

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

В.Е. ХРОМАТОВ, О.В. НОВИКОВА, А.В. БЕСОВА, Е.В. ПОЗНЯК

РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания к курсовой работе (проекту)
по курсу «*Механика материалов и конструкций*»
для студентов, обучающихся по направлениям
«Энергетическое машиностроение», «Прикладная механика»,
«Робототехника и мехатроника», «Машиностроение»

Москва
2021

УДК 539.4
Х-941

*Утверждено учебным управлением НИУ «МЭИ»
в качестве учебного издания*

Подготовлено на кафедре робототехники, мехатроники, динамики и прочности
машин

Рецензент – В.П. Чирков, д.т.н., профессор кафедры РМДПМ
НИУ «МЭИ»

Хроматов В.Е.

Расчеты на прочность и жесткость элементов машиностроительных конструкций / В.Е. Хроматов, О.В. Новикова, А.В. Бесова, Е.В. Позняк – М.: Издательство МЭИ, 2021. - 24 с.

Учебное пособие содержит условия задач по расчету стержневых систем на растяжение-сжатие, кручение, изгиб, сложные виды деформаций, на выносливость при циклическом нагружении. Задание состоит из двух частей, каждая из которых выполняется и защищается отдельно. В приложениях приведены основные расчетные формулы, числовые данные для расчетов, справочная информация.

Пособие предназначено для студентов 2 курса института энергомашиностроения и механики, обучающихся по направлениям «Энергетическое машиностроение», «Прикладная механика», «Робототехника и мехатроника», «Машиностроение» и изучающих дисциплину «Механика материалов и конструкций» в 3-м семестре обучения.

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
ЧАСТЬ 1. РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ И КРУЧЕНИИ	3
ЧАСТЬ 2. РАСЧЕТЫ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ НА ИЗГИБ И СЛОЖНЫЕ ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ	5
Список рекомендованной литературы	8
Приложения.....	9

ВВЕДЕНИЕ

Указания по выполнению и оформлению курсовой работы (проекта)

Расчетное задание содержит условия к десяти задачам и состоит из двух частей. Каждая часть задания выполняется и оформляется отдельно в сроки, указанные преподавателем.

Расчетная часть выполняется на листах бумаги форматом А4 (210x300 мм) в соответствии с пунктами, приведенными в каждой задаче. Все схемы, эпюры, графики, рисунки выполняются на отдельных листах бумаги форматом А4. Рисунки должны быть пронумерованы и иметь подрисуночную подпись.

Числовые данные к расчетным схемам приведены в таблицах исходных данных (Приложение 2). Каждая задача в расчетно-пояснительной записке должна начинаться с условия. Числовые данные записываются в условии задачи и при необходимости - непосредственно на чертежах и рисунках в расчетно-пояснительной записке.

Бланк задания с расчетными схемами подшивается к соответствующей части расчетно-пояснительной записки. Без бланка задания работа не принимается.

Если расчет был выполнен с использованием компьютерных вычислений, то к расчетной записке необходимо приложить файл с программным кодом и результатами.

После проверки задания преподавателем студент должен внести исправления в соответствии с замечаниями и вновь сдать расчет с работой над ошибками.

ЧАСТЬ 1. РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ И КРУЧЕНИИ

Задача № 1. Расчет статически определимой фермы

Плоская статически определимая ферма изготовлена из стержней стандартного прокатного профиля и нагружена сосредоточенными силами в узлах.

1.1. Найти опорные реакции и продольные усилия во всех стержнях фермы через параметр нагрузки P . Результаты представить в табличной форме.

1.2. Из условия прочности по максимальным нормальным напряжениям определить параметр нагрузки P . Принять $[\sigma]=160$ МПа.

Задача № 2. Расчет ступенчатого стержня на растяжение при квазистатическом нагружении

Стержень нагружен монотонно возрастающими силами P и kP .

2.1. Определить параметр нагрузки $P = P_1$, при котором перекроется зазор δ . Для найденного значения параметра P_1 построить эпюры продольной силы N_z , напряжений σ и осевых перемещений сечений стержня u .

2.2. Определить продольные силы N_z , напряжения σ и перемещения u при параметре силы $P = 2P_1$. Построить соответствующие эпюры.

2.3. Определить коэффициент запаса прочности n .

У к а з а н и е. На схеме заштрихованная часть стержня - абсолютно жесткая. Принять модуль продольной упругости материала $E=2 \cdot 10^5$ МПа, $\sigma_{пред}=250$ МПа.

Задача № 3. Расчет стержневой статически неопределимой системы при силовом и температурном воздействии

Стержневая система нагружена внешней силой P , при этом один из стержней нагревается.

3.1. Определить продольные силы и напряжения в стержнях при нагружении силой P , приняв её как параметр.

3.2. Из условия прочности определить допускаемое значение силы $[P]$.

3.3. Определить усилия и напряжения в стержнях, если стержень, отмеченный на схеме, нагрет на ΔT . Температурный расчет выполнить в предположении, что сила P отсутствует.

3.4. Проверить прочность системы при совместном действии нагрузки $[P]$ и температурном воздействии.

У к а з а н и е. Принять $\alpha_T=1,25 \cdot 10^{-5}$ $1/^\circ\text{C}$, $E=2 \cdot 10^5$ МПа, $[\sigma]=160$ МПа.

Задача № 3а. Определение монтажных напряжений в стержневых системах

Стержневая система состоит из стержней кругового поперечного сечения диаметром d и до сборки имеет начальный зазор δ . Определить продольные силы и напряжения в системе после сборки. Проверить условие прочности.

У к а з а н и е. Принять $E=2 \cdot 10^5$ МПа, $[\sigma]=160$ МПа.

Задача № 4. Кручение стержней кругового поперечного сечения

Стержень переменного поперечного сечения нагружен внешними крутящими моментами.

4.1. Для статически неопределимой системы раскрыть статическую неопределимость и построить эпюру крутящих моментов M_z по длине стержня.

4.2. Из расчета на прочность и жесткость определить диаметр стержня d . Построить эпюру касательных напряжений по длине стержня и в опасном сечении.

4.3. Построить эпюру углов закручивания по длине стержня. Для статически неопределимой системы определить погрешность вычислений.

У к а з а н и е. Принять $[\tau]=100 \text{ МПа}$, $G=0,8 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, $[\theta]=0,005 \text{ рад/м}$.

Задача № 5. Проектирование витых цилиндрических пружин растяжения-сжатия

Спроектировать витые цилиндрические пружины, при заданном внешнем воздействии P и рабочем ходе контакта δ_0 .

5.1. Определить усилия, приходящиеся на каждую пружину. Принять параметры пружин одинаковыми.

5.2. Для заданного материала и индекса пружины $\chi=D/d$ из условия прочности подобрать диаметр проволоки d и найти диаметр витка пружины D . Диаметр проволоки округлить до целого числа в мм.

5.3. Из условия ограничения осадки пружины в точке контакта ($\delta_K \geq \delta_0$) определить необходимое число витков пружин. Принять число витков n во всех пружинах одинаковым.

5.4. Для подобранных параметров каждой пружины проверить условие прочности, малости угла подъема витков $h_0=(\delta_0/n+1,1d) < D/2$ (h_0 – шаг подъема витка пружины), условие устойчивости пружины $H_0=((1,1n+1,0) \cdot d + \delta_0) < 2,5D$ (H_0 – высота пружины).

5.5. Рассчитать жесткость каждой пружины $c=Gd^4/8D^3n$.

ЧАСТЬ 2. РАСЧЕТЫ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ НА ИЗГИБ И СЛОЖНЫЕ ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ

Задача № 6. Изгиб балки из пластичного материала

Выполнить расчет балки, изготовленной из пластичного материала, с заданной формой поперечного сечения.

6.1. Определить геометрические характеристики поперечного сечения – главные центральные оси и моменты инерции сечения.

6.2. Определить опорные реакции. Записать аналитические выражения для поперечной силы Q_y , изгибающего момента M_x . Построить эпюры Q_y , M_x .

6.3. Из условия прочности при $[\sigma]=160$ МПа определить допускаемое значение параметра нагрузки q . Построить эпюру нормальных напряжений в опасном сечении.

6.4. Для заданной схемы нагружения балки записать краевые условия, методом начальных параметров получить выражения и построить эпюры поперечной силы Q_y , изгибающего момента M_x , углов поворота сечений $\varphi(z)$ и прогибов балки $v(z)$.

Задача № 7. Расчет плоской статически определимой рамы при силовом и температурном воздействии

Расчетная схема опоры турбогенератора представлена в виде плоской рамы, изготовлена из стержней стандартного прокатного профиля и нагружена внешними силами. Материал сталь: $E=2 \cdot 10^5$ МПа, $\sigma_T = 240$ МПа, $\alpha = 1,25 \cdot 10^{-5}$ $1/^\circ\text{C}$.

7.1. Определить опорные реакции и построить эпюры внутренних силовых факторов N_z , Q_y , M_x как функции параметра внешней силы P .

7.2. Из расчетов на прочность по допускаемым напряжениям изгиба подобрать номер прокатного сечения рамы (двутавр или швеллер). Для выбранного сечения построить эпюру нормальных напряжений.

7.3. Для заданной рамы определить перемещение точки K при силовом воздействии, используя формулу Максвелла-Мора.

7.4. Для линейного закона изменения температуры по высоте поперечного сечения рамы определить перемещения точки K от температурного воздействия. (Применить формулу Максвелла-Мора, учесть продольную и изгибную температурные деформации).

Задача № 8. Сложные виды деформации стержневых систем

Стержневая система нагружена пространственной системой сил.

8.1. Построить эпюры изгибающих и крутящих моментов (в зависимости от схемы нагружения).

8.2. Для опасного сечения построить эпюры нормальных и касательных напряжений от изгибающих и крутящих моментов (в зависимости от схемы нагружения).

8.3. Вывести уравнение нейтральной линии. Построить нейтральную линию и суммарную эпюру нормальных напряжений.

8.4. Определить коэффициент запаса прочности системы. Принять $\sigma_T = 240$ МПа.

У к а з а н и е. Для случая косоугольного изгиба балки прямоугольного сечения расчет на прочность проводить только по нормальным напряжениям. Для стержня кругового сечения при наличии нормальных и касательных напряжений расчет на прочность проводить по критерию Сен-Венана.

Задача № 9. Внецентренное нагружение стержней

Стержень изготовлен из стандартного прокатного профиля и нагружен внецентренно приложенной продольной силой P .

9.1. Указать главные центральные оси сечения и определить внутренние силовые факторы N_z , M_x , M_y в стержне.

9.2. Определить допускаемое значение силы P из расчета на прочность при растяжении-сжатии.

9.3. Определить допускаемое значение силы P из условия прочности по нормальным напряжениям от продольных сил и изгибающих моментов. Сравнить результаты расчета с результатом расчета по пункту 9.2.

9.4. *Факультативно.* Вывести уравнение нейтральной линии, построить эпюры нормальных напряжений σ_{M_x} , σ_{M_y} , σ_{N_z} и суммарную эпюру нормальных напряжений относительно нейтральной линии.

Задача № 10. Расчет вращающегося вала на выносливость

Промежуточный вал редуктора вращается с рабочей частотой n_0 и передает мощность N .

10.1. Определить передаваемый крутящий момент и усилия P_1 , P_2 в зацеплениях зубчатых колес диаметрами D_1 , D_2 .

10.2. Построить эпюры изгибающих моментов M_x , M_y и крутящего момента M_z .

10.3. Не учитывая циклического изменения напряжений и приняв нормативный коэффициент запаса прочности $4 \leq [n] \leq 6$, по заданному критерию прочности подобрать диаметр вала d . Полученный диаметр d округлить до ближайшего большего размера из ряда (в мм): 10,0; 10,5; 11,0; 11,5; 12,0; 13,0; 14,0; 15,0; 16,0; 17,0; 18,0; 19,0; 20,0; 21,0; 22,0; 24,0; 25,0; 26,0; 28,0; 30,0; 32,0; 34,0; 36,0; 38,0; 40,0; 42,0; 45,0; 48,0; 50,0; 53,0; 56,0; 60,0; 63,0; 67,0; 71,0; 75,0; 80,0; 85,0; 90,0; 95,0; 100,0; большие размеры получаются умножением на 10.

10.4. Выполнить проверочный расчет вала с учетом циклического изменения напряжений. Фактический коэффициент запаса прочности должен находиться в пределах $1,4 \leq n \leq 2,0$. Если это условие не выполняется, необходимо изменить диаметр вала и повторить проверочный расчет.

Указания:

1. принять, что нормальные напряжения меняются по симметричному циклу, касательные напряжения постоянны во времени.
2. Посадка диска на вал осуществляется при помощи шпоночного соединения. При расчетах на выносливость необходимо учесть влияние концентраторов напряжений, состояние поверхности и масштабный фактор. Механические характеристики, коэффициенты K_F , K_d , K_σ выбрать по Приложению 3.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

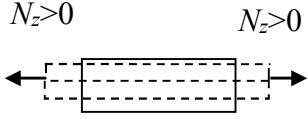
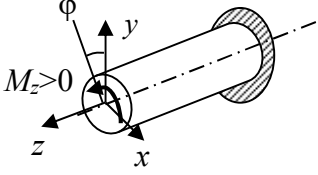
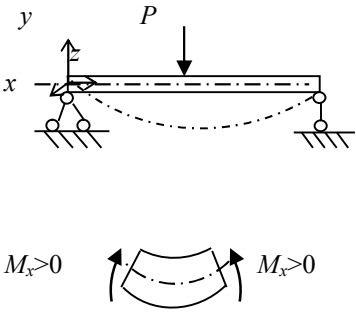
а) основная литература:

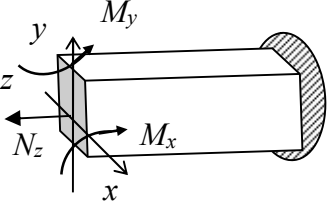
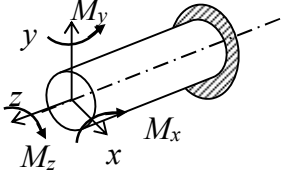
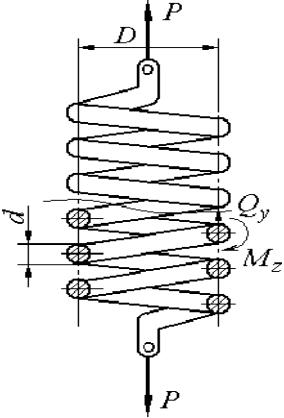
1. **Хроматов В. Е.** Лекции по сопротивлению материалов в структурно-логических схемах: учебное пособие / В. Е. Хроматов, О. В. Новикова – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – 260 с.
2. **Минин Л.С.** Сопротивление материалов. Расчетные и тестовые задания: учеб. пособие для академического бакалавриата /Л. С. Минин, Ю. П. Самсонов, В.Е. Хроматов – 3-е изд., испр. и доп.-М.: Издательство Юрайт, 2017.- 224 с.

б) дополнительная литература:

3. **Механика материалов и конструкций. Сборник задач:** Учебное пособие для вузов / Ю.А. Окопный, В. П. Радин, В. Е. Хроматов [и др.] – М.: Машиностроение, 2004. – 416 с.
4. **Механика материалов и конструкций. Основные формулы. Контрольные вопросы и задачи. Основоположники механики:** Учебное пособие / Ю.А. Окопный, В. П. Радин, В. Е. Хроматов, [и др.] – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.
5. **Статические и динамические расчеты элементов конструкций в вопросах и задачах: учебное пособие** / В.Е. Хроматов, О.В. Новикова, А.В. Бесова [и др.] под ред. В.Е. Хроматова. – М.: Издательство МЭИ, 2015. – 88 с.

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Вид деформации стержня	Напряжения, условие прочности	Деформация, условие жесткости
 <p>$N_z > 0$ $N_z > 0$</p>	$\sigma_{\max} = \frac{N_z}{F} \leq [\sigma]$	$\Delta l = \frac{N_z l}{EF},$ $\varepsilon = \frac{N_z}{EF} \leq [\varepsilon]$
 <p>$M_z > 0$</p>	$\tau = \frac{M_z r}{I_p}$ $\tau_{\max} = \frac{ M_z }{W_p} \leq [\tau]$ $I_p = \frac{\pi d^4}{32}, W_p = \frac{\pi d^3}{16}$	$\varphi = \frac{M_z l}{GI_p},$ $\theta = \frac{M_z}{GI_p} \leq [\theta]$
 <p>$M_x > 0$ $M_x > 0$</p>	$\sigma = -\frac{M_x}{I_x} y$ $\sigma_{\max} = \left \frac{M_x}{I_x} y_{\max} \right =$ $= \frac{ M_x }{W_x} \leq [\sigma]$	$\Delta_k = \int_0^l \frac{M_x \bar{M}_{1k}}{EI_x} dz$

	$\sigma = \sigma_{N_z} + \sigma_{M_x} + \sigma_{M_y} =$ $= \frac{N_z}{F} - \frac{M_x}{I_x} y - \frac{M_y}{I_y} x$ $\sigma_{\max} =$ $= \frac{ N_z }{F} + \frac{ M_x }{W_x} + \frac{ M_y }{W_y} \leq [\sigma]$	$\Delta_{ky} = \int_0^l \frac{M_x \bar{M}_{kx}}{EI_x} dz$ $\Delta_{kx} = \int_0^l \frac{M_y \bar{M}_{ky}}{EI_y} dz$
	$\sigma_{\text{экв}} = \frac{M_{\text{экв}}}{W_{\text{изг}}} =$ $= \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}}{\pi d^3 / 32} \leq [\sigma]$	
	$\tau_{\max} = \frac{8PD}{\pi d^3} \leq [\tau]$	$\delta = \frac{8PD^3 n}{Gd^4}$
<p style="text-align: center;">Формула Симпсона для вычисления интеграла Максвелла-Мора $\Delta_k = \int_0^l \frac{M_x \bar{M}_{1k}}{EI_x} dz =$</p> $= \frac{l}{6EI_x} \left[M_x(0) \cdot \bar{M}_{1k}(0) + 4M_x\left(\frac{l}{2}\right) \cdot \bar{M}_{1k}\left(\frac{l}{2}\right) + M_x(l) \cdot \bar{M}_{1k}(l) \right]$		

ТАБЛИЦЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Данные к задаче №1

№ варианта	a , м	b , м	c , м	Прокатный профиль
1	2,0	1,8	2,5	Швеллер № 12
2	2,0	2,0	1,8	Двутавр № 16
3	1,8	2,0	1,6	Швеллер № 14
4	2,0	1,7	1,5	Двутавр № 10
5	1,5	2,2	2,5	Швеллер № 18
6	1,8	2,0	2,0	Двутавр № 10
7	1,4	1,7	1,6	Швеллер № 12
8	1,8	2,0	1,8	Двутавр № 10
9	2,0	1,0	1,6	Швеллер № 10
10	1,5	1,8	2,0	Двутавр № 14
11	2,5	2,5	2,0	Швеллер № 16
12	1,6	2,0	1,5	Двутавр № 12
13	1,8	1,5	2,0	Швеллер № 10
14	2,0	1,7	1,6	Двутавр № 12
15	1,5	2,8	1,5	Швеллер № 10
16	2,0	2,0	2,2	Двутавр № 16
17	2,0	1,8	1,8	Швеллер № 10
18	1,1	2,2	1,6	Двутавр № 12
19	2,0	2,4	1,8	Швеллер № 14
20	1,0	1,8	1,5	Двутавр № 16
21	1,4	2,4	2,8	Швеллер № 10
22	2,0	2,0	2,3	Двутавр № 12
23	1,7	1,0	1,7	Швеллер № 14
24	1,9	2,7	1,7	Двутавр № 12
25	2,2	2,6	1,9	Швеллер № 12
26	1,8	2,8	1,9	Двутавр № 14
27	1,7	2,4	2,0	Швеллер № 14
28	1,5	1,5	1,5	Двутавр № 14
29	1,5	2,0	2,0	Швеллер № 10
30	1,4	2,0	2,0	Двутавр № 12

Данные к задаче №2

№ варианта	l_1 , см	l_2 , см	F_1 , см ²	F_2 , см ²	δ , мм	k
1	45	30	10	20	0,08	1,5
2	52	28	12	20	0,09	1,3
3	50	50	15	25	0,1	1,5
4	42	60	15	20	0,05	1,7
5	5	50	10	25	0,08	2,0
6	60	60	12	21	0,07	1,4
7	72	45	18	32	0,1	1,1
8	48	32	12	20	0,08	2,0
9	70	35	14	27	0,09	2,1
10	44	70	12	22	0,01	1,5
11	40	62	12	20	0,08	1,7
12	38	45	10	20	0,09	1,4
13	45	40	8	18	0,08	1,5
14	50	60	10	24	0,01	2,4
15	40	35	12	20	0,07	2,3
16	35	45	15	24	0,011	2,5
17	39	62	13	21	0,08	2,3
18	70	43	20	28	0,08	1,4
19	45	55	10	20	0,08	1,3
20	50	35	14	24	0,07	1,7
21	65	38	10	35	0,012	1,3
22	75	75	18	30	0,011	1,4
23	50	42	14	27	0,013	1,3
24	70	50	15	24	0,011	1,3
25	52	47	13	21	0,07	1,7
26	48	45	14	32	0,02	1,2
27	12	26	9	33	0,014	2,2
28	75	51	12	21	0,05	1,8
29	34	38	17	31	0,07	1,8
30	44	62	30	23	0,01	2,2

Данные к задаче №3

№ варианта	l_1 , см	l_2 , см	d_1 , см	d_2 , см	ϕ , град	ΔT , град
1	250	170	0,9	0,8	35	30
2	340	270	1,2	0,7	42	20
3	170	130	1,0	0,6	45	25
4	130	120	1,4	1,2	27	30
5	220	85	1,1	0,9	40	45
6	130	70	1,1	0,85	20	35
7	165	90	0,7	0,6	15	20
8	210	80	0,8	0,8	21	40
9	220	110	0,9	0,7	28	50
10	130	65	0,4	0,5	36	45
11	200	125	0,6	0,5	35	25
12	125	80	0,4	0,6	30	30
13	100	75	0,6	0,45	35	40
14	180	120	0,6	0,8	20	55
15	110	120	1,0	0,7	15	45
16	190	80	0,9	0,7	50	50
17	210	80	1,1	0,8	20	40
18	210	80	1,1	0,8	30	20
19	185	80	0,6	0,5	30	30
20	165	60	0,6	0,45	40	20
21	170	100	0,7	0,6	20	40
22	140	120	0,8	0,6	25	35
23	160	60	0,7	0,5	15	50
24	150	75	0,9	0,5	20	30
25	185	80	0,7	0,5	40	60
26	190	125	0,9	0,6	25	55
27	200	110	0,6	0,6	20	40
28	160	95	0,6	0,9	35	25
29	130	90	0,8	0,8	15	60
30	170	80	1,0	0,8	40	20

Данные к задаче №3а

№ варианта	l_1 , см	l_2 , см	d_1 , см	d_2 , см	φ , град	δ , см
1	250	170	0,9	0,8	35	0,1
2	340	270	1,2	0,7	42	0,05
3	170	130	1,0	0,6	45	0,1
4	130	120	1,4	1,2	27	0,12
5	220	85	1,1	0,9	40	0,15
6	130	70	1,1	0,85	20	0,05
7	165	90	0,7	0,6	15	0,08
8	210	80	0,8	0,8	21	0,2
9	220	110	0,9	0,7	28	0,05
10	130	65	0,4	0,5	36	0,08
11	200	125	0,6	0,5	35	0,06
12	125	80	0,4	0,6	30	0,09
13	100	75	0,6	0,45	35	0,07
14	180	120	1Д	0,8	20	0,1
15	110	120	1,0	0,7	15	0,15
16	190	80	0,9	0,7	50	0,1
17	210	80	1,1	0,8	20	0,08
18	210	80	1,1	0,8	30	0,06
19	185	80	0,6	0,5	30	0,15
20	165	60	0,6	0,45	40	0,2
21	170	100	0,7	0,6	20	0,25
22	140	120	0,8	0,6	25	0,3
23	160	60	0,7	0,5	15	0,07
24	150	75	0,9	0,5	20	0,1
25	185	80	0,7	0,5	40	0,15
26	190	125	0,9	0,6	25	0,14
27	200	110	0,6	0,6	20	0,1
28	160	95	0,6	0,9	35	0,12
29	130	90	0,8	0,8	15	0,15
30	170	80	1,0	0,8	40	0,05

Данные к задаче №4

№ варианта	M_1 , кНм	M_2 , кНм	l_1 , м	l_2 , м	c_1	c_2
1	10	15	0,4	0,6	0,9	0,8
2	15	10	0,5	0,4	0,9	0,8
3	12	20	0,3	0,8	0,85	0,75
4	13	18	0,4	0,6	0,85	0,75
5	18	10	0,5	0,6	0,8	0,7
6	20	10	0,6	0,4	0,8	0,7
7	19	15	0,4	0,6	0,75	0,65
8	18	11	0,5	0,6	0,75	0,65
9	10	20	0,5	0,8	0,7	0,6
10	11	19	0,3	0,5	0,7	0,6
11	14	25	0,5	0,6	0,85	0,75
12	16	10	0,4	0,8	0,85	0,75
13	18	10	0,6	0,6	0,9	0,8
14	17	12	0,3	0,7	0,9	0,8
15	15	10	0,3	0,6	0,85	0,8
16	20	15	0,5	0,4	0,85	0,75
17	18	12	0,4	0,6	0,8	0,65
18	17	11	0,4	0,7	0,9	0,7
19	14	10	0,6	0,5	0,85	0,8
20	13	20	0,6	0,4	0,85	0,8
21	12	19	0,22	0,8	0,9	0,7
22	15	10	0,4	0,3	0,9	0,7
23	20	15	0,4	0,5	0,95	0,6
24	18	10	0,5	0,4	0,95	0,6
25	20	15	0,4	0,5	0,9	0,7
26	18	18	0,4	0,7	0,85	0,7
27	18	22	0,34	0,7	0,85	0,7
28	15	14	0,3	0,6	0,7	0,9
29	16	14	0,5	0,5	0,95	0,95
30	20	10	0,2	0,5	0,9	0,55

Данные к задаче №5

№ варианта	$G, 10^5$ МПа	$[\tau],$ МПа	$P,$ Н	$\delta_0,$ мм	χ
1	0,8	200	60	4	8
2	1,0	250	65	2	12
3	0,85	250	70	2,5	11
4	0,9	250	75	3	10
5	0,8	300	80	3,6	9
6	0,85	300	75	4	8
7	0,7	280	70	4,5	7
8	0,85	280	65	5	6
9	0,75	260	60	5,5	7
10	0,7	260	55	6	8
11	0,9	240	50	5,5	9
12	0,95	240	45	5	10
13	0,85	220	40	4,5	11
14	0,95	220	45	4	12
15	0,85	220	50	3,5	11
16	0,95	200	55	3	10
17	0,8	220	60	2,5	9
18	0,85	220	65	2	8
19	0,8	240	70	2,5	7
20	0,8	240	75	3	6
21	0,85	260	80	3,5	7
22	0,8	260	75	4	8
23	0,8	260	70	4,5	9
24	0,9	280	65	5	10
25	0,8	200	55	3	7
26	1,0	250	70	6	9
27	0,85	250	50	4,5	10
28	0,9	250	75	4	8
29	0,8	300	75	5	8
30	0,85	300	60	6	12

Данные к задаче №6

№ варианта	<i>l</i>, м	<i>a</i>, м	<i>b</i>, см	<i>h</i>, см	<i>k</i>
1	0,8	0,2	3,0	14	0,2
2	1,0	0,3	4,2	12	0,4
3	1,2	0,4	5,2	10	0,3
4	1,4	0,6	6,0	12	0,25
5	1,6	0,8	7,0	16	0,4
6	1,8	1,0	8,5	14	0,35
7	2,0	1,0	9,0	16	0,25
8	2,2	1,0	9,5	28	0,4
9	2,4	0,8	3,0	20	0,4
10	2,6	0,6	4,5	22	0,35
11	2,8	0,4	5,0	26	0,3
12	3,0	0,2	6,2	28	0,4
13	3,0	0,2	7,5	30	0,4
14	2,8	0,3	8,4	25	0,3
15	2,6	0,4	9,0	20	0,25
16	2,4	0,5	3,0	15	0,3
17	2,2	0,6	4,5	20	0,4
18	2,0	0,7	5,0	22	0,3
19	1,8	0,8	6,5	24	0,25
20	1,6	1,0	7,5	26	0,35
21	1,4	0,7	8,0	30	0,4
22	1,2	0,9	9,6	25	0,35
23	1,0	0,8	3,4	22	0,2
24	0,8	1,0	5,0	24	0,4
25	0,9	0,8	5,6	26	0,35
26	1,2	0,6	8,9	24	0,35
27	1,4	0,9	9	24	0,4
28	1,4	1,0	7,4	28	0,2
29	2,0	0,7	8,6	22	0,25
30	1,8	1,0	7	26	0,4

Данные к задаче №7

№ варианта	P , кН	a , м	b , м	$[n]$	T_1 , град	T_2 , град	T_0 , град
1	4	0,5	0,25	1,5	20	40	25
2	5	0,55	0,3	1,6	30	20	10
3	6	0,6	0,35	1,7	40	20	15
4	7	0,65	0,4	1,8	50	10	20
5	8	0,7	0,45	1,9	60	20	10
6	9	1,75	0,5	2,0	25	15	20
7	10	1,8	0,6	2,1	35	45	30
8	11	1,85	0,55	2,2	45	65	25
9	12	0,85	0,65	2,3	55	25	15
10	13	0,95	0,55	2,4	65	35	10
11	14	1,0	0,65	1,4	-10	0	10
12	15	1,1	0,5	1,5	-20	10	15
13	16	1,15	0,55	1,6	-30	-10	20
14	15	1,2	0,45	1,7	-40	-20	10
15	15	1,1	0,5	1,8	-50	-30	0
16	14	1,0	0,55	1,9	-25	0	10
17	13	0,9	0,6	2,0	-35	-15	0
18	12	0,8	0,65	2,1	45	-20	5
19	11	0,7	0,7	2,2	-20	-10	-5
20	10	0,6	0,4	2,3	-10	0	10
21	9	0,5	0,3	2,2	60	20	10
22	8	0,4	0,25	2,1	50	10	15
23	7	0,8	0,2	2,0	40	20	25
24	6	0,5	0,4	1,9	20	10	0
25	5	0,5	0,25	1,8	30	0	10
26	4	0,55	0,3	1,7	-25	-35	15
27	5	0,6	0,35	1,6	-15	40	-5
28	6	0,65	0,4	1,5	40	-15	5
29	7	0,7	0,45	1,7	25	0	0
30	8	1,75	0,5	1,8	30	-25	20

Данные к задаче №8

№ варианта	l_1 , м	l_2 , м	d , см	b , см	P , кН	κ	$c=b/h,$ $c=d_0/d$
1	0,8	0,4	5	2	2	0,5	0,6
2	0,9	0,5	6	3	10	0,6	0,62
3	1,0	0,6	7	4	3	0,7	0,64
4	1,1	0,7	8	5	4	0,8	0,66
5	1,2	0,8	9	2,5	5	0,9	0,68
6	1,3	0,9	10	3,5	6	1,0	0,7
7	1,4	1,0	5	4,5	7	1,1	0,72
8	1,5	1,1	6	5,5	8	1,2	0,74
9	1,6	0,8	7	2,2	9	1,3	0,76
10	1,5	0,7	8	2,4	10	1,4	0,78
11	1,4	0,6	9	2,6	1,5	1,5	0,8
12	1,3	0,5	10	2,8	2,5	1,6	0,82
13	1,2	0,4	5	3,0	3,5	1,7	0,84
14	1,0	0,3	6	2,8	4,5	1,8	0,86
15	0,9	0,9	7	2,6	5,5	1,9	0,88
16	0,8	0,7	8	2,4	6,5	2,0	0,9
17	0,7	0,8	5	2,2	7,5	0,4	0,55
18	0,5	0,4	6	2,0	8,5	0,3	0,65
19	0,6	0,8	7	2	9,5	0,5	0,75
20	0,7	0,9	8	3	10,5	0,6	0,85
21	0,8	1,0	6	4	7	0,7	0,9
22	0,7	1,2	7	5	8	0,8	0,85
23	0,6	1,1	4	2,5	9	1,0	0,75
24	0,5	1,5	5	3,5	10	0,9	0,65
25	0,9	1,2	7	3,2	8	0,6	0,55
26	0,5	0,7	4	2,6	10,5	0,4	0,85
27	0,7	1,3	8	2,8	7	0,9	0,75
28	0,8	1,1	6	3,7	9	0,6	0,6
29	0,7	0,9	9	4,4	7,5	0,8	0,9
30	0,9	1,2	10	3,8	9	0,7	0,85

Данные к задаче №9

№ варианта	Двутавр/швеллер, номер	Уголок равнобокий, номер	[σ], МПа
1	40	8	150
2	16	9	160
3	33	10	170
4	30	12,5	180
5	16	14	190
6	10	16	200
7	36	20	150
8	27	5/3,2	160
9	24	6,3/4	170
10	30	7/4,5	180
11	12	8/5,0	190
12	33	9/5,6	200
13	20	10/6,3	190
14	12	12,5/8	180
15	20	14/9	170
16	10	16/10	160
17	24	18/11	150
18	14	5	200
19	40	8	190
20	16	9	160
21	22	10	170
22	12	14	180
23	16	16	200
24	16	20	190
25	14	18/11	150
26	27	16/10	170
27	16	14/9	150
28	12	10/6,3	180
29	18	9/5,6	190
30	20	8/5,0	200

Данные к задаче №10

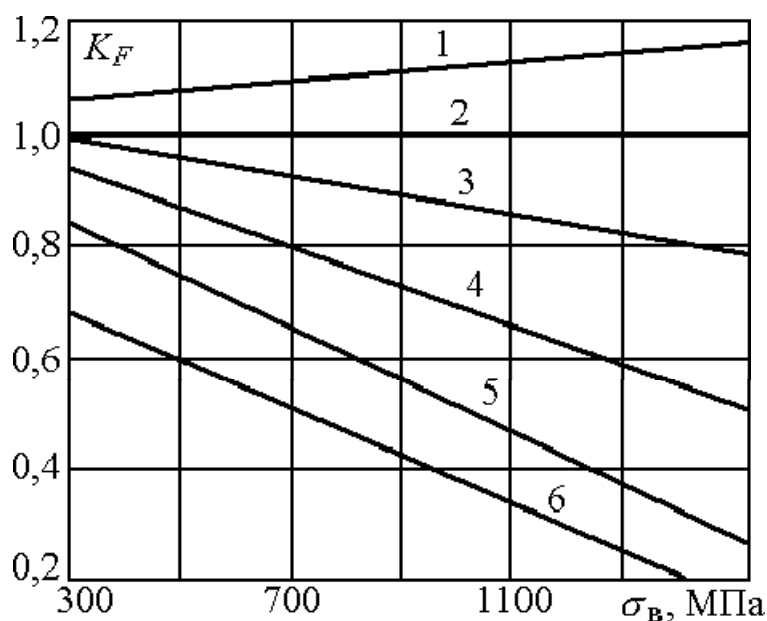
№ варианта	N, кВт	n ₀ , об/мин	Сталь марки	Критерий прочности	γ	a, м	D ₁ , м	D ₂ , м
1	10	1000	10	Сен-Венана	0,5	1,1	0,20	0,35
2	20	1200	20	Мизеса	0,6	0,7	0,30	0,40
3	15	1500	30	Сен-Венана	0,7	1,3	0,25	0,20
4	14	1300	35	Мизеса	0,8	0,8	0,35	0,25
5	16	1400	40	Сен-Венана	1,2	0,9	0,25	0,35
6	12	1100	45	Мизеса	1,4	1,4	0,30	0,30
7	18	1000	50	Сен-Венана	1,5	1,0	0,40	0,40
8	20	1100	60	Мизеса	1,6	1,1	0,35	0,45
9	10	1200	20	Сен-Венана	0,6	1,2	0,40	0,20
10	17	1300	30	Мизеса	0,8	1,6	0,20	0,30
11	15	1400	35	Сен-Венана	0,5	1,7	0,25	0,25
12	13	1500	50	Мизеса	1,0	1,2	0,35	0,35
13	18	1600	45	Сен-Венана	1,5	1,4	0,30	0,30
14	14	1000	30	Мизеса	1,4	1,6	0,40	0,40
15	20	1100	10	Сен-Венана	1,2	1,3	0,45	0,45
16	14	1200	20	Мизеса	0,5	1,5	0,20	0,20
17	16	1300	30	Сен-Венана	0,6	1,2	0,25	0,25
18	10	1400	35	Мизеса	1,4	1,0	0,30	0,30
19	20	1500	40	Сен-Венана	1,2	1,6	0,35	0,35
20	25	1600	45	Мизеса	1,1	1,4	0,40	0,40
21	15	1200	50	Сен-Венана	0,7	1,5	0,45	0,45
22	22	1100	30	Мизеса	0,8	1,3	0,35	0,35
23	24	1200	20	Сен-Венана	0,6	1,2	0,25	0,25
24	17	1300	40	Мизеса	0,9	1,1	0,20	0,20
25	19	1400	45	Сен-Венана	1,4	1,0	0,30	0,30
26	13	1200	30	Мизеса	1,5	1,2	0,4	0,6
27	17	1000	35	Сен-Венана	0,5	1,6	0,20	0,25
28	19	1700	40	Мизеса	0,6	1,4	0,25	0,30
29	20	1600	10	Сен-Венана	0,7	1,5	0,30	0,35
30	10	1300	60	Мизеса	0,8	1,3	0,35	0,40

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Механические характеристики стали

Марка стали	σ_B , МПа	σ_T , МПа	Изгиб, МПа		Растяжение, МПа		Кручение, МПа		
			σ_{-1}	σ_0	σ_{-1}	σ_0	τ_T	τ_{-1}	τ_0
10	340	210	160	210	120	170	125	80	100
20	420	250	170	250	120	210	120	100	130
30	500	300	200	300	170	250	185	110	150
35	540	320	220	320	170	270	195	130	160
40	580	340	230	340	180	290	210	140	170
45	610	360	250	360	190	300	225	150	180
50	640	380	270	380	200	320	240	160	190
60	690	410	310	410	220	340	-	180	210

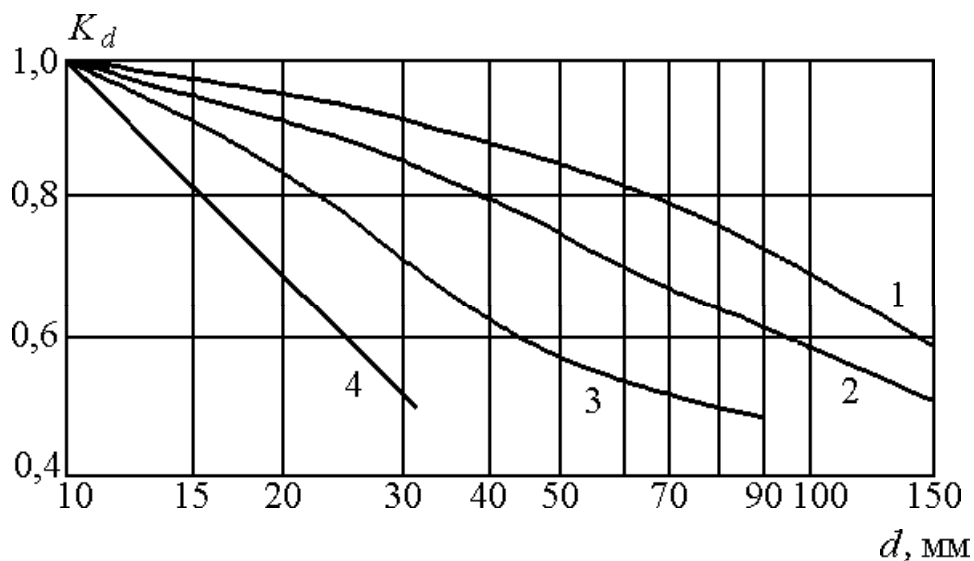
Коэффициент состояния поверхности K_F
в зависимости от предела прочности σ_B



Кривые 1 – 6 соответствуют следующим случаям обработки поверхности:

- 1,2 - полированная и шлифованная поверхности;
- 3 - поверхность, обработанная резцом;
- 4 - поверхность с мелкой насечкой;
- 5 - поверхность, необработанная после прокатки;
- 6 - поверхность, корродированная в пресной воде.

Масштабный коэффициент K_d в зависимости от диаметра детали



Кривые построены для следующих случаев: **1** - углеродистая сталь при отсутствии концентрации напряжений; **2** - легированная сталь при отсутствии концентрации напряжений, сталь при умеренной концентрации напряжений; **3** - легированная сталь при умеренной концентрации напряжений; **4** - сталь при высокой концентрации напряжений

Эффективный коэффициент концентрации напряжений K_σ

Предел прочности σ_B , МПа	400	500	600	700	800	900	1000
K_σ	1,75	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА СЕМЕСТРА

Недели	Лекции	Темы практических занятий	Выполнение задач КП
1	Внутренние силы, напряжения. Виды деформации стержней.	Расчет фермы. Статически определимые системы при растяжении (сжатии).	Выдача заданий ч. I
2	Растяжение (сжатие). Закон Гука.	Статически неопределимые системы при растяжении (сжатии).	№1
3	Статически неопределимые стержневые системы при растяжении (сжатии).	Определение температурных и монтажных усилий в стержнях.	№ 2
4	Кручение стержней кругового сечения.	Расчеты при кручении. Контрольная работа (1 час)	№3
5	Кручение стержней прямоугольного сечения. Расчет пружин.	Расчет пружин.	№ 4
6	Геометрические характеристики сечений. Изгиб стержней.	Изгиб балок. Расчеты на прочность.	№ 5
7	Напряжения при изгибе. Расчеты на прочность.	Контрольная работа. Защита ч. I	Сдача ч. I. Выдача заданий ч. II
8	Перемещения при изгибе. Универсальное уравнение упругой кривой.	Перемещения при изгибе. Универсальное уравнение упругой кривой.	№ 6.1-3
9	Формулы Максвелла-Мора, Симпсона. Температурные напряжения при изгибе.	Расчет плоских рам.	№6.4
10	Косой изгиб. Внецентренное растяжение (сжатие).	Определение перемещений в плоских рамах.	№ 7.1-3
11	Нейтральная линия. Сочетание изгиба с кручением.	Косой изгиб, внецентренное растяжение-сжатие	№7.4
12	Расчеты на выносливость. Кривая усталости Веллера.	Сочетание изгиба с кручением. Контрольная работа (1 час)	№ 8
13	Диаграмма Хейга. Расчет вращающегося вала.	Расчеты на выносливость.	№ 9
14	Тензор напряжений. Обобщенный закон Гука.	Расчет вращающегося вала.	№ 10
15	Потенциальная энергия упругой деформации.	Контрольная работа. Защита ч. II.	Сдача ч. II
16	Критерии прочности Сен-Венана, Мизеса, Мора.	Зачетное занятие	

Учебное издание

Хроматов Василий Ефимович
Новикова Ольга Валерьевна
Бесова Анастасия Вячеславовна
Позняк Елена Викторовна

**РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Редактор издательства
Компьютерная верстка

Темплан издания МЭИ 2021

Печать офсетная Формат 60x84/16

Изд.№ Заказ

Подписано в печать

Физ. печ. л. Тираж 100

Оригинал-макет подготовлен в РИО НИУ «МЭИ».

111250, Москва, Красноказарменная, д.14

Отпечатано в типографии НИУ «МЭИ».

111250, Москва, Красноказарменная, д.13