

ОПД.Ф.02.02 СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ
СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ К РАСЧЕТНО - ПРОЕКТИРОВОЧНЫМ
И КУРСОВЫМ РАБОТАМ
ЧАСТЬ 2

Третье издание методических указаний, переработанное и дополненное для удобства пользователей, разделено на две части. В первой части изложены основные сведения, необходимые для выполнения работ по первой части курса. Сюда вошли данные о механических характеристиках основных материалов, применяемых в машиностроении и авиастроении. Даны определения основных механических характеристик материалов. Приведены геометрические характеристики плоских сечений, применяемых в сопротивлении материалов, формулы для определения геометрических характеристик некоторых простых плоских сечений и данные по характеристикам прокатных и прессованных профилей.

Предназначена студентов дневной, очно-заочной и заочной форм обучения, изучающих курс «Сопротивление материалов».

1. ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ОБОЗНАЧЕНИЯ	НАИМЕНОВАНИЯ
$P_{\omega} P_m$ ($\sigma_{\omega}, \sigma_m$ или τ_{ω}, τ_m)	Амплитуда напряжений и среднее напряжения цикла
R	Коэффициент асимметрии цикла напряжений
σ_{-l}	Предел выносливости материала при симметричном цикле изгиба
τ_{-l}	Предел выносливости материала при симметричном цикле кручения
$\Psi_p (\Psi_{\sigma}, \Psi_{\tau})$	Коэффициент чувствительности к асимметрии цикла
K	Коэффициент снижения предела выносливости
$K_p (K_{\sigma}, K_{\tau})$	Эффективный коэффициент концентрации напряжений
$\alpha_p (\alpha, \alpha_{\tau})$	Теоретический коэффициент концентрации напряжений
$q_p (q_{\sigma}, q_{\tau})$	Коэффициент чувствительности материала к концентрации напряжений
K_d	Коэффициент влияния абсолютных размеров поперечного сечения на предел выносливости
K_F	Коэффициент влияния шероховатости поверхности на предел выносливости
K_V	Коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости
n_R	Коэффициент запаса прочности по усталостному разрушению
n_T	Коэффициент запаса прочности по текучести
n_{σ}	Коэффициент запаса усталостной прочности в предположении, что касательные напряжения отсутствуют
n_{τ}	Коэффициент запаса усталостной прочности в предположении, что нормальные напряжения отсутствуют
φ	Коэффициент снижения основного допускаемого напряжения для сжатых стержней
λ	Гибкость стержня
Ω	Частота вынужденных колебаний
ω	Частота собственных колебаний
β	Коэффициент усиления колебаний
γ	Коэффициент демпфирования

2. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Таблица 2.1. Механические свойства углеродистых сталей (в МПа)

Марка стали	σ_B	σ_T	τ_T	σ_{1p}	σ_{-1}	τ_{-1}
10; ст. 1	320-420	180	140	120-150	160-220	80-120
15; ст. 2	350-450	200	140	120-160	170-220	85-130
20; ст. 3	400-500	220	160	120-160	170-220	100-130
25; ст. 4	430-550	240	-	-	190-250	-
30	480-600	260	170	170-210	200-270	110-120
35; ст. 5	520-650	280	190	170-220	220-300	130-180
45; ст. 6	600-750	320	220	190-250	250-340	150-200
50	630-800	340	-	-	270-350	160-200
45Г2	700-900	400	-	-	310-400	-
60Г	670-870	340	-	250-320	-	-

Примечание: Данные приведены для сталей, подвергнутых нормализации

Таблица 2.2. Механические свойства легированных сталей (в МПа)

Марка стали	σ_B	σ_T	τ_T	σ_{1p}	σ_{-1}	τ_{-1}	Режим термической обработки
20Х	800	600	-	-	380	-	-
40Х	1000	800	-	250	350-380	225	-
40ХН	900	750	390	290	400	240	Закалка в масле при 820°, отпуск при 500°
50ХН	1100	850	-	-	550	-	Закалка в масле при 820°, отпуск при 500°
30ХМА	950	750	-	-	470	-	Закалка в масле при 880°, отпуск при 560°
12ХН3А	950	700	400	270-320	390-470	220-260	Закалка в масле при 860°, отпуск при 150°
20ХН3А	950	750	-	300-320	430-450	245-255	Закалка в масле при 820°, отпуск при 500°
18ХН3А	1150	850	-	360-400	540-590	330-365	Закалка на воздухе при 950°, вторичная - при 950°, отпуск при 160°
25ХН3А	1100	950	600	310-360	450-540	280-310	Закалка в масле при 850°, отпуск при 560°
30ХГСА	1100	850	-	500-535	510-540	220-245	Закалка в масле при 880°, отпуск при 520°

Примечания:
 1. Данные, приведенные в таблице, соответствуют образцам малого диаметра (7-10 мм).
 2. В тех случаях, когда отсутствуют опытные данные о величинах пределов выносливости, можно воспользоваться следующими соотношениями $\sigma_{-1} - (0,45-0,55) \sigma_B$ (меньшие значения для вязких сталей, большие – для твердых и хрупких сталей)

Таблица 1.3. Легкие сплавы в термообработанном состоянии (МПа)

Марка сплава	σ_B	σ_T	σ_{-1}
АЛ1	150 - 310	120 - 250	55 - 110
АС1	160 - 200	60 - 140	45 - 60
ДЗП	340	210	100
Д16	470	330	115
Д18	300	170	95
АК2	420	280	100
АК8	490	380	115 - 130
АМЦ	100 - 190	35 - 175	50 - 70
АМГ	185 - 275	98 - 253	120 - 145
Мл3	170 - 180	55	55
Мл4	190 - 260	90 - 120	60 - 80
Мл5	150 - 270	80 - 120	40 - 100
МА1	210 - 300	120 - 200	75
МА2	260 - 270	160 - 180	110
МА3	300 - 340	220	130 - 150
МА5	300 - 340	190	130

Примечание: База предела выносливости $(2 \div 5) \cdot 10^7$ циклов

3. РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ НАПРЯЖЕНИЯХ

3.1. Основные положения

Расчет на прочность при напряжениях, циклически изменяющихся во времени, носит проверочный характер. Цель - определить коэффициент запаса прочности.

При линейном напряженном состоянии и чистом сдвиге в каждом сечении определяются два коэффициента запаса прочности: по текучести n_T и по усталостному разрушению n_R :

$$n_T = \frac{p_T}{p_a + p_a}; \quad n_R = \frac{p_{-1}}{K \cdot p_a + \psi_p \cdot |p_m|}, \quad (3.1)$$

где
$$K = \frac{\kappa_p}{\kappa_d \cdot \kappa_F \cdot \kappa_v}.$$

Расчеты для случая сложного сопротивления проводятся по формулам:

$$n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_{экв}} = \frac{\sigma_T}{\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau}}; \quad n_R = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}}, \quad (3.2)$$

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

За расчетный принимается наименьший из всех полученных коэффициентов.

При колебаниях расчету на прочность подлежат упругие связи. Коэффициенты запаса прочности для них определяются по формулам (3.1), при этом

$$p_m = p_{cm}; \quad p_a = \beta \cdot \frac{F_0}{G} \cdot p_{cm},$$

где p_{cm} - напряжение в упругой связи при статическом нагружении силой, равной силе веса груза G ,

F_0 - амплитуда вынуждающей силы,

β - коэффициент усиления колебаний:

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\Omega^2}{\omega^2}\right)^2 + \gamma^2 \cdot \frac{\Omega^2}{\omega^2}}}.$$

Для системы с одной степенью свободы частота собственных колебаний

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\xi_{cm}}},$$

где ξ_{cm} - перемещение при статическом приложении силы веса груза,

γ - коэффициент демпфирования.

При $0,7 < \frac{\Omega}{\omega} < 1,3$, $\gamma = 0,03$ (для строительных конструкций).

Если $0,7 > \frac{\Omega}{\omega} > 1,3$, $\gamma = 0$.

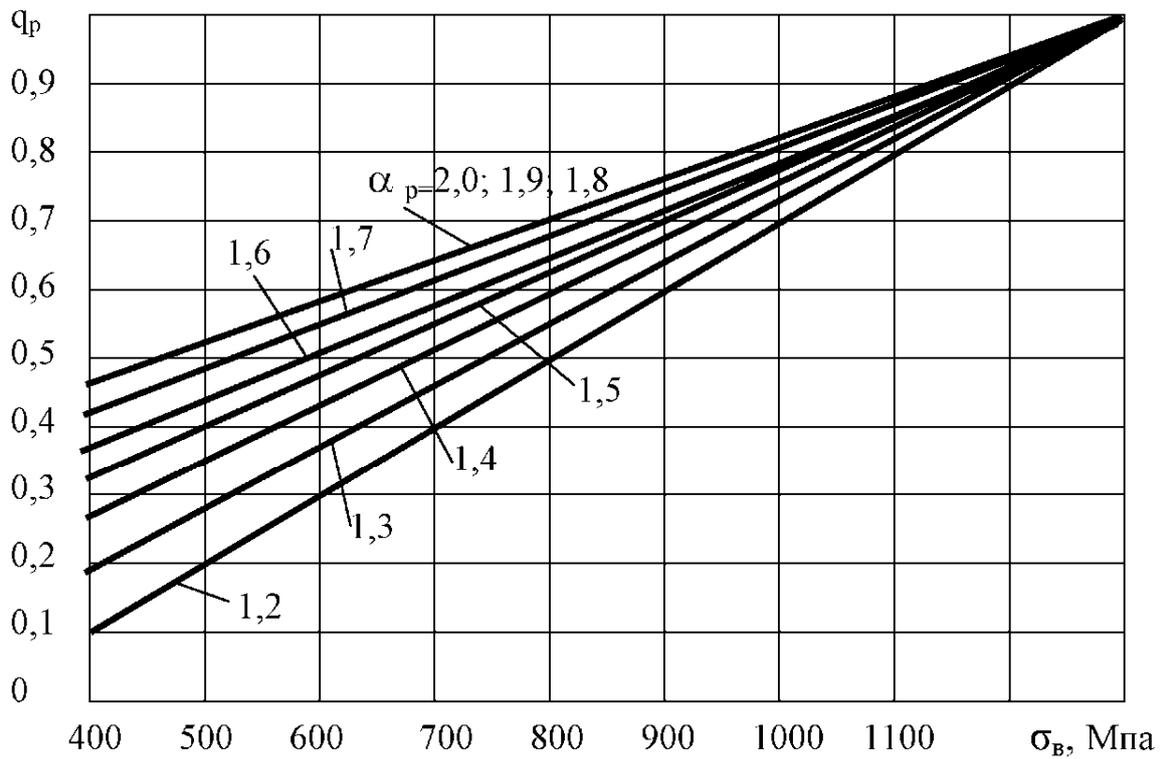
Таблица 3.2 Значения коэффициентов влияния асимметрии цикла на прочность для сталей в зависимости от предела прочности

Коэффициенты	σ_B , МПа				
	350-520	520-700	700-1000	1000-1200	1200-1400
Ψ_σ (изгиб и растяжение)	0,0	0,05	0,1	0,2	0,25
Ψ_τ (кручение)	0,0	0,0	0,05	0,1	0,15

Таблица 3.3. Теоретические коэффициенты концентрации напряжений

Вид деформации и фактора концентрации напряжений	α_p
1. Изгиб и растяжение	
1.1. Полуциркулярная выточка на валу при отношении радиуса выточки к диаметру вала	
0,1	2,0
0,5	1,6
1,0	1,2
2,0	1,1
1.2. Галтель при отношении радиуса полной галтели к высоте сечения (диаметру вала)	
0,0625	1,75
0,125	1,50
0,25	1,20
0,5	1,10
1.3. Переход под прямым углом	2,0
1.4. Острая V-образная выточка	3,0
1.5. Нарезка дюймовая	2,0
1.6. Нарезка метрическая	2,5
1.7. Отверстия при отношении диаметра отверстия к поперечному размеру сечения от 0,1 до 0,33	2,0
1.8. Риски от резца на поверхности изделия	1,2-1,4
2. Кручение	
2.1. Галтель при отношении радиуса галтели к наименьшему диаметру вала:	
0,02	1,8
0,10	1,2
0,20	1,1
2.2. Шпоночная канавка	1,6-2,0

Коэффициент чувствительности q_p



$$K_p = 1 + q_p \cdot (\alpha_p - 1)$$

3.4. Эффективные коэффициенты концентрации напряжений ступенчатых валов

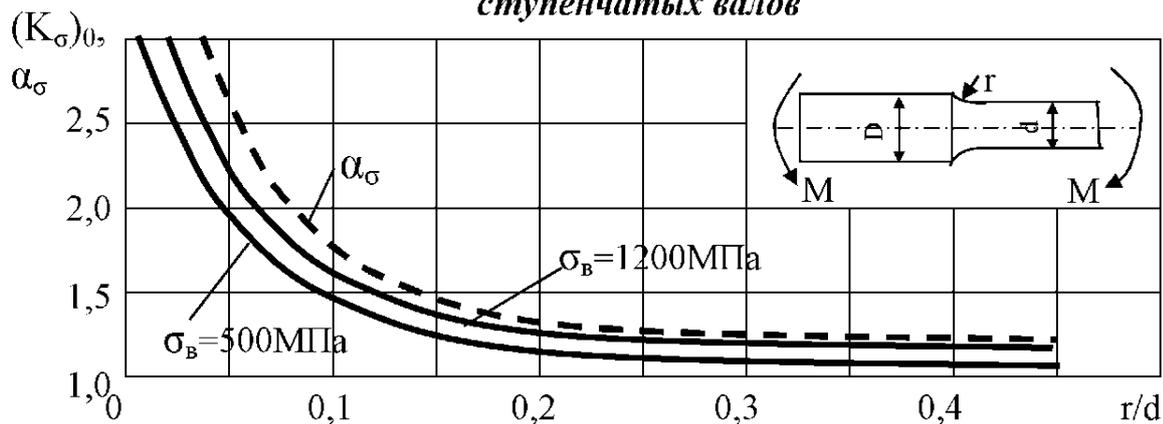


Рис.2

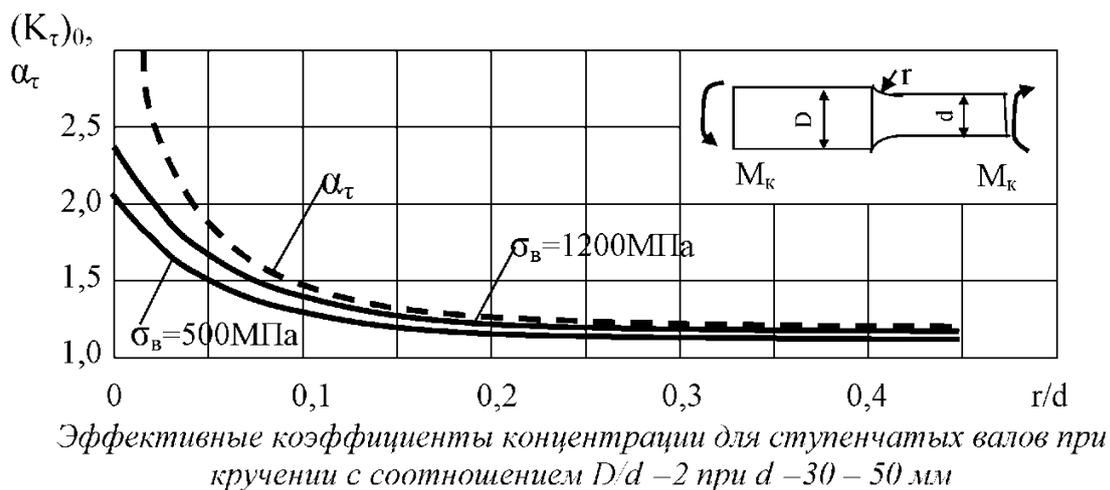
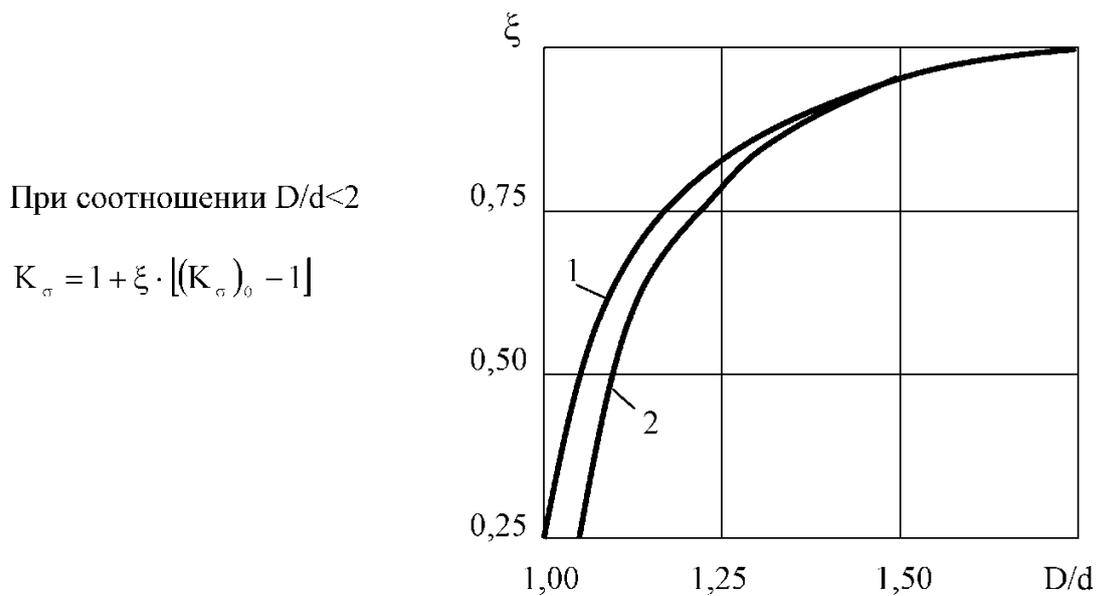


Рис.3

При значениях σ_B , отличных от указанных, производить линейную интерполяцию между соответствующими кривыми.

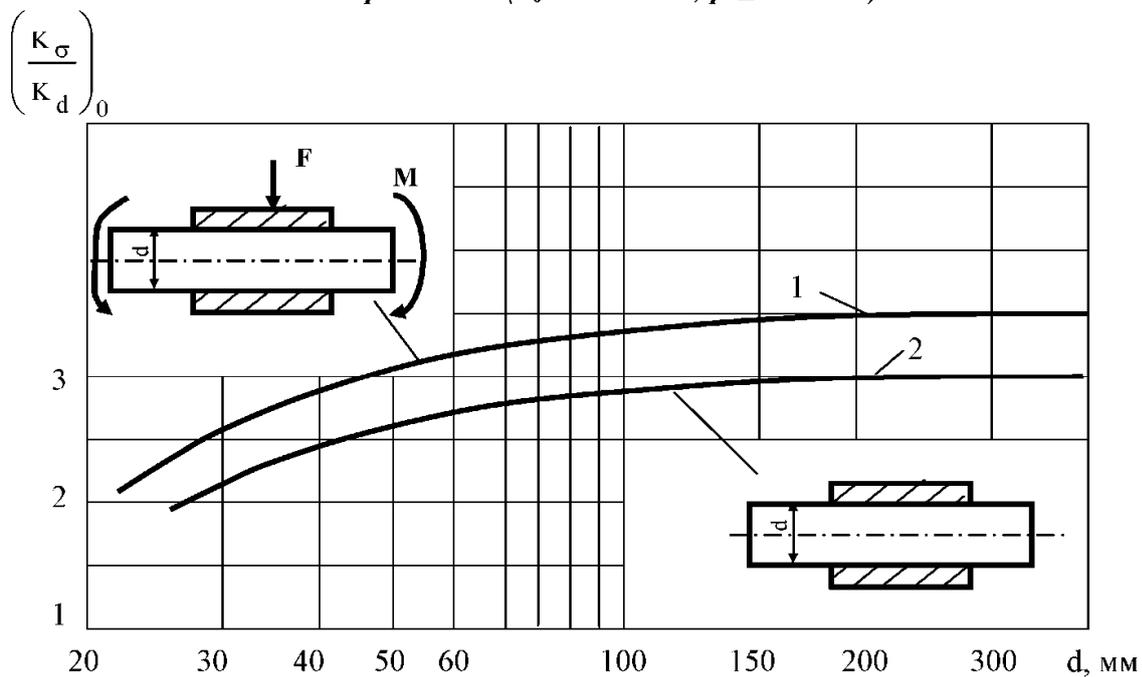


Поправочный коэффициент на отношение D/d :

1- изгиб, 2- кручение, $\xi = \frac{K - 1}{K_0 - 1}$

Рис.4

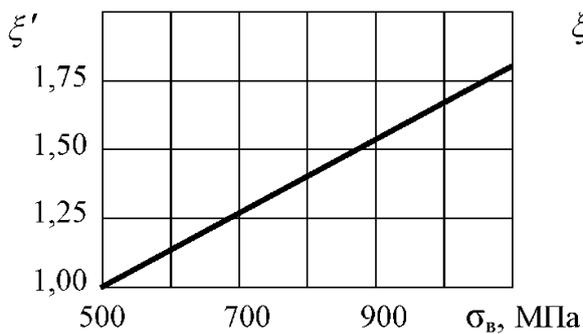
3.5. Значения коэффициентов $\left(\frac{K_\sigma}{K_d}\right)$ для валов с напрессованными деталями при изгибе ($\sigma_s = 500$ МПа; $p \geq 30$ МПа)



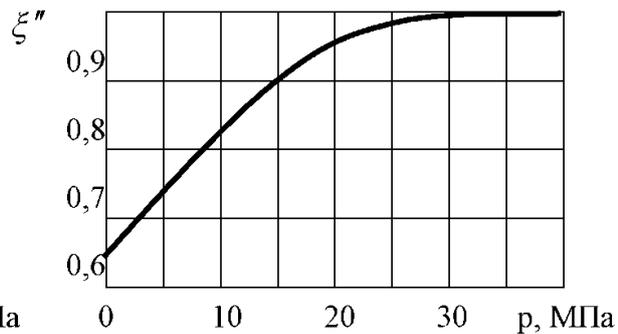
1 - через напрессованную деталь передается сила или момент;
2 - через напрессованную деталь не передаются усилия

$$\frac{K_\sigma}{K_d} = \left(\frac{K_\sigma}{K_d}\right)_0 \cdot \xi' \cdot \xi''$$

Рис.5

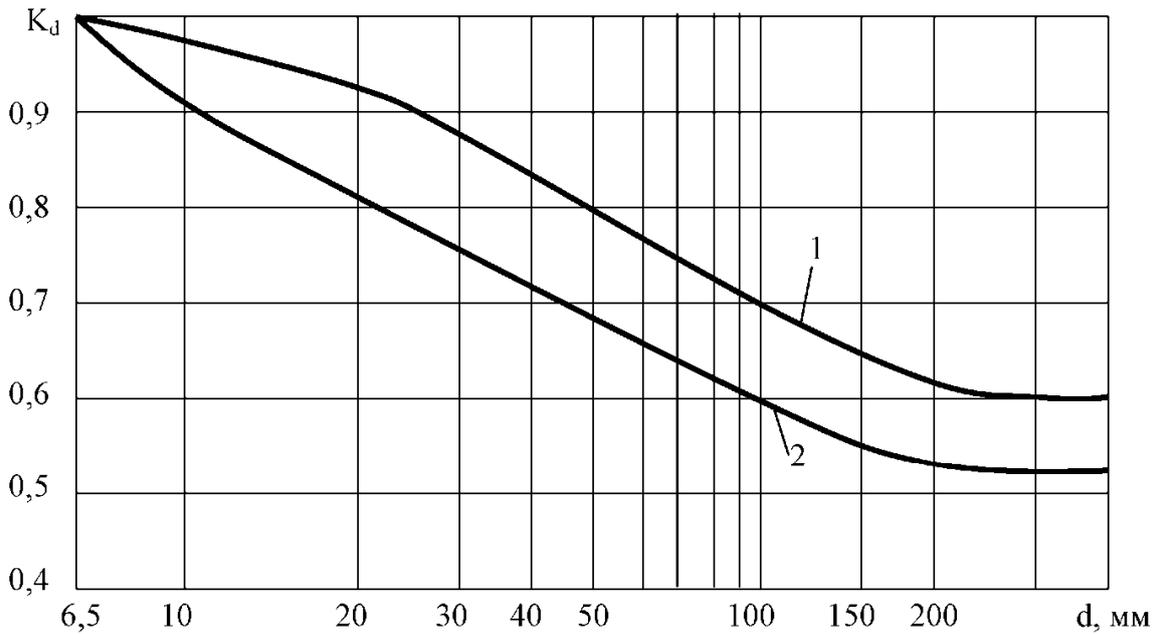


Поправочный коэффициент ξ' на предел прочности
Рис.6



Поправочный коэффициент ξ'' на на давление напрессовки
Рис.7

3.6. Коэффициенты влияния абсолютных размеров сечения K_d



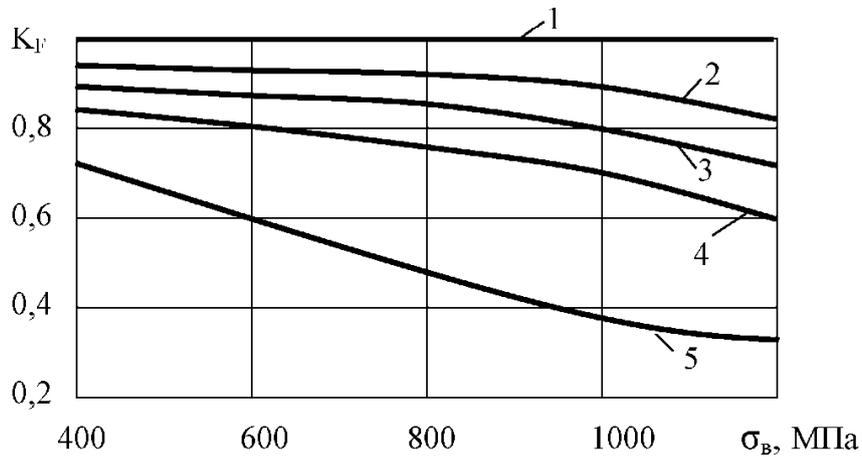
1 – углеродистая сталь; 2 – легированная сталь

Кривая 1 на рисунке соответствует мягким углеродистым сталям с пределом прочности $\sigma_v = 400 \text{--} 500 \text{ МПа}$; кривая 2 – высокопрочным легированным сталям ($\sigma_v = 1200 \text{--} 1400 \text{ МПа}$). При промежуточных значениях предела прочности следует проводить интерполяцию между указанными кривыми

Рис.8

3.7. Влияние состояния поверхности на предел выносливости

3.7.1. Коэффициенты влияния шероховатости поверхности детали



1 - полировка, 2 - шлифовка, 3 - тонкое точение, 4 - грубое точение, 5 - наличие окалины

Рис.9

3.7.2. Влияние поверхностного наклепа на предел выносливости детали

Материал	Способ обработки	Тип образца	Диаметр образца, мм	K _v
Углеродистые и легированные конструкционные стали	Обкатка роликом	Без концентрации напряжений	7 – 20 30 - 40	1,2 - 1,40 1,1 – 1,25
		С концентрацией напряжений	7 – 20 30 - 40	1,5 - 2,20 1,3 – 1,80
	Обдувка дробью	Без концентрации напряжений	7 – 20 30 - 40	1,21- 1,30 1,1 – 1,20
		С концентрацией напряжений	7 – 20 30 - 40	1,4 - 2,50 1,1 – 1,50
Алюминиевые и магниевые сплавы	Обдувка дробью	Без концентрации напряжений	8	1,05- 1,15

3.7.3. Влияние поверхностной закалки токами высокой частоты на предел выносливости

Материал	Тип образца	Диаметр образца, мм	K _v
Углеродистые и легированные конструкционные стали	Без концентрации напряжений	7 – 20	1,3 – 1,6
		30 - 40	1,2 – 1,5
	С концентрацией напряжений	7 – 20 30 - 40	1,6 – 2,8 1,5 – 2,5
Чугун	Гладкие образцы с концентрацией напряжений	20	1,2

Примечание: Данные, приведенные в таблице, соответствуют случаю изгиба с вращением. Толщина закаленного слоя 0,9 – 1,5 мм. Большие значения соответствуют образцам с большим уровнем концентрации напряжений.

3.7.4. Влияние химико термической обработки на предел выносливости

Характеристики химико-термической обработки	Тип образца	Диаметр образца, мм	K _v
Азотирование при глубине слоя 0,1 – 0,4 мм, твердость слоя НВ 730 – 970	Без концентрации напряжений	8 – 15 30 - 40	1,15–1,25 1,10-1,15
	С концентрацией напряжений (поперечное отверстие)	8 – 15 30 - 40	1,9 – 3,0 1,3 – 2,0
Цементация при толщине слоя 0,2 – 0,6 мм	Без концентрации напряжений	8 – 15 30 - 40	1,2 – 2,1 1,1 – 1,5
	При наличии концентрации напряжений	8 – 15 30 - 40	1,5 – 2,5 1,2 – 2,0
Цианирование при толщине слоя 0,2 мм	Без концентрации напряжений	10	1,8

3.8. Значения эффективных коэффициентов концентрации

Значения K_σ и K_τ для валов с одним или несколькими шпоночными пазами

Таблица 3.8-1

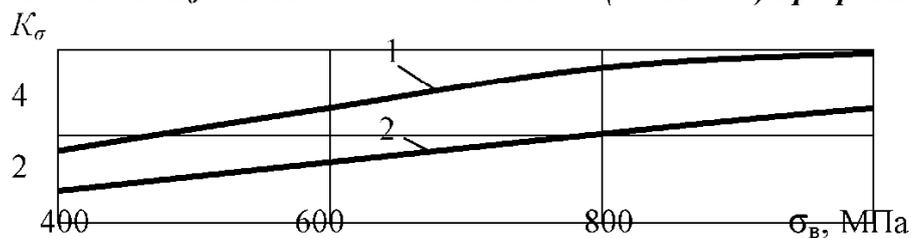
σ_B , МПа	500	750	1000
K_σ	1,5	1,75	2,0

Таблица 3.8-2

σ_B , МПа	600	700	800	900	1000
K_τ	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9

Примечание: Значения K_σ и K_τ подсчитаны по номинальным напряжениям, вычисляемым по нетто-сечению

3.9. Значения K_σ для болтовых соединений ($d=12$ мм) при растяжении



1 – метрическая резьба, 2 – дюймовая резьба

Рис.10

3.10. Коэффициенты влияния абсолютных размеров K_d для болтовых соединений

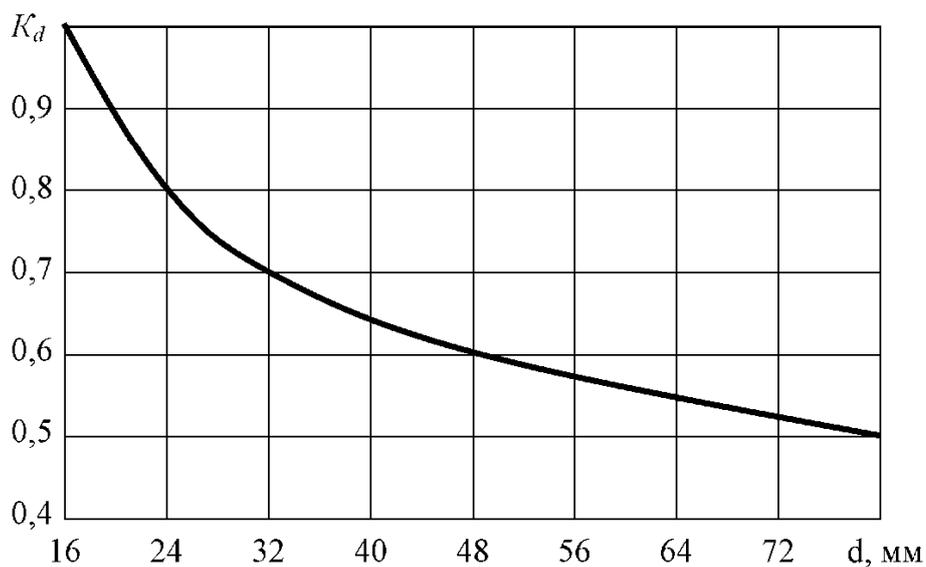


Рис.11

**3.11. Моменты сопротивления и площади сечений валов,
ослабленных пазом, для одной стандартной шпонки
(размеры в мм, моменты сопротивления в см³, площади в см²)**

D	B*h	W _u	W _x	A	d	B*h	W _u	W _x	A
20	6x6	0,655	1,44	2,96	75	20x12	37.6	79.0	43.0
21		0,770	1,68	3,28	78		42.6	89.2	46.6
22		0,897	1,94	3,62	80	24x14	44.7	95.0	48.6
23		1,038	2,23	3,98	82		48.4	102.5	51.1
24		1,192	2,55	4,34	85		54.3	114.6	55.1
25	8x7	1,275	2,81	4,62	88	28x16	60.6	127.5	59.1
26		1,453	3,18	5,03	90		65.1	137.0	61.9
28		1,855	4,01	5,88	92	28x16	67.9	144.4	64.2
30		2,320	4,97	6,79	95		75.3	159.4	68.6
32	10x8	2,730	5,94	7,64	98	28x16	83.1	175.5	73.2
34		3,330	7,19	8,68	100		88.7	186.9	76.3
35		3,660	7,87	9,22	105		103.7	217.0	82.4
37	21x8	4,27	9,24	10,27	110	32x18	117.4	248	92.2
38		4,66	10,04	10,86	115		135.2	285	101.0
40		5,51	11,79	12,09	120	32x18	154.8	342	110.2
42		6,45	13,72	13,37	125		172.7	364	119.1
44	14x9	7,27	15,61	14,58	130	36x20	195.8	412	129.1
45		7,80	16,74	15,27	135		221.0	462	139.5
46		8,38	17,93	15,99	140		248.0	517	150.3
47		8,98	19,17	16,72	145	40x22	272	571	160.7
48		9,62	20,50	17,47	150		303	634	172.3
50	16x10	10,65	22,90	18,84	155	40x22	336	702	184.3
52		12,10	25,90	20,40	160		372	774	196.7
55		14,51	30,80	23,00	165		409	850	209.0
58	18*11	16,81	36,00	25,40	170	45x25	450	932	223.0
60		18,76	40,00	27,30	175		484	1010	235
62		20,90	44,30	29,20	180		529	1101	249
65		24,30	51,20	32,20	185		576	1198	263
68	20x12	28,40	58,40	35,10	190	45x25	627	1300	278
70		30,20	63,80	37,30	195		680	1408	293
72		33,00	69,70	39,50	200		736	1521	309

4. ТАБЛИЦА ИНТЕГРАЛОВ

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

5. УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ

Таблица 5.1. Коэффициенты продольного изгиба ϕ (увеличенные в 1000 раз)

λ	Материалы									
	AMr	AMr6	ABT1	Д16Е	Сr2,3,4	Сr5	НЛ-2 15ХСНД	Сч12,15 Сч18,21	Сч24,28	Сосна
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
10	973	973	996	999	990	980	980	970	950	990
20	945	946	992	998	970	950	950	910	870	970
30	917	890	900	835	950	930	930	810	750	930
40	870	770	780	700	920	900	900	690	600	870
50	770	640	660	568	890	840	830	570	430	800
60	685	542	557	455	860	800	780	440	320	710
70	603	458	463	353	810	740	710	340	230	610
80	530	387	387	269	750	660	630	260	180	490
90	465	322	312	212	690	590	540	200	140	380
100	415	280	252	172	600	500	450	160	120	310
110	365	243	210	142	520	430	390	-	-	250
120	327	213	175	119	450	380	330	-	-	220
130	296	183	150	101	400	320	290	-	-	180
140	265	162	129	87	360	280	260	-	-	160
150	235	148	113	76	320	270	230	-	-	140
160	-	-	-	-	290	240	-	-	-	120
170	-	-	-	-	260	210	-	-	-	110
180	-	-	-	-	230	190	-	-	-	100
190	-	-	-	-	210	170	-	-	-	90
200	-	-	-	-	190	160	-	-	-	80

Значения коэффициентов Φ продольного изгиба

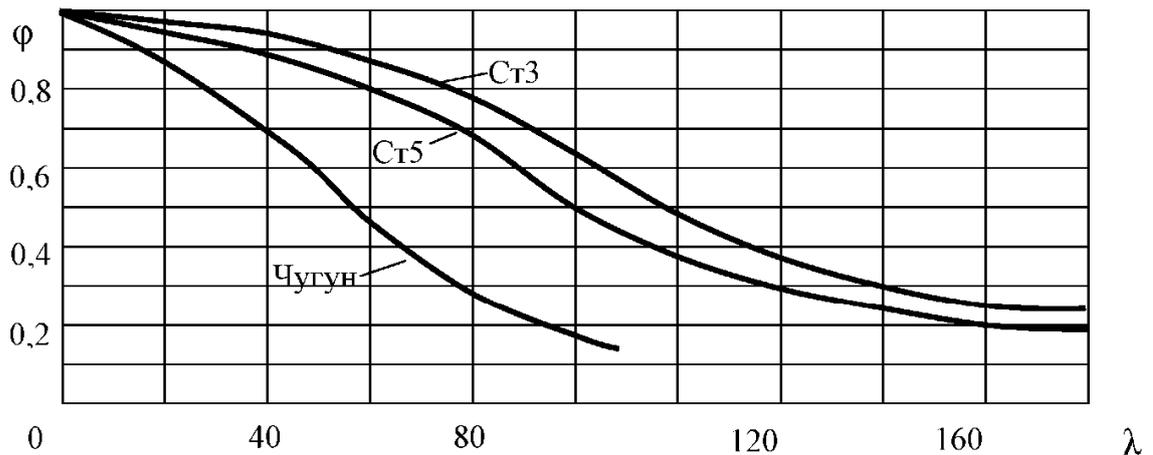


Рис.12

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность/ С.В. Серенсен, В.П. Кагаев, Р.М. Шнайдерович. – М.: Машиностроение, 1975. – 480 с.
2. Беляев Н.М. Сопротивление материалов: Учебник для вузов. – М.: Гл. ред. физ.- мат. лит., 1976. – 608 с.
3. Сборник задач по сопротивлению материала с теорией и примерами/ Под ред. А.Г. Горшкова и Д.В. Тарлаковского. – М.: Физматлит, 2003. – 632 с.
4. Гафаров Р.Х., Жернаков В.С. Что нужно знать о сопротивлении материалов: Учебное пособие/ Под ред. В.С. Жернакова. – М.: Машиностроение, 2001. – 276 с.
5. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др. – М.: Машиностроение, 1989. - 640 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Принятые обозначения	3
2. Механические свойства материалов	4
3. Расчеты на прочность при циклически изменяющихся напряжениях	
3.1. Основные положения	5
3.2. Значения коэффициентов влияния асимметрии цикла на прочность для сталей в зависимости от предела прочности	7
3.3. Теоретические коэффициенты концентрации напряжений	7
3.4. Эффективные коэффициенты концентрации напряжений ступенчатых валов	8
3.5. Значения коэффициентов $\left(\frac{K_{\sigma}}{K_d}\right)$ для валов с напрессованными деталями при изгибе	10
3.6. Коэффициенты влияния абсолютных размеров сечения	11
3.7. Влияние состояния поверхности на предел выносливости	11
3.8. Значения эффективных коэффициентов концентрации	13
3.9. Значения K_{σ} для болтовых соединений при растяжении	13
3.10. Коэффициенты влияния абсолютных размеров для болтовых соединений	13
3.11. Моменты сопротивления и площади сечений валов, ослабленных пазом	14
4. Таблица интегралов	15
5. Устойчивость сжатых стержней	16
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	17