

Правила оформления решения задач

Задания оформляются в отдельной тетради или на листах белой бумаги формата А4, сшитых в тетрадь. Текстовая часть, включающая условие, пояснения к решению, расчет и ответ, выполняется чётким почерком чернилами (пастой) черного или синего цветов. Расчетные схемы, рисунки – простым карандашом.

На обложке тетради (или на титульном листе) указывается наименование дисциплины и кафедры, фамилия, имя и отчество студента, факультет и специальность, **шифр**, дата.

Для каждой задачи записывается текст условия, приводятся исходные данные (обязательно с указанием размерности) и аккуратно изображается расчетная схема. Расчёты обязательно сопровождаются краткими пояснениями, а при необходимости ссылками на учебную или справочную литературу.

Рекомендуется использовать международную систему единиц СИ.

Результаты расчета (ответы) с указанием размерности следует записать и подчеркнуть. Точность представления результата – три значащие цифры.

При нарушении правил оформления преподаватель может потребовать оформить работу заново в соответствии с данными правилами.

Срок проверки и рецензирования работы – не более 7 дней с момента получения работы преподавателем.

Задача 1. Исследование напряженного состояния материала в точке

Известны значения компонентов напряжений в точке A нагруженной детали (см. Таблицу 1).

1. Определить величины главных напряжений и изобразить главные направления в точке A .

2. Найти значение максимального касательного напряжения и изобразить площадку, на которой оно действует,

3. Построить круговые диаграммы напряжений для точки A .

4. Найти величины эквивалентных напряжений для НС в точке A , используя:

- а) критерий максимальных касательных напряжений,
- б) критерий энергии формоизменения.

Методические указания

Компоненты напряжений, которые не указаны в таблице, принимать равными нулю.

Оси Ax , Ay , Az – оси правой декартовой системы координат.

Таблица 1

	Первая цифра шифра	Вторая цифра шифра		Третья цифра шифра		
	σ_z , МПа	σ_x , МПа	σ_y , МПа	τ_{xy} , МПа	τ_{xz} , МПа	τ_{yz} , МПа
0	30	– 60	50	40	—	—
1	– 40	70	– 30	—	– 30	—
2	20	– 80	40	—	—	50
3	– 50	90	60	30	—	—
4	35	– 100	– 70	—	40	—
5	– 25	100	50	—	—	– 60
6	45	60	– 30	– 50	—	—
7	– 30	– 70	40	—	60	—
8	– 20	80	60	—	—	30
9	40	– 90	– 70	—	– 50	—

Задача 2. Проверка устойчивости продольно сжатого стержня

Для стойки, нагруженной продольной сжимающей силой требуется:

1) установить возможность применения формул Эйлера или Ясинского для определения критической силы $F_{кр}$;

2) определить величину критической силы по формуле Эйлера или Ясинского;

3) для заданного значения нагрузки F найти коэффициент запаса устойчивости.

Для всех вариантов принять : сечение прямоугольное размером $b \times h$, материал стойки, размеры поперечного сечения, длину стойки, величину нагрузки взять из таблицы 1. Расчётные схемы стоек показаны в таблице 2.

Сжимающая сила считается приложенной строго в центре тяжести поперечного сечения. Закрепление концов стержня во всех плоскостях принимать одинаковым.

Для вычисления критической силы $P_{кр}$, в зависимости от значения безразмерного параметра λ – гибкости стержня, следует использовать одну из формул:

$$P_{кр} = \begin{cases} \frac{\pi^2 EJ_{\min}}{(\mu L)^2}, & \text{если } \lambda > \lambda_{np}; \\ A(a - b\lambda), & \text{если } \lambda_{np} \geq \lambda > \lambda_0; \\ A\sigma_{np}, & \text{если } \lambda \leq \lambda_0. \end{cases} \quad (1)$$

где $\lambda = \frac{\mu L}{\sqrt{J_{\min}/A}}$ – гибкость стержня,

E – модуль упругости материала стержня (таблица 3);

J_{\min} – минимальный осевой момент инерции поперечного сечения стержня;

A – площадь поперечного сечения стержня;

L – длина стержня;

μ – коэффициент приведения длины стержня (таблица 4):

σ_{np} – предельное напряжение: для металлов – предел текучести (σ_T или $\sigma_{0,2}$), для дерева – предел прочности на сжатие (таблица 5);

Значения коэффициентов a , b и величин λ_0 , λ_{np} для некоторых материалов даны в таблице 6.

Таблица 1

Цифра шифра	1-я цифра шифра			2-я цифра шифра		3-я цифра шифра
	b , см	h , см	H , м	F , кН	Закрепление концов по табл.2	Материал
0	6	8	3,9	240	I	Дерево 3-й сорт
1	5	6,3	4,0	250	II	Сталь 235
2	7	5,5	4,5	260	III	Дерево 2-й сорт
3	8	6,5	4,3	270	IV	Сталь 275
4	6,5	8,2	5,4	280	I	Дерево 1-й сорт
5	5,5	7,2	6,2	290	II	Дюралюминий
6	7,5	6,8	3,8	300	III	Сталь 45
7	8,2	4	5,1	310	IV	Сталь 40
8	7,2	5	4,2	320	I	Дерево 2-й сорт
9	6,8	7	4,4	330	II	Дюралюминий

Таблица 2

Виды закрепления стержней

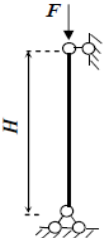
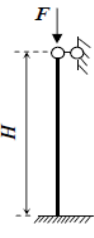
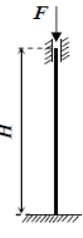

Номер расчетной схемы	I	II	III	IV
Конструкция опорных закреплений сжатой стойки				

Таблица 3

Модули упругости некоторых материалов

Материал	Модуль упругости E , МПа
Сталь углеродистая	206000
Сталь легированная	210000
Чугун серый, белый	115000-160000
Чугун ковкий	155000
Дюралюминий катанный	71000
Древесина вдоль волокон	10000
Древесина поперек волокон	400

Таблица 4

Коэффициенты расчетной (приведения) длины μ

Вид материала	Схема закрепления стержня и вид нагрузки							
								
сталь	1,0	0,7	0,5	2,0	1,0	2,0	0,725	1,12
дерево	1,0	0,8	0,65	2,2	1,0	2,2	0,73	1,2

Таблица 5

Пределные напряжения материалов		
Материал	$\sigma_{Тз}$, МПа	$\sigma_{в сжз}$, МПа
Дюралюминий	340	-
Древесина 1-й сорт	-	14
Древесина 2-й сорт	-	13
Древесина 3-й сорт	-	8,5
Сталь 235	230	
Сталь 275	260	
Сталь 40	275	
Сталь 45	275	

Таблица 6

Коэффициенты для расчета по формуле Ясинского-Тетмайера

Материал	a , МПа	b , МПа	λ_0	λ_{np}
Сталь Ст2	264	0,70	60	105
Сталь Ст3	310	1,14	61	100
Сталь Ст4, 20	328	1,15	60	96
Сталь Ст5, 30	464	3,26	60	90
Сталь 40	321	1,16	60	90
Сталь 45	449	1,67	52	85
Сталь С235	295	1,00	60	102
Сталь С275	345	1,10	63	91
Дюралюминий Д16Т	406	1,83	30	53
Сосна, ель	29,3	0,194	-	70

Задача 3. Оценка усталостной прочности вала

Выполнить расчет на прочность вала зубчатой передачи. Вал передает мощность N кВт при числе n оборотов в минуту. Геометрия вала изображена на рис. 22, размеры заданы в мм. Данные для расчета взять из табл. 17. Использовать следующие обозначения: d_1 и d_2 – диаметры вала; r_1 и r_2 – радиусы галтелей; R_1 , R_2 – радиусы делительных окружностей; T – окружная, а F – радиальная составляющие усилий зацепления. Принять $F = 0,4T$.

Материал вала – сталь марки Ст. 40: предел прочности $\sigma_B = 600$ МПа; пределы текучести $\sigma_T = 320$ МПа; $\tau_T = 200$ МПа; пределы выносливости $\sigma_{-1} = 250$ МПа, $\tau_{-1} = 150$ МПа.

Вычислить коэффициенты запаса статической (по пределу текучести) и усталостной прочности.

Указания к расчёту. При схематизации опорной конструкции радиальные и радиально-упорные подшипники считать как шарнирно-подвижные и шарнирно-неподвижные пространственные опоры, силами трения в опорах пренебречь.

Крутящий момент на валу определяется формулой

$$M_{кр} = 9,549 \frac{N(\text{кВт})}{n(\text{об/мин})} [\text{кН} \cdot \text{м}].$$

Влияние концентрации напряжений, размеров детали и качества обработки поверхности на усталостную прочность учитывается при помощи коэффициентов:

$$k_\sigma = \left(\frac{k_\sigma^*}{\varepsilon} + \frac{1}{\beta} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\beta_*}; \quad k_\tau = \left(\frac{k_\tau^*}{\varepsilon} + \frac{1}{\beta} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\beta_*}.$$

Здесь k_σ и k_τ – эффективные коэффициенты концентрации напряжений; ε – масштабный коэффициент, зависящий от абсолютных размеров детали; β_* – коэффициент, характеризующий эффект поверхностного упрочнения; β – коэффициент качества обработки поверхности.

Коэффициенты k_σ^* и k_τ^* для вращающихся ступенчатых валов при изгибе и кручении определяются по графикам на рис. 23 и 24.

Коэффициент β_* , учитывающий эффект поверхностного упрочнения, выбирается по табл. 18 в зависимости от вида термической обработки.

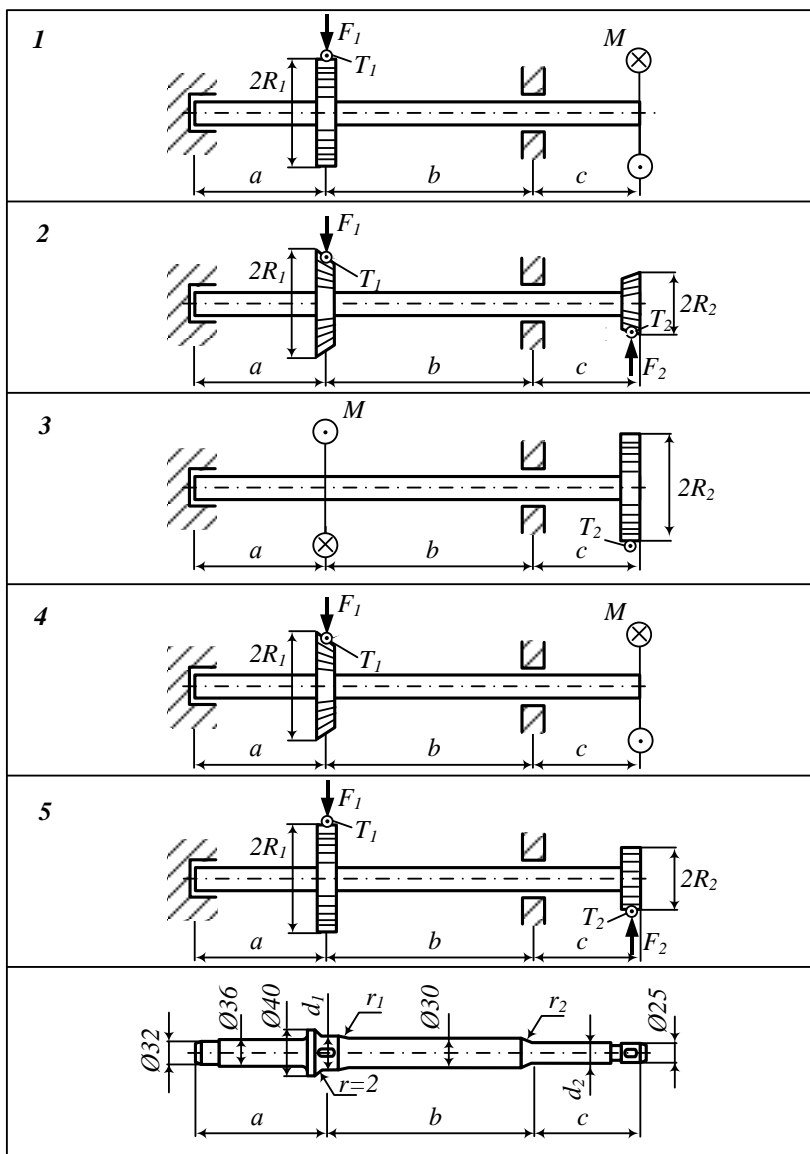


Рис. 22

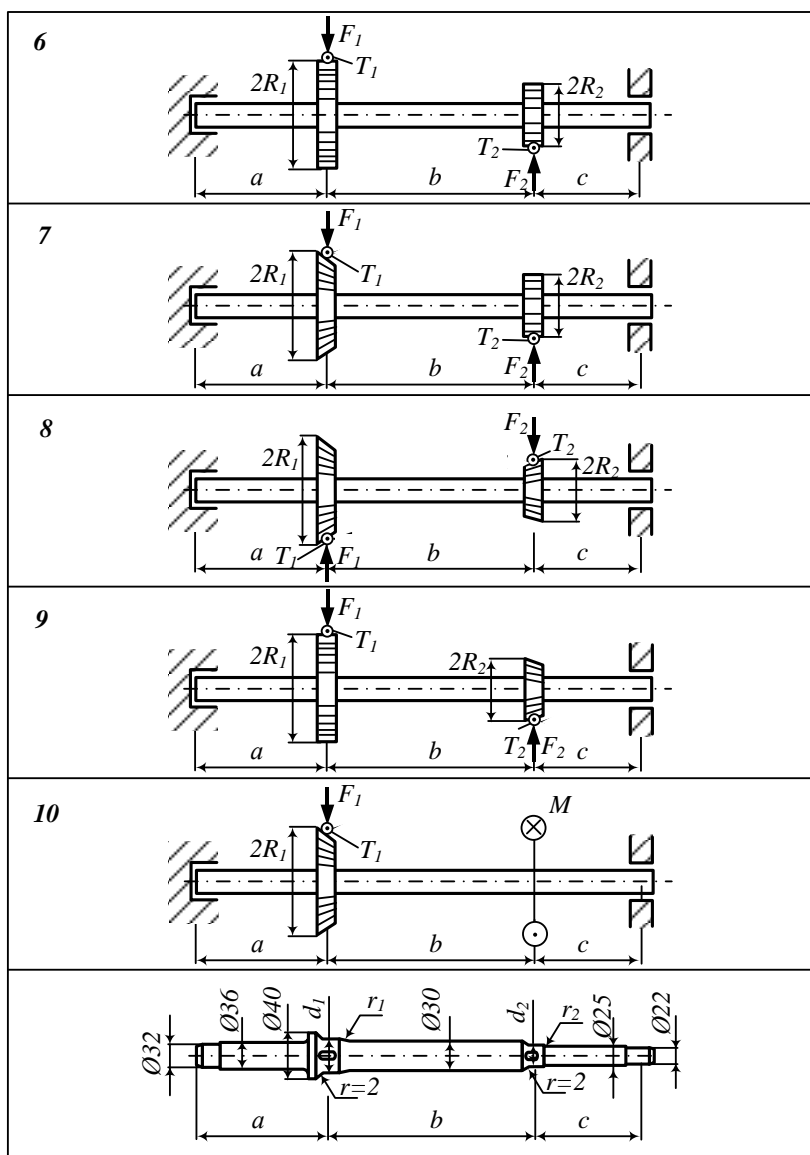


Рис. 22. Окончание

Таблица 17

3-я цифра шифра	2-я цифра шифра		1-я цифра шифра										Технология тер- моупрочнения поверхности
	N, кВт	n, об/мин	R ₁ , см	R ₂ , см	a, см	b, см	c, см	r ₁ , мм	d ₁ , мм	r ₂ , мм	d ₂ , мм	Обработка поверхности	
1	2,5	200	6	7	16	14	20	3,0	32	2,0	26	шлифование	закалка ТВЧ
2	2,8	220	7	8	18	16	22	2,5	34	2,2	27	чистовое точе- ние	азотирование
3	2,4	240	6	7	20	18	24	2,0	36	2,4	28	точение	цементация
4	2,7	260	7	8	22	20	22	1,5	38	2,6	29	чистовое точе- ние	закалка ТВЧ
5	3,0	280	8	9	24	22	20	1,0	36	2,4	28	шлифование	азотирование
6	3,6	300	9	10	26	24	18	3,0	34	2,2	27	точение	цементация
7	3,9	320	8	9	24	22	16	2,0	32	2,0	26	чистовое точе- ние	закалка ТВЧ
8	4,2	340	9	10	22	20	14	1,0	35	1,8	27	шлифование	азотирование
9	4,5	360	10	11	20	18	16	4,0	37	1,6	28	точение	цементация
10	4,8	380	11	12	18	16	18	2,0	36	1,4	29	чистовое точе- ние	азотирование

Таблица 18

Обработка	Образец	β_*
Закалка ТВЧ	С концентрацией $d = 30-40$ мм	1,5...2,5
Азотирование на глубину 0,1...0,4 мм	С концентрацией $d = 30-40$ мм	1,3...2
Цементация на глубину 0,2...0,6 мм	С концентрацией $d = 30-40$ мм	1,2...2

Коэффициенты запаса усталостной прочности при несимметричном цикле определяются формулами:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{k_\sigma \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}; \quad n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{k_\tau \tau_a + \psi_\tau \tau_m}; \quad n_\tau = \frac{\tau_T}{\tau_m} \text{ при } \tau_a = 0.$$

Здесь ψ_σ и ψ_τ характеризуют чувствительность материала к постоянной составляющей цикла напряжений, их величины приведены в табл. 19.

Таблица 19

Коэффициент	Предел прочности $\sigma_{вд}$, МПа			
	520-750	750-1000	1000-1200	1200-1400
ψ_σ	0,05	0,1	0,2	0,25
ψ_τ	0	0,05	0,1	0,15

$$\left. \begin{aligned} k_\sigma &= k_\sigma^* \\ k_\tau &= k_\tau^* \end{aligned} \right\} \text{ при } D/d \geq 2,$$

$$\left. \begin{aligned} k_\sigma &= (k_\sigma^* - 1)\xi_\sigma + 1 \\ k_\tau &= (k_\tau^* - 1)\xi_\tau + 1 \end{aligned} \right\} \text{ при } D/d < 2,$$

где ξ_σ и ξ_τ - поправочные коэффициенты, которые находятся по графикам на рис. 25.

Эффективные коэффициенты концентрации напряжений k_σ и k_τ для валов со шпоночными канавками указаны в табл. 20.

Таблица 20

Нагружение	Коэффициенты		
	$\sigma_g = 500$ МПа	$\sigma_g = 700$ МПа	$\sigma_g = 1000$ МПа
Изгиб - k_σ	1,6	1,9	2,3
Кручение - k_τ	1,4	1,7	2,2

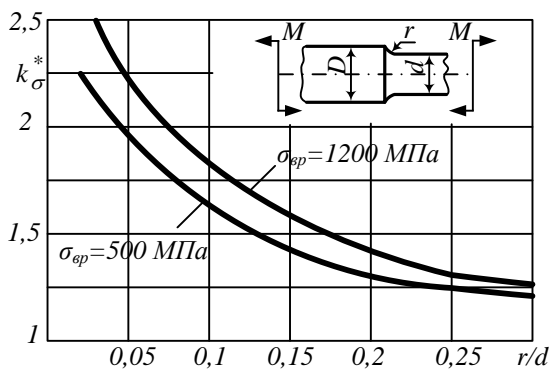


Рис. 23

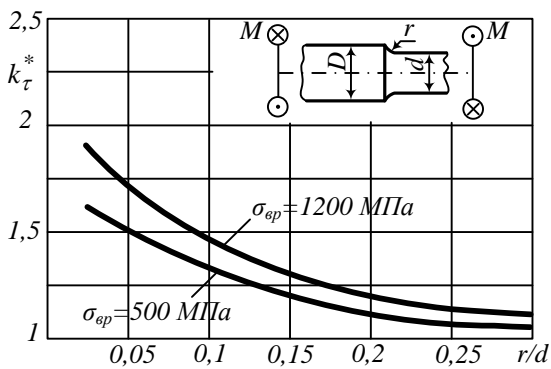


Рис. 24

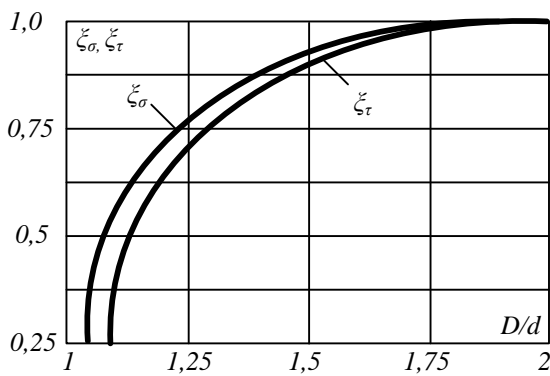


Рис. 25

Если на валу имеются два концентратора напряжений (например, ступенчатый переход и шпоночная канавка), то в расчет следует принимать наибольшее из двух значений эффективного коэффициента концентрации напряжений.

Масштабный коэффициент ε определяется по графикам на рис. 26 в зависимости от диаметра вала d .

Коэффициент качества обработки поверхности β находится по графикам на рис. 27 в зависимости от параметра шероховатости поверхности R_z и предела прочности материала σ_{sp} . Параметр шероховатости R_z с учетом технологии обработки определяется по табл. 21.

Таблица 21

Обработка	Параметр шероховатости R_z , мкм
Полирование	0,5...1
Шлифование	1,5...2
Чистое точение	4...10
Точение	10...15
Грубое точение	20...30
Весьма грубое точение	50...100

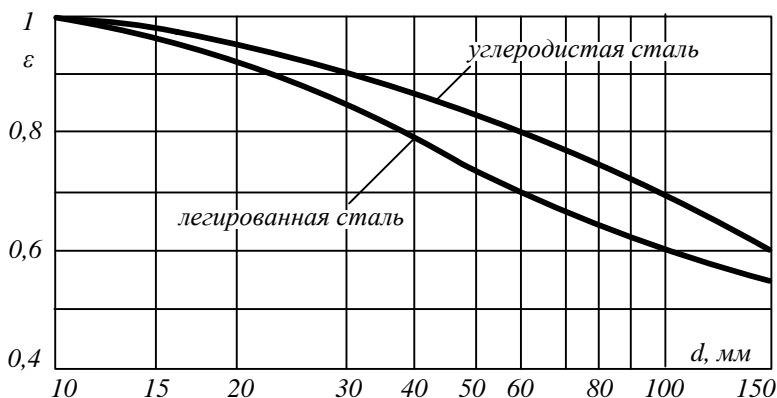


Рис. 26

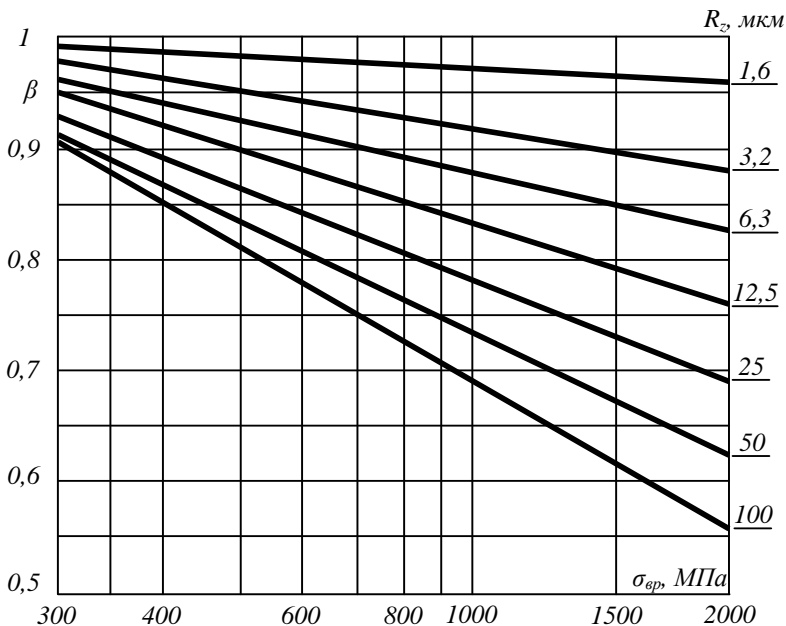


Рис. 27

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев, Н. М. Сопротивление материалов: учебное пособие / Н. М. Беляев. – М.: Наука, 1976. – 607 с.
4. Куликов, Ю. А. Избранные лекции по курсу "Сопротивление материалов": учебное пособие / Ю. А. Куликов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1997. – 68 с.
5. Лихарев, К. К. Сборник задач по курсу "Сопротивление материала
11. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учебник для втузов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 592 с.