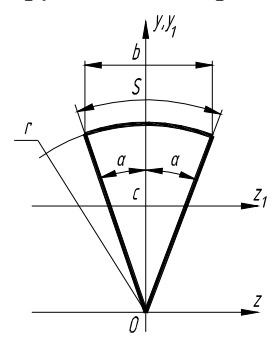
Продолжение табл. 2.1

<p style="text-align: center;">1</p> <p style="text-align: center;">Треугольник</p> 	$\frac{1}{2}hb$	$z_c = \frac{1}{3}(2d - b)$ $y_c = \frac{1}{3}h$	$I_{z_1} = \frac{bh^3}{36}, I_z = \frac{bh^3}{12},$ $I_{y_1} = \frac{hb(b^2 - bd + d^2)}{36},$ $I_y = \frac{h[d^3 + (b - d)^3]}{12}$	
---	-----------------	--	--	--

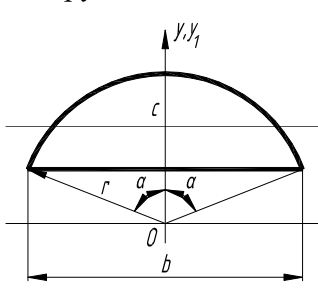
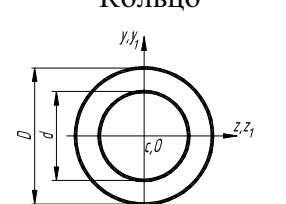
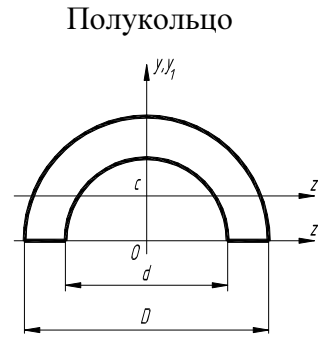
<p>Прямоугольный треугольник</p> 	$\frac{1}{2}hb$	$z_c = \frac{1}{3}b$ $y_c = \frac{1}{3}h$	$I_{z_1} = \frac{bh^3}{36}, I_z = \frac{bh^3}{12},$ $I_{y_1} = \frac{hb^3}{36}, I_y = \frac{hb^3}{12},$ $I_{z_1y_1} = -\frac{b^2h^2}{72}, I_{zy} = \frac{b^2h^2}{24}$
<p>Круг</p> 	$\frac{\pi D^2}{4} = \pi R^2$	$z_c = y_c = 0$	$I_\rho = \frac{\pi D^4}{32} = \frac{\pi R^4}{2},$ $I_{z_1} = I_{y_1} = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{\pi R^4}{4}$

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4	5
<p>Полукруг</p> 	$\frac{\pi D^2}{8} = \frac{\pi R^2}{2}$	$z_c = 0,$ $y_c = \frac{2}{3} \cdot \frac{D}{\pi} \cong$ $\cong 0,212D \cong$ $\cong 0,424R$	$I_{z_1} = \frac{D^4}{16} \cdot \left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi} \right) \cong 0,11R^4,$ $I_{y_1} = \frac{\pi D^4}{128} = \frac{\pi R^4}{8} \cong$ $\cong 0,0246D^4 \cong 0,393R^4$	
<p>Четверть круга</p> 	$\frac{\pi r^2}{4} \cong 0,785r^2$	$z_c = y_c = \frac{4}{3} \cdot \frac{r}{\pi} \cong$ $\cong 0,424r$	$I_{x_o \max} \cong 0,0714 r^4,$ $I_{y_o \min} \cong 0,0384 r^4,$ $I_{z_1} = I_{y_1} \cong 0,0549 r^4,$ $I_z = I_y = \frac{\pi r^4}{16} \cong 0,196 r^4,$ $I_{z_1y_1} = -0,0165 r^4,$ $I_{zy} = \frac{r^4}{8}$	

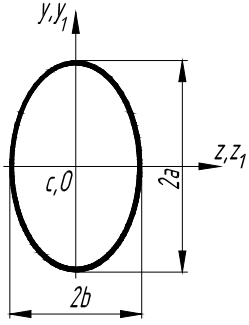
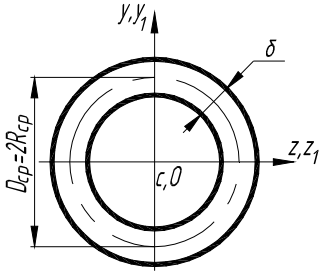
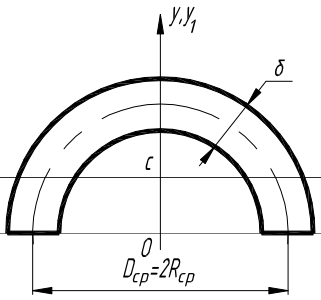
<p>Круговой сектор</p> 	$\frac{Sr}{2} = \alpha r^2$	$z_c = 0,$ $y_c = \frac{2}{3} \cdot \frac{rb}{S} = \frac{2}{3} \cdot \frac{r \sin \alpha}{3\alpha} = 38,2 \cdot \frac{r \sin \alpha}{\alpha^0}$	$I_{z_1} = \frac{r^4}{8} \left(2\alpha + \sin 2\alpha - \frac{32 \sin^3 \alpha}{9\alpha} \right),$ $I_z = \frac{r^4}{8} (2\alpha + \sin 2\alpha),$ $I_{y_1} = I_y = \frac{r^4}{8} (2\alpha - \sin 2\alpha)$	$S = 2r\alpha$ $\alpha = \frac{\pi \alpha^0}{180^0}$
--	-----------------------------	---	--	--

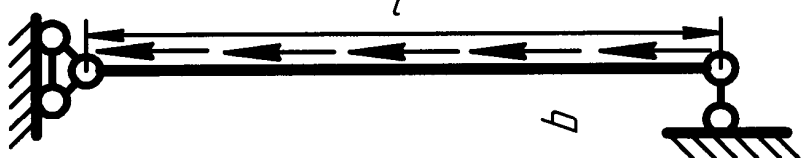
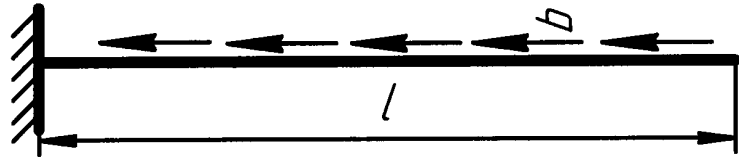
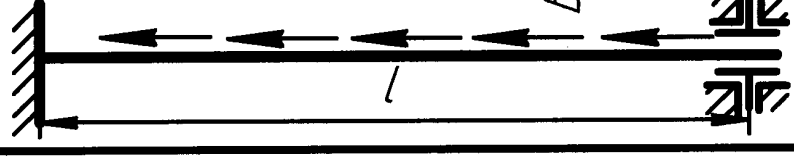
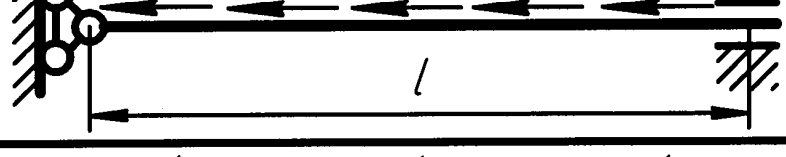
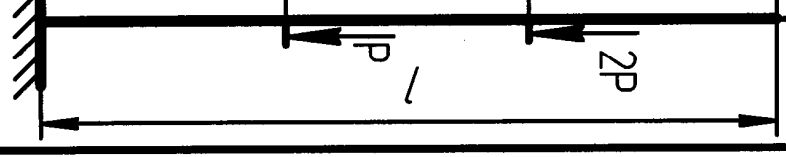
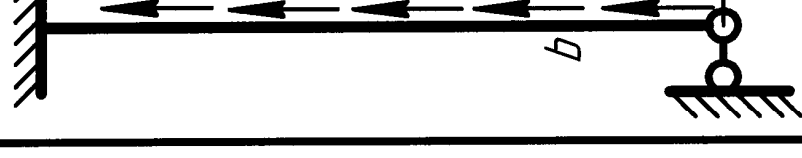
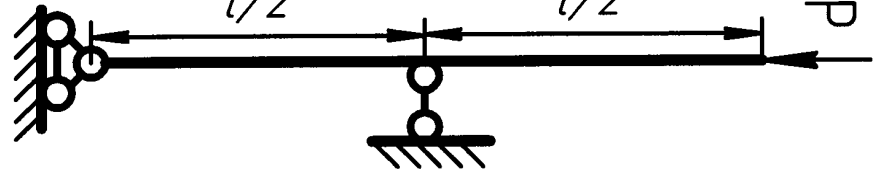

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4	5
<p>Круговой сегмент</p> 	$\frac{r^2}{2} (2\alpha - \sin 2\alpha)$	$z_c = 0,$ $y_c = \frac{4r \sin^3 \alpha}{3(2\alpha - \sin 2\alpha)}$	$I_{z_1} = \frac{r^4}{8} (2\alpha - \sin 2\alpha + 4 \cos \alpha \cdot \sin^3 \alpha),$ $I_{y_1} = I_y = \frac{r^4}{8} (2\alpha - \sin 2\alpha - \frac{4}{3} \cos \alpha \cdot \sin^3 \alpha),$ $I_z = \frac{r^4}{8} (2\alpha - \sin 2\alpha \cdot \cos 2\alpha)$	$\alpha = \frac{\pi \alpha^0}{180^0}$
<p>Кольцо</p> 	$\frac{\pi D^2}{4} (1 - \alpha^2)$	$z_c = y_c = 0$	$I_\rho = \frac{\pi D^4}{32} (1 - \alpha^4),$ $I_{z_1} = I_{y_1} = \frac{\pi D^4}{64} (1 - \alpha^4)$	$\alpha = \frac{d}{D}$
<p>Полукольцо</p> 	$\frac{\pi(D^2 - d^2)}{8} = \frac{\pi D^2}{8} (1 - \alpha^2)$	$z_c = 0,$ $y_c = \frac{2}{3\pi} \times \frac{D^2 + Dd + d^2}{D + d} = \frac{2}{3} \cdot \frac{D}{\pi} \frac{1 + \alpha + \alpha^2}{1 + \alpha} \cong 0,212D \frac{1 + \alpha + \alpha^2}{1 + \alpha}$	$I_{z_1} = 0,00686 (D^4 - d^4) - \frac{0,0177 D^2 d^2 (D - d)}{D + d} = 0,00686 D^4 \times \left(1 - \alpha^2 - 2,54 \alpha^2 \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} \right),$ $I_z = \frac{\pi D^4}{128} (1 - \alpha^4),$ $I_y = \frac{\pi D^4}{128} (1 - \alpha^4) \cong 0,0264 D^4 (1 - \alpha^4)$	$\alpha = \frac{d}{D}$

Окончание табл. 2.1

<p>Эллипс</p>	πab	$z_c = y_c = 0$	$I_{z_1} = I_z = \frac{\pi a^3 b}{4} \cong 0,785 a^3 b,$ $I_{y_1} = I_y = \frac{\pi a b^3}{4} \cong 0,785 a b^3$	$\frac{a}{b} > 1$
---------------	----------	-----------------	--	-------------------

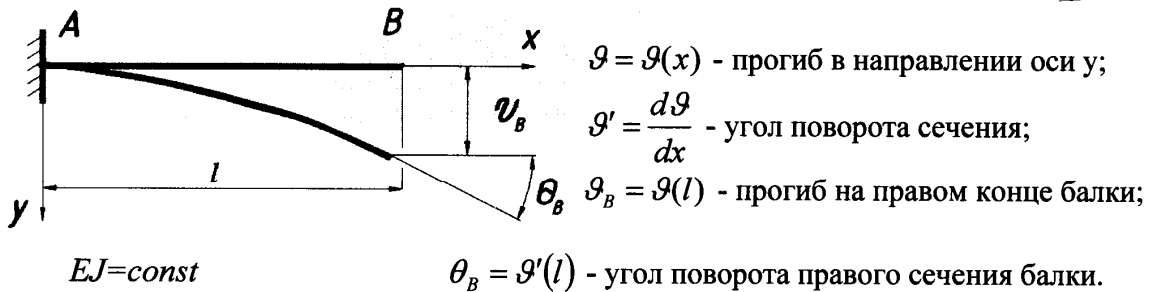
				
<p>Тонкостенное кольцо</p> 	$\pi D_{cp} \delta$	$z_c = y_c = 0$	$I_\rho = \frac{\pi D_{cp}^3 \delta}{4},$ $I_{z_1} = I_{y_1} = \frac{\pi D_{cp}^3 \delta}{8} =$ $= \pi R_{cp}^3 \delta$	$\frac{\delta}{D} \ll 1$
<p>Тонкостенное полукольцо</p> 	$\frac{\pi D_{cp} \delta}{2} =$ $= \pi R_{cp} \delta$	$z_c = 0,$ $y_c = \frac{D_{cp}}{\pi} = \frac{2R_{cp}}{\pi} \cong$ $\cong 0,318D_{cp} \cong 0,637R_{cp}$	$I_{z_1} = \frac{D_{cp}^3 \delta}{16\pi} (\pi^2 + 8) =$ $= \frac{R_{cp}^3 \delta}{2\pi} (\pi^2 + 8),$ $I_z = I_y = \frac{\pi D_{cp}^3 \delta}{16} = \frac{\pi R_{cp}^3 \delta}{2}$	$\frac{\delta}{D_{cp}} \ll$

	C	x	e	M	a
μ	0,725	1,122	0,723	0,577	3,952
	 $P_{kp} = (ql)_{kp}$	 $P_{kp} = (ql)_{kp}$	 $P_{kp} = (ql)_{kp}$	 $P_{kp} = (ql)_{kp}$	 $3P$
	0,434				
	 $P_{kp} = (ql)_{kp}$				
	1,260				
	 P				
	1,350				
	 P				

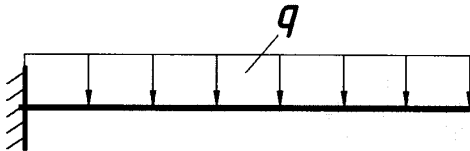
4. Методы определения перемещений в упругих стержневых системах

Таблица 4.1

Линейные и угловые перемещения консольных балок [23]



1.

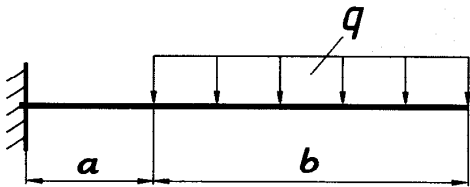


$$\vartheta = \frac{qx^2}{24EJ}(6l^2 - 4lx + x^2),$$

$$\vartheta' = \frac{qx}{6EJ}(3l^2 - 3lx + x^2);$$

$$\vartheta_B = \frac{ql^4}{8EJ}; \quad \theta_B = \frac{ql^3}{6EJ}$$

2.



$$\vartheta = \frac{qx^2}{24EJ}(6a^2 - 4ax + x^2) \quad (0 \leq x \leq a),$$

$$\vartheta' = \frac{qx}{6EJ}(3a^2 - 3ax + x^2) \quad (0 \leq x \leq a);$$

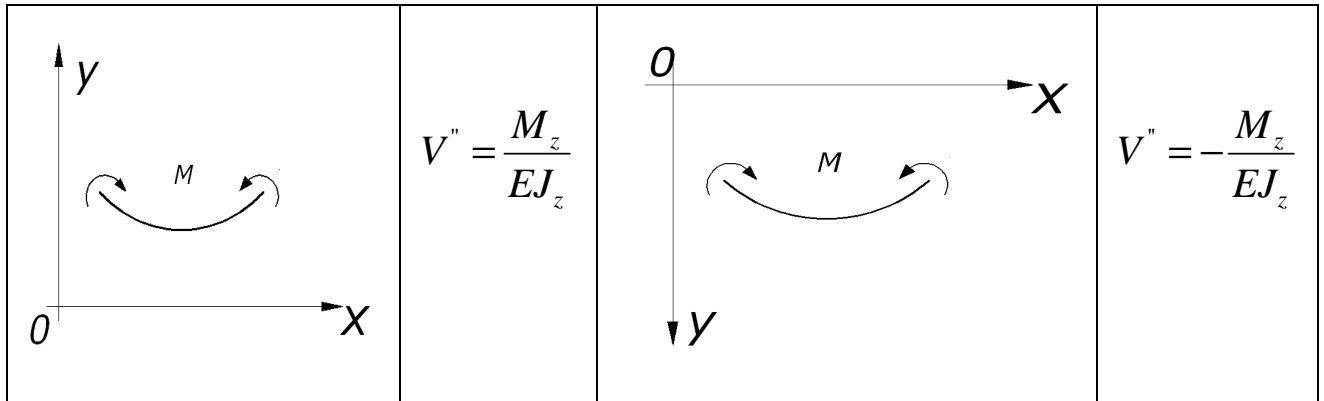
$$\vartheta = \frac{qa^3}{24EJ}(4x - a), \quad \vartheta' = \frac{qa^3}{6EJ} \quad (a \leq x \leq l);$$

$$\text{При } x = a: \vartheta = \frac{qa^4}{8EJ}, \quad \vartheta' = \frac{qa^3}{6EJ};$$

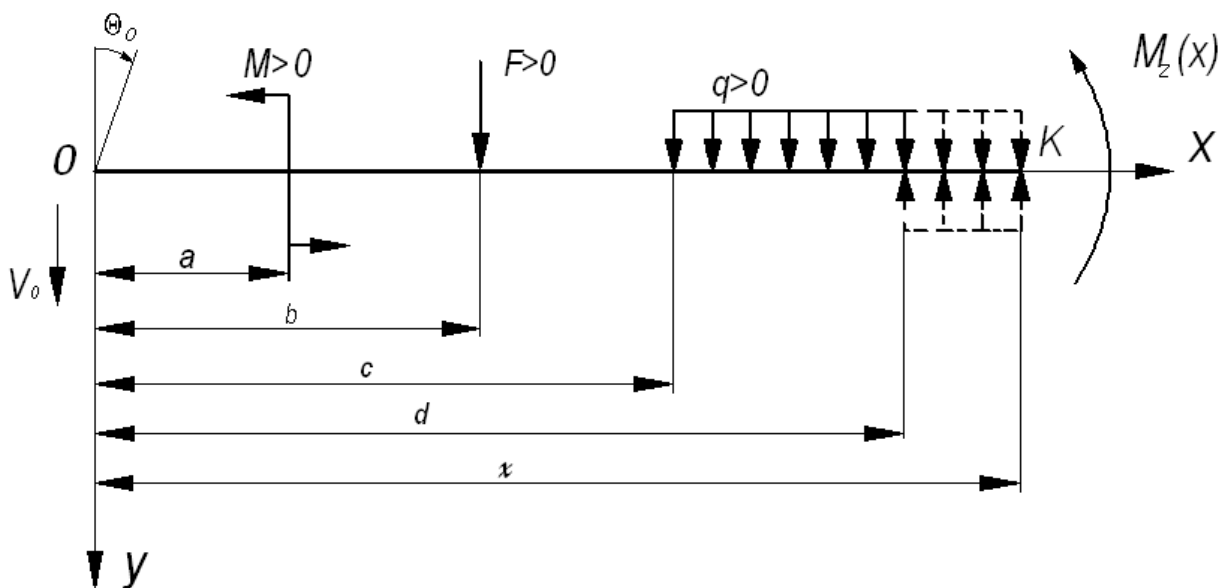
$$\vartheta_B = \frac{qa^3}{24EJ}(4l - a), \quad \theta_B = \frac{qa^3}{6EJ}$$

4.1 Основное дифференциальное уравнение упругой линии балки

$$V'' = \pm \frac{M_z}{EJ_z}$$



4.2 Метод начальных параметров



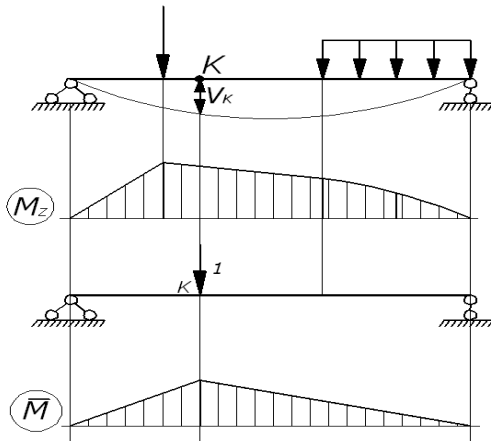
$$\theta(x) = \theta_0 + \frac{1}{EJ_z} \sum^n \left[\frac{M(x-a)}{1!} + \frac{F(x-b)^2}{2!} + q \frac{(x-c)^3}{3!} - q \frac{(x-d)^3}{3!} \right],$$

$$V(x) = V_0 + \theta_0 x + \frac{1}{EJ_z} \sum^n \left[\frac{M(x-a)^2}{2!} + \frac{F(x-b)^3}{3!} + q \frac{(x-c)^4}{4!} - q \frac{(x-d)^4}{4!} \right].$$

Символ "Л" над символом суммы обозначает, что суммируются только те величины, которые относятся к части балки, расположенной слева от того сечения, в котором ищутся перемещения.

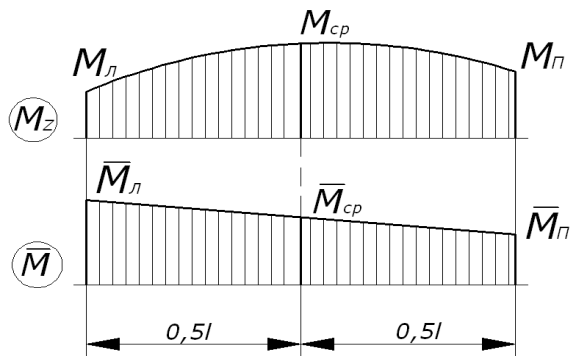
4.3 Энергетические методы

4.3.1 Интеграл Мора



$$EJ_z V_k = \int_l M_z \bar{M} dx$$

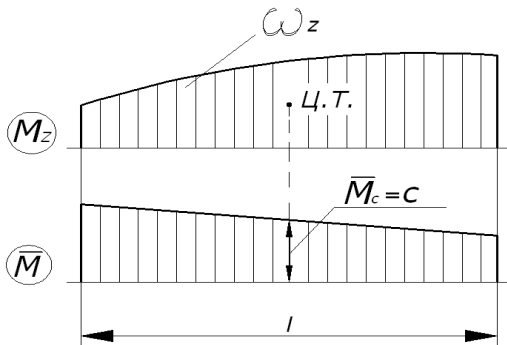
4.3.2 Формула Симпсона – Корноухова



$$J = \frac{l}{6} \left(M_l \bar{M}_l + 4M_{cp} \bar{M}_{cp} + M_n \bar{M}_n \right)$$

Формула дает точное значение, если кривая, изображающая эпюру M_z , является кривой 1-го, 2-го и 3-го порядков. В других случаях она дает приближенный результат.

4.3.3 Правило Верещагина



$$J = \int_l M_z \bar{M} dx = \omega_z \cdot c$$

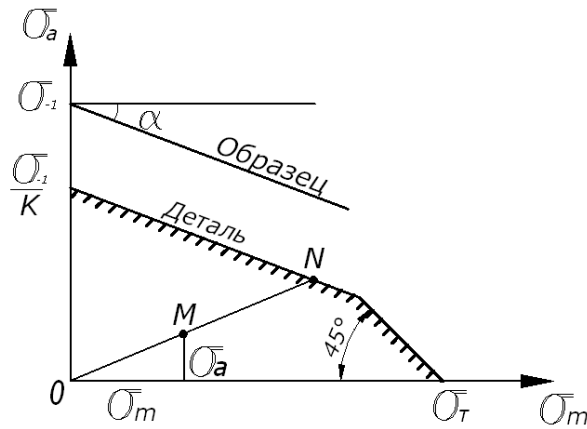
Интеграл J равен произведению площади криволинейной эпюры ω_z на ординату линейной эпюры c , взятую под центром тяжести площади ω_z .

Для возможности пользоваться формулой Верещагина надо знать площадь ω_z и положение центра тяжести для элементарных фигур (см. табл. 4.3).

6. УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ [7, 8]

6.1 Запас прочности

- при простых видах деформации



$$\psi_{\sigma} = \operatorname{tg} \alpha ;$$

$$n_{\sigma} = \frac{ON}{OM} = \frac{\sigma_{-1}}{K\sigma_a + \psi_{\sigma}\sigma_m}; \quad n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{K\tau_a + \psi_{\tau}\tau_m}.$$

- при плоскостном напряженном состоянии

$$n_R = \frac{n_{\sigma}n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 + n_{\tau}^2}}.$$

6.2 Эмпирические соотношения для $\sigma_R(\tau_R)$

$$\sigma_{-1} \approx (0,25-0,50)\sigma_{\sigma}; \quad \sigma_{-1p} \approx 0,75\sigma_{-1}; \quad \tau_{-1} \approx (0,6-0,8)\sigma_{-1}$$

6.3 коэффициент снижения предела выносливости

$$K = \frac{K_{\sigma} + \frac{1}{K_F} - 1}{K_{d\sigma} K_V}, \quad \frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} = \frac{2\alpha_{\sigma}}{1 + \left(88,3 \frac{\bar{G}}{L} \right)^{V_{\sigma}}}$$

Для конструкционных сталей

$$v_{\sigma} = 0,211 - 0,000143\sigma_{\sigma} \text{ при } \sigma_{\sigma} \leq 1300 \text{ МПа}$$

$$v_{\sigma} = 0,025 \text{ при } \sigma_{\sigma} > 1300 \text{ МПа}$$

При кручении для конструкционных сталей

6.4.1 Коэффициент чувствительности материала к концентрации напряжений q

$$q = \frac{k_\sigma - 1}{\alpha_\sigma - 1}$$

Таблица 6.2

Значения коэффициента q [17]

Материал	q
Серый чугун и другие литейные материалы с внутренними дефектами	0,1 - 0,2
Низкоуглеродистые стали, алюминиевые сплавы	0,3 - 0,5
Среднеуглеродистые и низкоуглеродистые стали	0,4 - 0,6
Высокоуглеродистые и высоколегированные стали	0,6 - 0,9

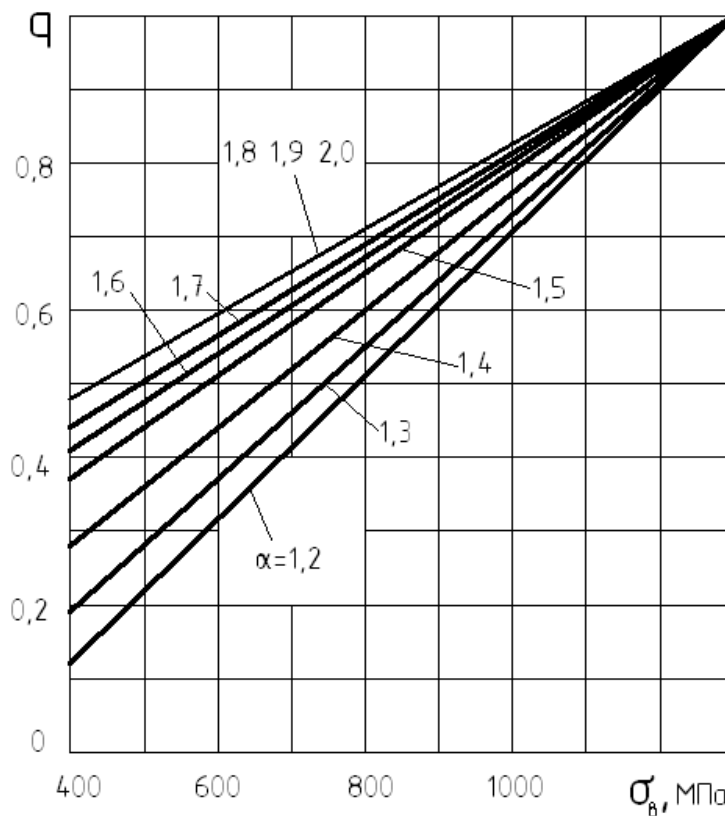


Рис. 6.1. Коэффициент чувствительности к концентрации напряжений для стали [14]

6.4.2 Коэффициент влияния абсолютных размеров поперечного сечения K_d [7]

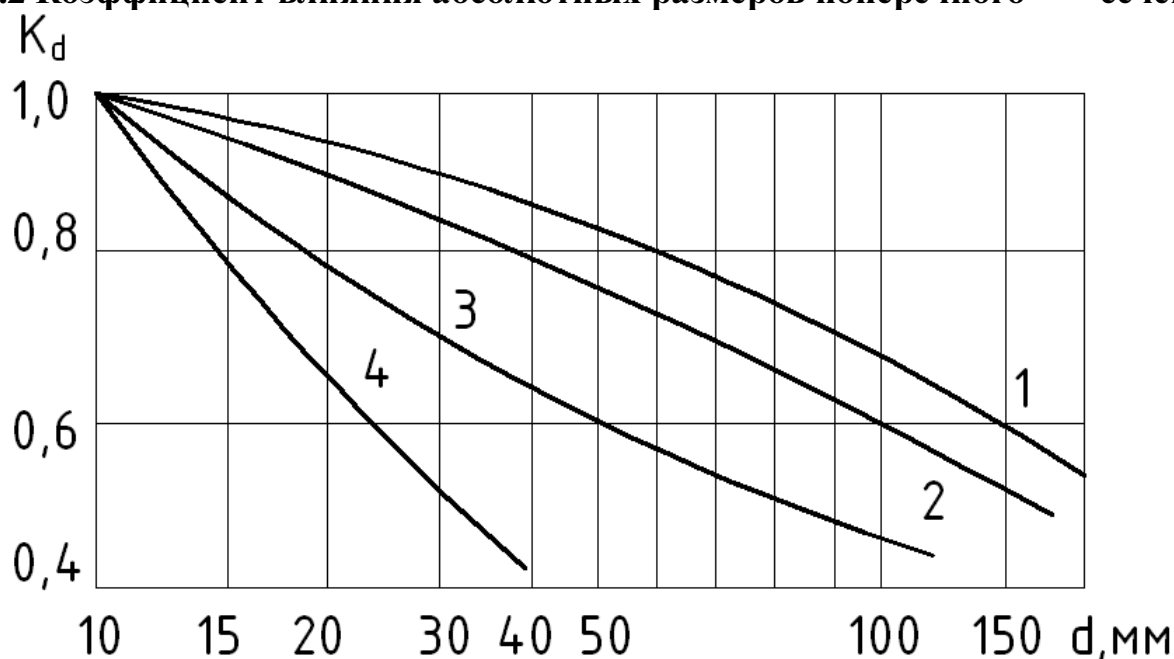


Рис. 6.2 Зависимость коэффициента K_d от диаметра изгибаемого или скручиваемого вала: 1 – образцы из углеродистой стали при отсутствии концентраторов напряжений, 2 – образцы из высокопрочной легированной стали ($\sigma_b \approx 1000 - 1200$ МПа) при отсутствии концентрации напряжений и для образцов из углеродистой стали при средней концентрации, 3 – образцы из легированной стали с концентратором, 4 – образцы из любой стали с сильным концентратором типа надреза [28].

Таблица 6.3

Значения коэффициентов $K_{d\sigma}$ и $K_{d\tau}$ [15]

Напряженное состояние и материал	Значения $K_{d\sigma}$ ($K_{d\tau}$) при диаметре вала, мм							
	15	20	30	40	50	70	100	200
Изгиб для углеродистых сталей	0,95	0,92	0,88	0,85	0,81	0,76	0,70	0,81
Изгиб для высокопрочных легированных и кручение для всех сталей	0,87	0,83	0,77	0,73	0,70	0,65	0,59	0,52

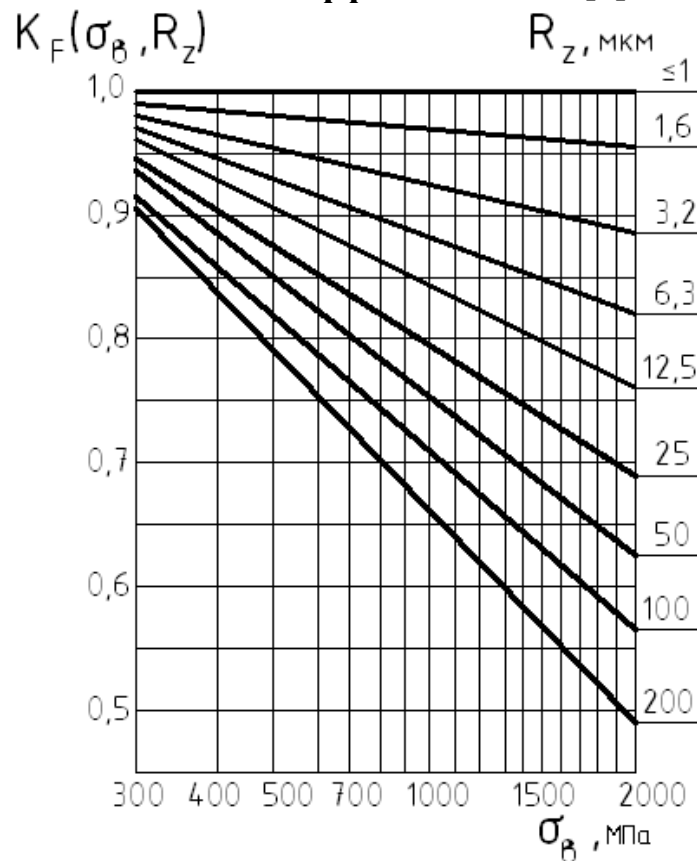
6.4.3 Коэффициенты влияния качества поверхности $K_{F\sigma}$ и $K_{F\tau}$ [15]

Таблица 6.5

Значения коэффициентов $K_{F\sigma}$ и $K_{F\tau}$

Вид механической обработки	Параметр шероховатости R_a , мкм	$K_{F\sigma}$ при σ_B , МПа		$K_{F\tau}$ при σ_B , МПа	
		≤ 700	> 700	≤ 700	> 700
Шлифование тонкое	до 0,2	1,00	1,00	1,00	1,00
Обтачивание тонкое	0,2-0,8	0,99-0,93	0,99-0,91	0,99-0,96	0,99-0,95
Шлифование чистовое	0,8-1,6	0,93-0,89	0,91-0,86	0,96-0,94	0,95-0,92
Обтачивание чистовое	1,6-3,2	0,89-0,86	0,86-0,82	0,94-0,92	0,92-0,89

Значения коэффициентов K_F [7]



Примечание. При наличии окалины используют нижнюю прямую

($R_z=200$ мкм).

Рис. 6.3

6.4.4 Коэффициенты влияния поверхностного упрочнения K_V [7]

1. Коэффициенты влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости вычисляются по формуле

$$K_V = \frac{\sigma_{-1д упр}}{\sigma_{-1д}},$$

где $\sigma_{-1д упр}$ – предел выносливости упрочненных деталей;

$\sigma_{-1д}$ – предел выносливости неупрочненных деталей.

Средние значения K_V для различных методов поверхностного упрочнения образцов из углеродистых и легированных конструкционных сталей приведены в табл. 6.6 – 6.8

Таблица 6.6

Влияние поверхностной закалки токами высокой частоты (изгиб с вращением, глубина закаленного слоя 0,9—1,5 мм)

Вид образца	K_V для образца диаметром	
	7–20 мм	30–40 мм
Без концентрации напряжений	1,3—1,6	1,2—1,5
С концентрацией напряжений	1,6—2,8	1,5—2,5

Таблица 6.7

Влияние химико-термической обработки

Характеристика химико-термической обработки	Вид образца	K_V для образца диаметром		
		8–15 мм	10 мм	30–40 мм
Азотирование при глубине слоя 0,1–0,4 мм, твердости слоя НВ 730–970	Без концентрации напряжений	1,15—2,5	—	1,10—1,15
	С концентрацией напряжений (поперечное, отверстие, надрез)	1,90—3,00	—	1,30—2,00
Цементация при глубине слоя 0,2—0,6 мм	Без концентрации напряжений	1,20—2,10	—	1,10—1,50
	С концентрацией напряжений	1,50—2,50	—	1,20—2,00
Цианирование при глубине слоя 0,2 мм	Без концентрации напряжений	—	1,80	—

Таблица 6.8

Влияние поверхностного наклепа

Способ обработки	Вид образца	K_V для образца диаметром	
		7–20 мм	30–40 мм
Обработка роликом	Без концентрации напряжения	1,20—1,40	1,10—1,25
	С концентрацией напряжений	1,50—2,20	1,30—1,80
Обдувка дробью	Без концентрации напряжения	1,10—1,30	1,10—1,20
	С концентрацией напряжений	1,40—2,50	1,10—1,50

6.4.5 Влияние коррозии в процессе испытания на предел выносливости стальных образцов при изгибе с вращением (осредненные кривые) на базе 10^7 циклов при частоте нагружения 30 – 50 Гц [7]

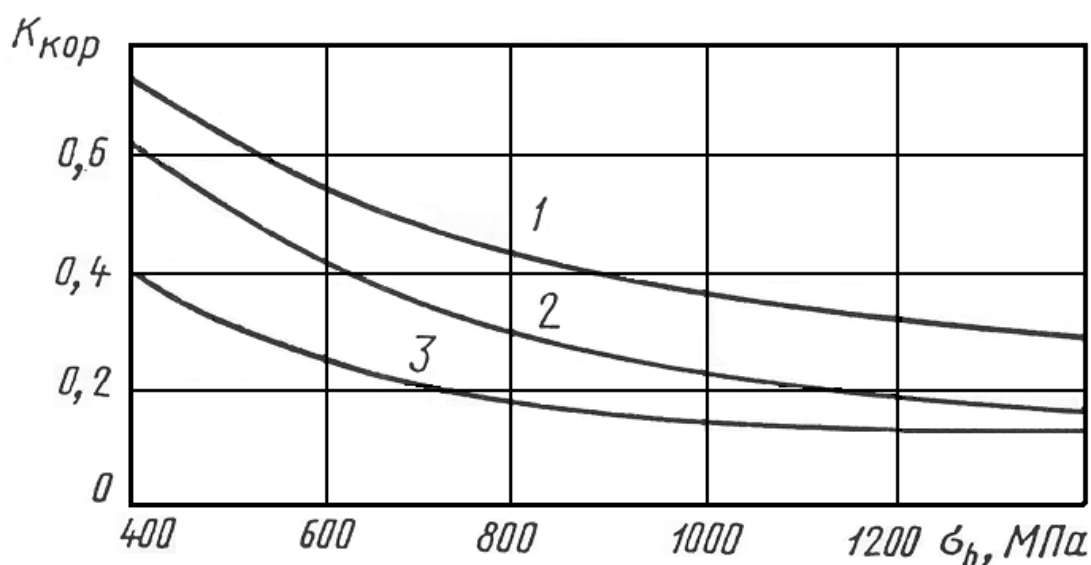
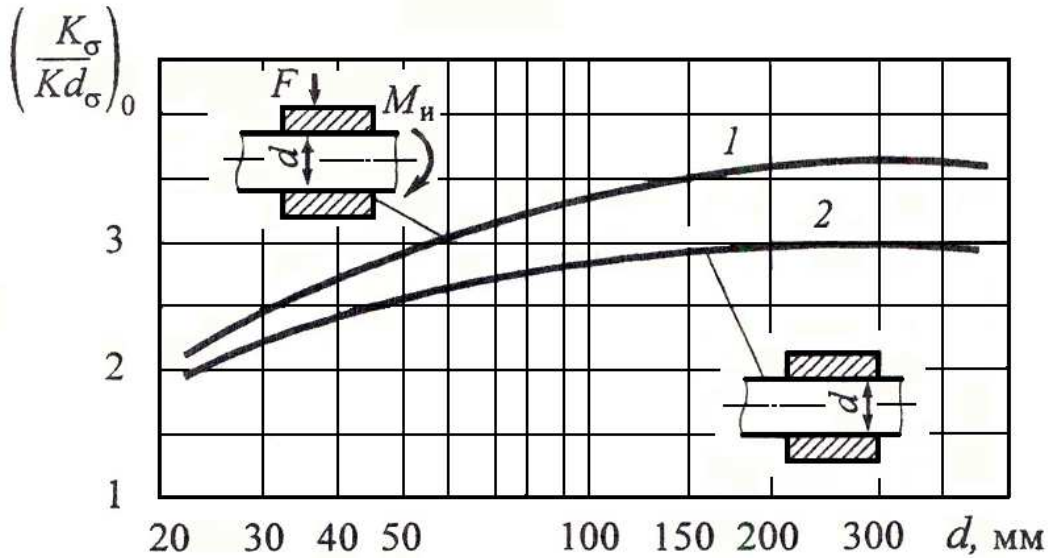


Рис.6.3. 1—пресная вода (наличие концентрации напряжений); 2—пресная вода (отсутствие концентрации напряжений); 3—морская вода (отсутствие концентрации напряжений)

6.4.7 Эффективные коэффициенты концентрации напряжений K_σ, K_τ , отношения $\frac{K_\sigma}{Kd_\sigma}, \frac{K_\tau}{Kd_\tau}$.

Валы с напрессованными деталями при изгибе [7]

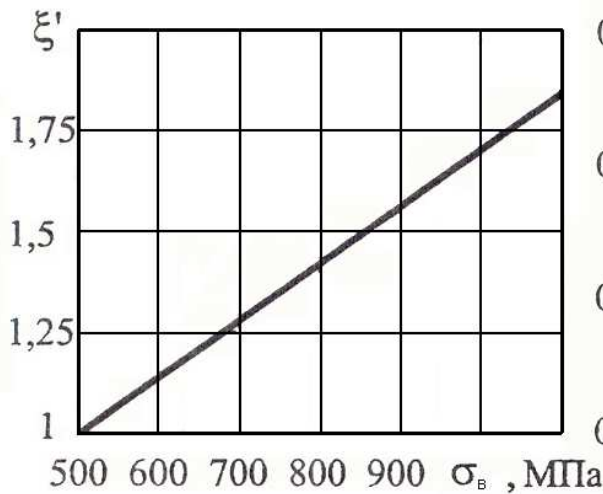


Для случая, когда $\sigma_b = 500$ МПа, давление $\rho \geq 30$ МПа:

1—через напрессованную деталь передается сила или момент;

2—через напрессованную деталь не передается усилие.

Поправочный коэффициент ξ'
на предел прочности σ_b



Поправочный коэффициент ξ''
на давление напресовки ρ

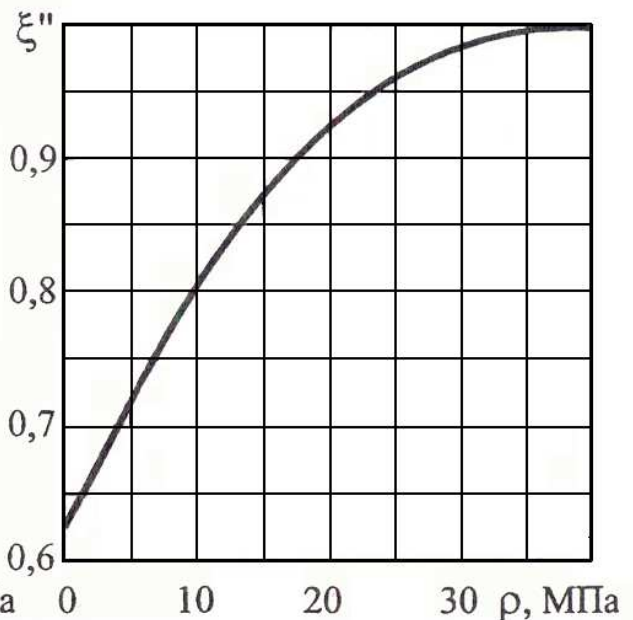


Рис.6.4

Таблица 6.10

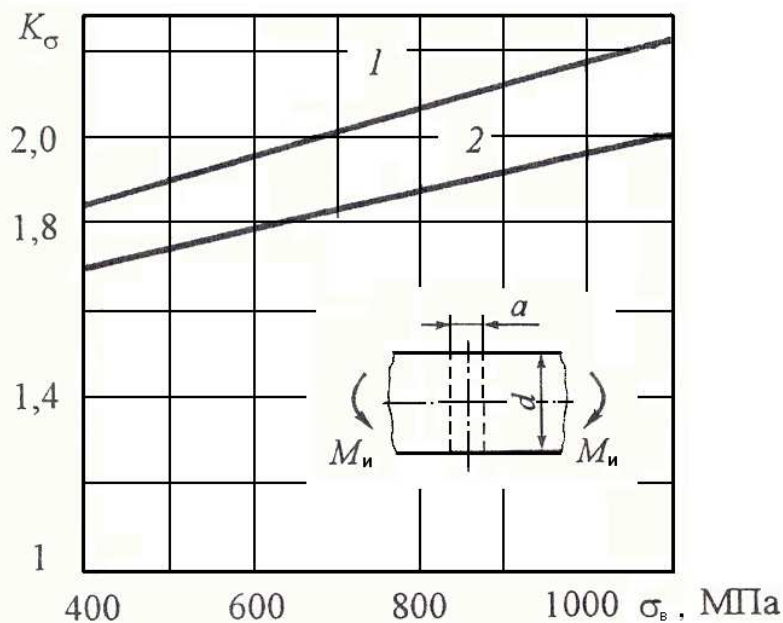
Значения отношений $\frac{K_\sigma}{Kd_\sigma} \left(\frac{K_\tau}{Kd_\tau} \right)$ [15]

Диаметр вала d, мм	K_σ / Kd_σ при σ_σ , МПа				K_τ / Kd_τ при σ_σ , МПа			
	500	700	900	1200	500	700	900	1200
30	2,60	3,30	4,00	5,10	1,50	2,00	2,40	3,05
40	2,75	3,50	4,30	5,40	1,65	2,10	2,60	3,25
50	2,90	3,70	4,50	5,70	1,75	2,20	2,70	3,40
60	3,00	3,85	4,70	5,95	1,80	2,30	2,80	3,55
70	3,10	4,00	4,85	6,15	1,85	2,40	2,90	3,70
80	3,20	4,10	4,95	6,30	1,90	2,45	3,00	3,80
90	3,30	4,20	5,10	6,45	1,95	2,50	3,05	3,90
100	3,35	4,30	5,20	6,60	2,00	2,55	3,10	3,95

Таблица 6.11

Значения K_σ и K_τ для шпоночного паза [15]

σ_σ , МПа	K_σ при выполнении паза фрезой		K_τ
	концевой	ДИСКОВОЙ	
500	1,80	1,50	1,40
700	2,00	1,55	1,70
900	2,20	1,70	2,05
1200	2,65	1,90	2,40



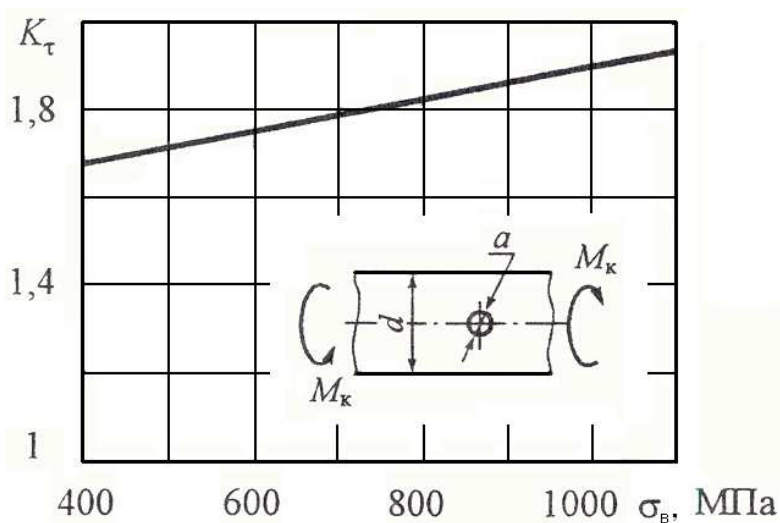
Валы с поперечным отверстием при изгибе [7]

$$1 - a/d = 0,05 - 0,10$$

$$2 - a/d = 0,15 - 0,25$$

$$\sigma_H = \frac{M_{и}}{W_{\text{нетто}}}$$

при $d=30 - 50$ мм

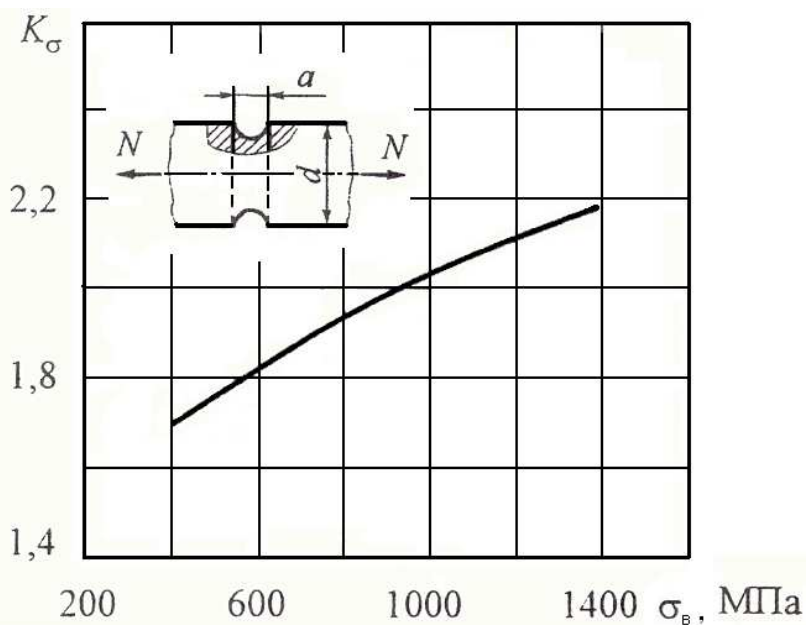


Валы с поперечным отверстием при кручении [7]

$$a/d = 0,15 - 0,25$$

$$\tau_H = \frac{M_k}{W_{\text{нетто}}}$$

при $d=30 - 50$ мм



Валы с поперечным отверстием при растяжении – сжатию [7]

$$a/d = 0,20 - 0,45$$

$$\sigma_H = \frac{N}{\frac{\pi d^2}{4} - ad}$$

$d=15$ мм

Рис.6.5

Валы с выточкой при растяжении, изгибе, кручении

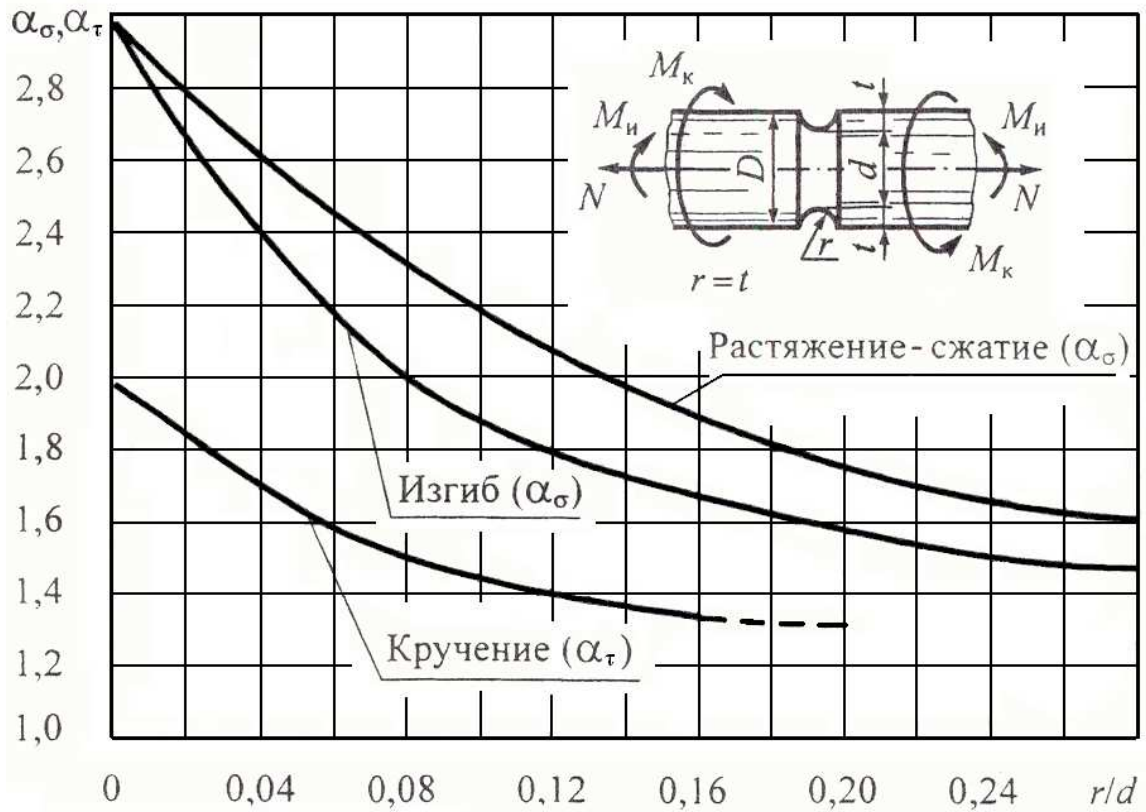


Рис.6.7

Тонкая пластина ограниченной ширины с поперечным отверстием при растяжении

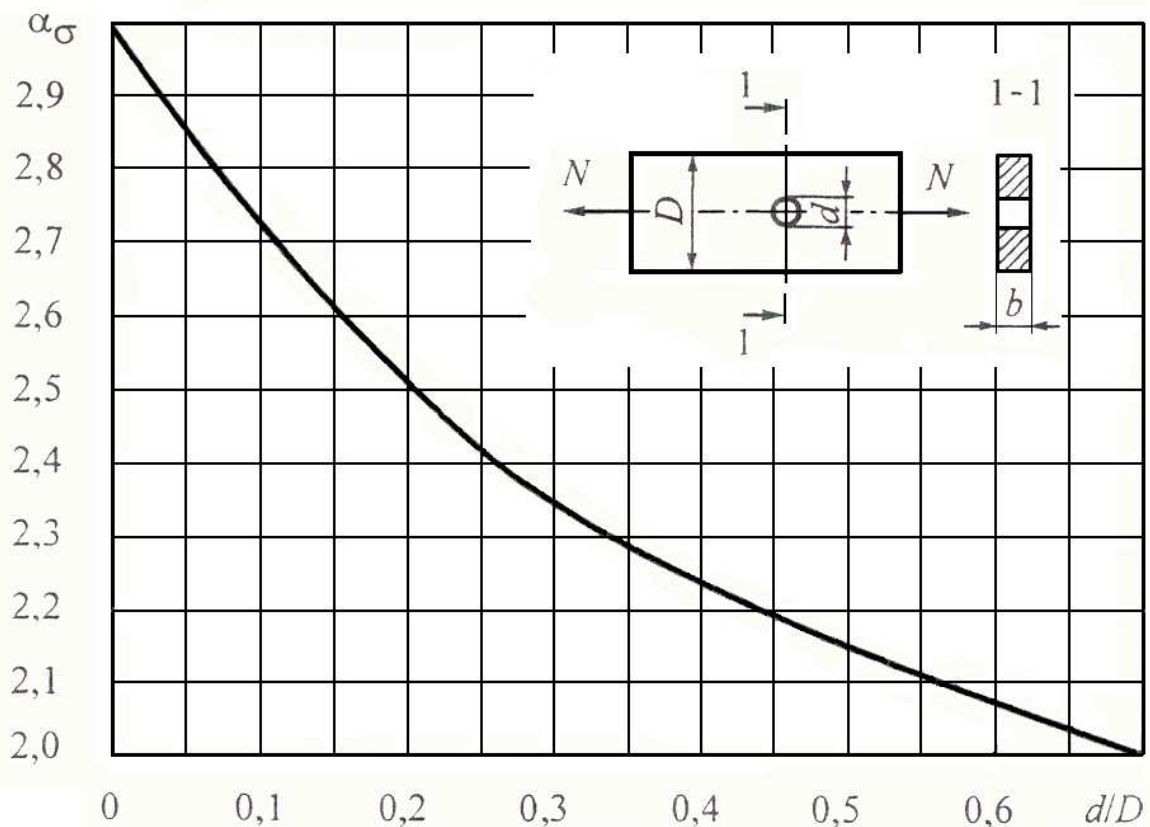


Рис.6.8

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ананьев, И. В. Динамика конструкций летательных аппаратов / И. В. Ананьев, Н. М. Колбин, Н. П. Серебрянский. – М.: Машиностроение, 1972. – 414 с.
2. Арзамасов, Б. Н. Конструкционные материалы : справочник / Б. Н. Арзамасов. – М. : Машиностроение, 1990. – 687 с.
3. Беляев, Н. М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М.:Наука, 1976. – 608 с.
4. Варданян, Г. С. Сопротивление материалов: Учебник / Г.С. Варданян, Н. М. Атаров, А. А. Горшков; Под ред. Г.С. Варданяна. – М.: ИНФА –М, 2003. – 480 с. – (серия «Высшее образование»).
5. ГОСТ 8.417 – 2002. Единицы величин. – М., 2003. – 28 с.
6. ГОСТ 6636 – 69. Ряды нормальных линейных размеров – М.: Издательство стандартов, 1970, – 10с.
7. ГОСТ 25.504 – 82. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости. – М.: Издательство стандартов, 1989, – 80с.
8. Гафаров, Р.Х. Что нужно знать о сопротивлении материалов / Р.Х. Гафаров, В.С. Жернаков. – М.: Машиностроение, 2001. – 275 с.
9. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. – М.: Металлургия, 1983. – 525 с.
10. Гжиров, Р. И. Краткий справочник конструктора / Р. И. Гжиров. – Л.: Машиностроение, 1983. – 464 с.
11. Глушков, Г. С. Курс сопротивления материалов / Г. С. Глушков, В. А. Синдеев. – М.: Высшая школа, 1965. – 767 с.
12. Гуляев, А. П. Инструментальные стали: справочник / А. П. Гуляев К. А. Малинина, С. М. Саверина. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.
13. Дарков, А. В. Сопротивление материалов / А. В. Дарков, Г. С. Шпиро. – М.: Высшая школа, 1989. – 622 с.
14. Долинский, Ф.В. Краткий курс сопротивления материалов / Ф.В. Долинский, М.Н. Михайлов. – М.: Высшая шк., 1988. – 431 с.

15. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М.: ACADEMIA, 2003. – 495 с.
16. Журавлев, В. Н. Машиностроительные стали: справочник / В. Н. Журавлев, О. И. Николаева. – М. : Машиностроение, 1981. – 391 с.
17. Иосилевич, Г.Б. Прикладная механика / Г.Б. Иосилевич, П.А. Лебедев, В.С. Стреляев. – М.: Машиностроение, 1985. – 574 с.
18. Конструкционные материалы : справочник / под редакцией Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1990. – 688 с.
19. Лившиц, Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б.Г. Лившиц, В.С. Крапошин, Я.Л. Линецкий. – М. : Metallurgy, 1980. – 320 с.
20. Марочник сталей и сплавов / под редакцией В. Г. Сорокина. – М. : Машиностроение, 1989. – 638 с.
21. Машиностроительные материалы : краткий справочник / В. М. Раскатов, В.С. Чуенков, Н.Ф. Бессонова, Д. А. Вейс. – М. : Машиностроение, 1980. –511 с.
22. Миролюбов, И. Н. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов / И. Н. Миролюбов, С. А. Ургалычев, Н. Д. Сергиевский и др. –5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1985. – 399 с.
23. Петерсон, Р. Коэффициенты концентрации напряжений / Р. Петерсон. – пер. с англ. М.: Мир, 1977. – 301 с.
24. Писаренко, Г. С. Сопротивление материалов / Г. С. Писаренко, В. А. Агаев, А. Л. Квитка и др. – Киев: Вища шк., 1986. – 775 с.
25. Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – Киев: Наукова думка, 1988. –724 с.
26. Рудицин, М. Н. Справочное пособие по сопротивлению материалов / М. Н. Рудицин, П. Я. Артемов, М. И. Любошиц. – Минск : Гос. изд. БССР, 1958. – 508 с.
27. Серенсен, С. В. Несущая способность и расчеты на прочность / С. В. Серенсек, В. П. Когаев, Р. М. Шнейдерович – М.: Машгиз, 1963. – 452 с.

28. Снитко, Н.К. Сопротивление материалов / Н. К. Снитко. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. – 368 с.
29. Сопротивление материалов / П.А. Павлов, Л.К. Паршин, Б.Е. Мельников, В.А. Шерстнев. – Санкт–Петербург–Москва– Краснодар: Лань, 2007. – 553 с.
30. Строительная механика / А. Е. Саргсян, А. Т. Демченко, Н. В. Дворянчиков, Г.А. Джинчвелашвили. – М. : Высшая школа, 2000. – 415 с.
31. Тимошенко, СП. Механика материалов / СП. Тимошенко, Дж. Гере. – М.:Мир, 1976. – 669 с.
32. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов / В. И. Феодосьев. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 592 с.
33. Чекмарев, А.А. Справочник по машиностроительному черчению / А.А. Чекмарев, В.К. Осипов. – 5-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2004. – 493 с.