

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

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

**ПРОЧНОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ, КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Курсовое проектирование

Методические указания к курсовому проектированию

по курсу

“Механика материалов и конструкций”

для студентов, обучающихся по направлениям
«Энергетическое машиностроение», «Прикладная механика», «Машино-
строение», «Мехатроника и робототехника»

Москва
Издательство МЭИ
2018

УДК 539.4

ББК

30.121

X-941

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

Подготовлено на кафедре робототехники, мехатроники,
динамики и прочности машин

Рецензент — В.П. Радин, канд. техн. наук, профессор кафедры
РМДПМ НИУ «МЭИ»

Хроматов В.Е.

X 941 Прочность, устойчивость, колебания элементов машиностроительных конструкций. / В.Е. Хроматов, О.В. Новикова, Е.В. Позняк, А.Б. Бесова. – М.: Издательство МЭИ, 2018. - 20 с.

Представлены задачи расчетов на прочность и жесткость при силовом нагружении таких элементов конструкций, как стержневые статически неопределимые системы; толстостенные трубопроводы; тонкостенные оболочки вращения, рассчитываемые по безмоментной теории и при осесимметричном изгибе; круговые пластины, задачи устойчивости стержней. Динамические задачи рассматриваются на примерах определения критических скоростей вращающихся валов и собственных частот изгибных колебаний стержней с распределенной массой.

Пособие предназначено для студентов 2 курса Института Энергомашиностроения и механики, обучающихся по направлениям 13.03.03 Энергетическое машиностроение, 15.03.01 Машиностроение, 15.03.03 Прикладная механика, 15.03.06 Мехатроника и робототехника.

УДК 539.4
ББК 30.121

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
ЧАСТЬ 1. СТАТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ.....	4
ЧАСТЬ 2. ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ.....	5
Список рекомендованной литературы	7
Приложения.....	8

ВВЕДЕНИЕ

Указания по выполнению и оформлению расчетного задания

Курсовой проект состоит из двух частей. Каждая часть проекта выполняется в сроки, указанные преподавателем. Расчетная часть проекта оформляется на листах бумаги формата А4 (210x297мм) в соответствии с пунктами, приведенными в каждой задаче. Все схемы, эпюры (графики), рисунки выполняются на отдельных листах бумаги формата А4. Рисунки должны иметь заголовки или подрисуночную подпись.

Числовые данные для выданных схем расчета берутся из таблиц исходных данных (см. прил. 2), приводятся в тексте задачи при изложении её решения и непосредственно на чертежах и рисунках в расчетно-пояснительной записке.

Выданные схемы задания подшиваются к соответствующей части проекта. Проект без схем не принимается.

Вычисления и построение эпюр (графиков) рекомендуется проводить с использованием программного обеспечения персональных компьютеров: MathCAD, Matlab и т.п. В этом случае к расчетной записке необходимо приложить распечатку программы вычислений на ПК.

После проверки задач проекта преподавателем студент должен внести исправления в соответствии со сделанными замечаниями и сдать вновь расчет с работой над ошибками. Каждая часть проекта засчитывается после выполнения контрольной работы.

Часть 1. СТАТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Задача № 1

Произвести проектирование перекрытия строительной конструкции, представленной дважды статически неопределимой балкой.

1. Рассмотреть два варианта основной системы, один из которых получен путем включения врезных шарниров, а другой – при непосредственном отбрасывании лишних связей. Построить эпюры единичных моментов и выбрать оптимальный вариант основной системы.
2. Построить эпюры грузовых изгибающих моментов, вычислить коэффициенты канонических уравнений метода сил, решить уравнения относительно лишних неизвестных.
3. Построить эпюры изгибающих моментов. Провести деформационную проверку путем перемножения эпюры изгибающих моментов и эпюр единичных сил. Оценить погрешность расчетов (допускается погрешность не более 5%).
4. Из расчета на прочность по нормальным напряжениям изгиба подобрать поперечное сечение балки стандартного прокатного профиля (двутавр или швеллер).
5. Вычислить перемещение точки К.
Принять $[\sigma]=160$ МПа, $E=2 \cdot 10^5$ МПа.

Задача № 2

Плоская рама изготовлена из стержней стандартного прокатного профиля и нагружена внешними силами. Материал стержней — сталь, $E=2 \cdot 10^5$ МПа, $\sigma_T = 240$ МПа.

1. Методом сил раскрыть статическую неопределимость рамы.
2. Построить эпюры внутренних силовых факторов N_z , Q_y , M_x .
3. Определить коэффициент запаса прочности рамы по нормальным напряжениям.
4. Для линейного закона изменения температуры по высоте поперечного сечения рамы определить перемещения точки К от температурного воздействия.

Указание: Применить формулу Максвелла–Мора, учесть продольную и изгибную температурные деформации. Принять начальную монтажную температуру $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$, температуру наружной и внутренней поверхности рамы $T_1 = 5^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 40^{\circ}\text{C}$, $\alpha=1,25 \cdot 10^{-5}$ $1/^{\circ}\text{C}$.

Задача № 3

1. Привести уравнения равновесия в напряжениях и в перемещениях для осесимметричной задачи теории упругости, общее решение задачи в перемещениях и напряжениях.
2. Для заданной схемы нагружения цилиндрического тела давлением p записать граничные условия и решить краевую задачу: определить постоянные интегрирования и выписать решение задачи через параметр давления p .
3. По заданному критерию прочности определить допускаемое значение давления $[p]$.
4. При найденном значении давления $[p]$ построить эпюры радиальных и окружных напряжений σ_r , σ_θ и радиальных перемещений $u(r)$. (Принять $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\nu = 0,3$).
5. В опасной точке цилиндра выделить элемент и указать действующие на его гранях радиальные и окружные напряжения.

Задача № 4

Тонкостенный резервуар с толщиной стенок h заполнен жидкостью плотностью ρ и нагружен давлением газа p_0 .

1. Используя безмоментную теорию для оболочек вращения – уравнение Лапласа и метод сечений построить эпюры меридиональных и окружных напряжений по участкам.
2. По заданному критерию прочности определить толщину стенки резервуара.

Задача № 5

1. Привести уравнение осесимметричной изгибной деформации оболочки и решение типа краевого эффекта для прогибов, углов поворотов сечений оболочки, изгибающих моментов и поперечных сил. Для заданной расчетной схемы стальной оболочки оценить длину зоны краевого эффекта $x_{кэ} \approx \lambda \approx 2.5\sqrt{Rh}$.
2. Записать граничные условия и определить постоянные интегрирования аналитически или численно (с использованием математического пакета MathCAD или Matlab).
3. Аналитически или численно построить решение для прогибов и изгибающих моментов и соответствующие эпюры (графики) $w(x)$, $M_x(x)$ в области краевого эффекта $0 \leq x \leq x_{кэ}$.
4. Проверить прочность оболочки по критерию Сен-Венана.

Часть II. ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ

Задача № 6

В качестве расчетной схемы элемента парогенератора принимается круговая (кольцевая) пластина постоянной толщины, нагруженная осесимметричной нагрузкой.

1. Привести уравнение изгиба пластин и его решение для прогибов, углов поворотов и изгибающих моментов в полярных координатах.
2. Для заданной расчетной схемы записать граничные условия и определить постоянные интегрирования аналитически или численно (с использованием математического пакета MathCAD или Matlab).
3. Аналитически или численно построить решение для прогибов, радиальных и окружных изгибающих моментов и соответствующие эпюры (графики) $w(r)$, $M_r(r)$, $M_\theta(r)$.
4. Для опасных точек определить радиальные и окружные напряжения изгиба, показать вид напряженного состояния в опасных точках.
5. Из расчетов на прочность и жесткость определить допускаемое значение внешней нагрузки.

Задача № 7

Прямолинейный стальной стержень нагружен осевой силой P .

1. Дать определение критической силы для сжатого стержня, определение гибкости стержня, понятие предельной гибкости. Привести формулы для расчета критической силы в зависимости от его гибкости.
2. Для стержня составного сечения подобрать размер c из условия равноустойчивости стержня относительно главных центральных осей.
3. Из расчета на устойчивость по коэффициенту продольного изгиба $\varphi(\lambda)$ определить допускаемое значение внешней силы P .
Принять $[\sigma]=160$ МПа.

Задача № 8

Промежуточный вал редуктора вращается с постоянной частотой вращения. На вал посажены диски массами M_1 , M_2 с эксцентриситетами ε_1 и ε_2 , лежащими в одной плоскости.

1. Рассматривая вал с дисками как систему с двумя степенями свободы, записать уравнения малых вынужденных колебаний вала.
2. Вычислить частоты собственных колебаний ω_1 , ω_2 и соответствующие им критические числа оборотов вала n_1 , n_2 .

3. Вычислить амплитуды смещений дисков вращающегося вала при рабочем числе оборотов, равном $n_{\text{раб}} = (n_1 + n_2)/2$, и наибольшие напряжения изгиба в поперечных сечениях вала.
4. Вывести формулы для прогибов вала в местах крепления дисков в зависимости от угловой частоты вращения вала. Построить амплитудно-частотные характеристики системы (выполняется факультативно).

Задача № 9

1. Для заданного стержня постоянного поперечного сечения привести уравнение свободных изгибных колебаний, его решение в общем виде и записать граничные условия, соответствующие предложенной схеме.
2. Используя справочные данные, выписать соотношения для частот свободных изгибных колебаний, привести значения первых трех корней частотного уравнения.
3. Произвести подбор размеров поперечного сечения стержня из условия ограничения первой собственной частоты колебаний $\omega_1 < [\omega] = 1000$ Гц.
4. Вычислить вторую и третью частоты колебаний стержня, привести соответствующие им формы колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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.

2. **Минин Л.С.** Расчетные и тестовые задания по сопротивлению материалов: Учебное пособие для вузов /Л. С. Минин, В. Е. Хроматов, Ю. П. Самсонов –М.: Высшая школа, 2-е изд., 2008.

3. **Окопный Ю.А.**, Механика материалов и конструкций. Сборник задач: Учебное пособие для вузов/ Ю.А. Окопный, В. П. Радин, В. Е. Хроматов, В. П. Чирков. – М.: Машиностроение, 2004.

4. **Окопный Ю.А.**, Механика материалов и конструкций. Основные формулы. Контрольные вопросы и задачи. Основоположники механики: Учебное пособие / Ю.А. Окопный, В. П. Радин, В. Е. Хроматов, В. П. Чирков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008

5. **Хроматов В. Е.** Статические и динамические расчеты элементов конструкций в вопросах и задачах: учебное пособие / В. Е. Хроматов, О. В. Новикова, А.В. Бесова и др. – М.: Издательство МЭИ, 2015.

6. **Позняк Е.В.** Статические и динамические расчеты элементов энергомашиностроительных конструкций в примерах: учебное пособие/

Е.В. Позняк, В.П. Радин, О.В. Новикова, В.Е. Хроматов, Н.Л. Стрельникова, С.И. Коломенский, О.А. Бабин, А.Н. Серветник, А.В. Сальников
М.: Издательство МЭИ, 2017.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Основные расчетные формулы

1. Осесимметричная задача теории упругости для вращающихся цилиндров и дисков.

Решение для перемещений: $u(r) = C_1 r + C_2 \frac{1}{r} - \rho \omega^2 r^3 \frac{(1-\nu^2)}{8E}$.

Решение для напряжений:

$$\sigma_r(r) = \frac{E}{1-\nu^2} \left(C_1(1+\nu) - C_2 \frac{(1-\nu)}{r^2} \right) - \frac{\rho \omega^2 r^2}{8} (3+\nu);$$

$$\sigma_\theta(r) = \frac{E}{1-\nu^2} \left(C_1(1+\nu) + C_2 \frac{(1-\nu)}{r^2} \right) - \frac{\rho \omega^2 r^2}{8} (1+3\nu);$$

C_1, C_2 – постоянные интегрирования, определяемые из граничных условий.

Частные случаи решения задачи:

1.1. Вращающийся ненагруженный диск с отверстием.

Граничные условия: $\sigma_r(r_1) = 0$, $\sigma_r(r_2) = 0$.

$$u(r) = \frac{(1-\nu^2)}{E} \frac{\rho \omega^2}{8} \left(\frac{(3+\nu)}{(1+\nu)} (r_1^2 + r_2^2) r + \frac{(3+\nu)}{(1-\nu)} \frac{r_1^2 r_2^2}{r} - r^3 \right);$$

$$\sigma_r = \frac{(3+\nu) \rho \omega^2}{8} \left(r_1^2 + r_2^2 - \frac{r_1^2 r_2^2}{r^2} - r^2 \right);$$

$$\sigma_\theta = \frac{(3+\nu) \rho \omega^2}{8} \left(r_1^2 + r_2^2 + \frac{r_1^2 r_2^2}{r^2} - \frac{(1+3\nu)}{(3+\nu)} r^2 \right).$$

1.2. Сплошной вращающийся диск радиуса R . Граничные условия:

$\sigma_r(0) < \infty \Rightarrow C_2 = 0$; $\sigma_r(R) = 0$.

$$u(r) = \frac{\rho \omega^2 (1-\nu^2)}{8E} \left(\frac{(3+\nu)}{(1+\nu)} R^2 r - r^3 \right);$$

$$\sigma_r = \frac{(3+\nu) \rho \omega^2}{8} (R^2 - r^2); \quad \sigma_\theta = \frac{(3+\nu) \rho \omega^2}{8} \left(R^2 - \frac{(1+3\nu)}{(3+\nu)} r^2 \right).$$

1.3. Невращающийся цилиндр, нагруженный наружным и внутренним сжимающим давлением: $\omega = 0$, граничные условия: $\sigma_r(r_1) = -p_1$,

$$\sigma_r(r_2) = -p_2.$$

$$u(r) = \frac{(1-\nu)(p_1r_1^2 - p_2r_2^2)}{E(r_2^2 - r_1^2)}r + \frac{(1+\nu)(p_1 - p_2)r_1^2r_2^2}{E(r_2^2 - r_1^2)}\frac{1}{r};$$

$$\sigma_{r,\theta} = \frac{(p_1r_1^2 - p_2r_2^2)}{(r_2^2 - r_1^2)} \mp \frac{(p_1 - p_2)r_1^2r_2^2}{(r_2^2 - r_1^2)}\frac{1}{r^2};$$

осевые напряжения для закрытого цилиндра: $\sigma_z = \frac{(p_1r_1^2 - p_2r_2^2)}{(r_2^2 - r_1^2)}$.

1.4. Невращающийся диск с жестким закреплением внутренней поверхности и нагруженный внешним растягивающим давлением p : $\omega = 0$, граничные условия: $u(r_1) = 0$, $\sigma_r(r_2) = p$.

$$u(r) = \frac{(1-\nu^2)}{E} \frac{pr_2^2}{(1+\nu)r_2^2 + (1-\nu)r_1^2} \left(r - \frac{r_1^2}{r} \right);$$

$$\sigma_{r,\theta} = \frac{pr_2^2}{(1+\nu)r_2^2 + (1-\nu)r_1^2} \left((1+\nu) \pm \frac{r_1^2}{r^2} (1-\nu) \right).$$

2. Безмоментная деформация оболочек, содержащих жидкость.

2.1. Сегмент сферической оболочки.

$$V_{сез} = \pi z^2 \left(R - \frac{z}{3} \right), \quad \sigma_{m,\theta} = \frac{\gamma R}{2h} \left((H - z) \pm \frac{z(3R - z)}{3(2R - z)} \right).$$

2.2. Коническая оболочка.

$$\sigma_m = \frac{\gamma z \left(H - \frac{2}{3}z \right) \operatorname{tg} \alpha}{2h \cos \alpha}, \quad \sigma_\theta = \frac{\gamma z (H - z) \operatorname{tg} \alpha}{h \cos \alpha}.$$

H – приведенная высота столба жидкости: $H = \left(H_0 + \frac{p_0}{\gamma} \right)$,

где H_0 – высота столба жидкости, p_0 – избыточное газовое давление.

3. Осесимметричная деформация цилиндрической оболочки. Решение типа краевого эффекта.

$$w(x) = w_0(x) + w_*(x) = C_1 e^{-kx} \cos kx + C_2 e^{-kx} \sin kx + w_*(x),$$

$$k = \left(\frac{Eh}{4DR^2} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}, \quad w_*(x) = \frac{R^2}{Eh} \left(p(x) - \nu \frac{N_x}{R} \right),$$

$$\phi = \frac{dw}{dx} = \frac{dw_*}{dx} - ke^{-kx} \left((C_1 - C_2) \cos kx + (C_1 + C_2) \sin kx \right),$$

$$M_x = D \frac{d^2 w}{dx^2} = D \left(\frac{d^2 w_*}{dx^2} + 2k^2 e^{-kx} (C_1 \sin kx - C_2 \cos kx) \right),$$

$$Q = \frac{dM_x}{dx} = D \frac{d^3 w}{dx^3} = D \left(\frac{d^3 w_*}{dx^3} + 2k^3 e^{-kx} \left((C_1 + C_2) \cos kx - (C_1 - C_2) \sin kx \right) \right),$$

$$M_y = \nu M_x, \quad N_y = \left(\nu N_x + \frac{Eh}{R} w(x) \right), \quad \sigma_x = \frac{N_x}{h} \pm \frac{6M_x}{h^2}, \quad \sigma_y = \frac{N_y}{h} \pm \frac{6M_y}{h^2}.$$

4. Осесимметричный изгиб круговых пластин.

$$w(r) = C_1 + C_2 r^2 + C_3 \ln r + C_4 r^2 \ln r + w_*, \quad w_* = \frac{p_0 r^4}{64D},$$

$$\phi = -\frac{dw}{dr} = -\left(2C_2 r + C_3 \frac{1}{r} + C_4 r(1 + 2 \ln r) + \frac{p_0 r^3}{16D} \right);$$

$$M_r = D \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{\nu}{r} \frac{dw}{dr} \right) =$$

$$= D \left(2C_2(1 + \nu) - C_3 \frac{(1 - \nu)}{r^2} + C_4 \left((3 + \nu) + 2(1 + \nu) \ln r \right) \right) + \frac{p_0 r^2}{16} (3 + \nu);$$

$$M_\theta = D \left(\frac{1}{r} \frac{dw}{dr} + \nu \frac{d^2 w}{dr^2} \right) =$$

$$= D \left(2C_2(1 + \nu) + C_3 \frac{(1 - \nu)}{r^2} + C_4 \left((1 + 3\nu) + 2(1 + \nu) \ln r \right) \right) + \frac{p_0 r^2}{16} (1 + 3\nu);$$

$$Q = D \left(\frac{d^3 w}{dr^3} + \frac{1}{r} \frac{d^2 w}{dr^2} - \frac{1}{r^2} \frac{dw}{dr} \right) = \left(4C_4 \frac{D}{r} + \frac{p_0 r}{2} \right);$$

$$\sigma_r = \pm \frac{6M_r}{h^2}; \quad \sigma_\theta = \pm \frac{6M_\theta}{h^2}.$$

Приложение 2

Исходные данные к задачам

Данные к задаче №1

№ варианта	l , м	a , м	b , м	c , м	P_1 , кН	P_2 , кН	P_3 , кН
1	5.5	1.5	1.8	1.0	150	200	18
2	5.8	1.2	1.5	1.3	200	150	16
3	6.2	1.0	1.5	1.5	120	200	15
4	5.5	1.3	1.7	1.2	100	120	8
5	4.8	1.1	1.5	1.0	50	130	15
6	6.8	1.0	1.0	1.2	120	60	20
7	6.0	1.7	0.9	1.5	200	100	15
8	5.5	1.5	1.7	1.5	140	120	8
9	6.0	1.3	0.9	1.5	150	170	21
10	6.6	1.3	0.9	1.6	130	200	15
11	5.5	1.4	1.5	1.0	150	150	10
12	5.0	1.2	1.0	1.3	250	100	10
13	5.6	1.8	1.2	0.9	140	180	12
14	5.9	1.3	1.0	1.2	170	100	15
15	6.5	1.8	1.5	1.0	180	100	18
16	6.0	1.5	1.7	1.0	140	140	20
17	4.8	1.1	1.1	1.2	170	220	15
18	6.2	1.7	0.9	1.8	120	120	12
19	6.5	1.7	1.5	1.4	50	180	14
20	5.0	1.3	1.1	1.4	130	80	22
21	6.6	1.4	1.5	1.3	200	150	10
22	5.5	1.4	1.3	1.6	140	140	8
23	5.9	1.3	1.0	1.4	170	150	21
24	6.5	1.5	1.9	1.5	200	130	15
25	5.0	1.3	1.0	1.0	120	100	22

Данные к задаче №2

№ варианта	P , кН	a , м	b , м	Профиль
1	4	0,5	0,25	Двутавр 10
2	5	0,55	0,3	Швеллер 10
3	6	0,6	0,35	Двутавр 12
4	7	0,65	0,4	Швеллер 12
5	8	0,7	0,45	Двутавр 14
6	9	1,75	0,5	Швеллер 14
7	10	1,8	0,6	Двутавр 16
8	11	1,85	0,55	Швеллер 16
9	12	0,85	0,65	Двутавр 18
10	13	0,95	0,55	Швеллер 18
11	14	1,0	0,65	Двутавр 20
12	15	1,1	0,5	Швеллер 20
13	16	1,15	0,55	Двутавр 22
14	15	1,2	0,45	Швеллер 22
15	15	1,1	0,5	Двутавр 24
16	14	1,0	0,55	Швеллер 24
17	13	0,9	0,6	Двутавр 27
18	12	0,8	0,65	Швеллер 27
19	11	0,7	0,7	Двутавр 30
20	10	0,6	0,4	Швеллер 30
21	9	0,5	0,3	Двутавр 33
22	8	0,4	0,25	Швеллер 33
23	7	0,8	0,2	Двутавр 36
24	6	0,5	0,4	Швеллер 36
25	8	1,0	0,5	Двутавр 40

Данные к задаче №3

№ варианта	r_1 , см	r_2 , см	$[\sigma]$, МПа	Критерий проч- ности
1	4	10	100	Сен-Венана
2	5	11	120	Мизеса
3	6	12	140	Сен-Венана
4	5	10	150	Мизеса
5	4	12	160	Сен-Венана
6	6	11	170	Мизеса
7	5	11	180	Сен-Венана
8	6	12	190	Мизеса
9	5	12	140	Сен-Венана
10	7	10	120	Мизеса
11	4	11	130	Сен-Венана
12	5	12	140	Мизеса
13	6	12	150	Сен-Венана
14	5	10	160	Мизеса
15	6	11	170	Сен-Венана
16	4	12	180	Мизеса
17	5	10	190	Сен-Венана
18	6	11	200	Мизеса
19	5	12	150	Сен-Венана
20	4	10	130	Мизеса
21	4	11	140	Сен-Венана
22	5	12	150	Мизеса
23	6	10	160	Сен-Венана
24	5	11	170	Мизеса
25	4	12	180	Сен-Венана

Данные к задаче №4

№ вари- анта	a , м	b , м	R , м	z_0 , м	ρ , кг/м ³	p_0 , МПа	$[\sigma]$, МПа	Критерий прочности
1	2.0	1.0	3.0	1.0	1000	0.10	120	Сен-Венана
2	3.0	0.9	3.0	1.1	900	0.15	140	Мизеса
3	2.5	0.8	3.0	1.2	1100	0.10	150	Сен-Венана
4	2.2	1.1	3.0	1.3	900	0.20	160	Мизеса
5	2.4	1.0	3.0	1.4	1000	0.25	170	Сен-Венана
6	2.6	1.1	3.0	1.5	1100	0.30	180	Мизеса
7	2.8	0.9	3.0	1.6	1200	0.35	120	Сен-Венана
8	3.0	1.0	3.0	1.7	1000	0.40	140	Мизеса
9	1.8	1.1	3.0	1.8	1100	0.10	150	Сен-Венана
10	2.0	1.2	3.0	1.9	1000	0.20	160	Мизеса
11	2.1	0.9	4.0	2.0	1200	0.30	170	Сен-Венана
12	2.2	0.8	3.0	1.0	1000	0.25	180	Мизеса
13	2.3	1.0	3.0	1.1	1100	0.10	120	Сен-Венана
14	2.4	1.1	3.0	1.2	1000	0.15	140	Мизеса
15	2.5	1.0	3.0	1.3	900	0.20	150	Сен-Венана
16	2.6	1.1	3.0	1.4	1100	0.25	160	Мизеса
17	2.7	1.2	3.0	1.5	1200	0.30	170	Сен-Венана
18	2.8	0.9	3.0	1.6	1000	0.35	180	Мизеса
19	2.9	1.1	3.0	1.7	900	0.40	120	Сен-Венана
20	3.0	1.2	3.0	1.8	1200	0.10	140	Мизеса
21	2.1	1.0	4.0	1.9	1100	0.20	150	Сен-Венана
22	2.2	1.1	3.0	2.0	1000	0.30	160	Мизеса
23	2.3	1.2	3.0	1.0	1100	0.40	170	Сен-Венана
24	2.4	1.1	3.0	1.1	1000	0.10	180	Мизеса
25	2.5	1.0	3.0	1.3	900	0.20	150	Сен-Венана

Данные к задаче №5

№	p_0 , кПа	m , Нм/м	q , Н/м	ρ , кг/м ³	a , см	b , см	R , см	h , мм	Δ , мм
1	30	50	2100	1200	40	35	60	4	0,5
2	40	60	2200	1000	60	45	70	5	0,4
3	50	70	2300	1100	50	50	80	6	0,3
4	45	80	2400	1200	40	35	65	7	0,4
5	50	90	2500	1000	50	30	75	8	0,6
6	30	55	2600	1100	60	50	55	4	0,3
7	40	65	2300	1200	45	40	60	5	0,6
8	50	75	2400	1000	35	50	50	6	0,4
9	45	85	2500	1100	50	60	70	7	0,8
10	30	90	2600	1200	45	50	80	8	0,5
11	35	50	2700	1000	45	40	55	4	0,7
12	40	60	2500	1100	35	50	65	5	0,3
13	45	70	2800	1200	50	40	60	6	0,5
14	50	80	2700	1000	60	50	80	7	0,4
15	30	90	2600	1000	50	35	70	8	0,6
16	40	55	2300	1100	40	30	60	4	0,8
17	50	65	2500	1000	50	45	50	5	0,7
18	45	75	2400	1100	60	50	70	6	0,2
19	35	85	2800	1200	35	65	50	7	0,3
20	40	90	2700	1000	34	70	60	8	0,5
21	50	50	2300	1100	35	60	55	6	0,6
22	30	55	2500	1200	30	70	65	7	0,8
23	40	65	2600	1000	45	50	60	4	0,7
24	50	75	2800	1100	50	60	50	5	0,5
25	35	85	2900	1200	60	75	75	6	0,6

Данные к задаче №6

Вариант	r_1 , см	r_2 , см	h , см	$[w]$, мм	$[\sigma]$, МПа
1	30	50	1.1	1.0	260
2	40	60	1.3	1.2	265
3	50	75	1.4	1.3	270
4	40	85	1.2	1.0	275
5	45	75	1.3	1.1	280
6	35	70	1.2	1.2	285
7	30	50	1.3	1.3	300
8	45	60	1.5	1.4	285
9	50	65	1.3	1.0	280
10	40	50	1.2	1.2	275
11	45	60	1.1	1.1	270
12	30	55	1.2	1.2	265
13	50	75	1.3	1.3	260
14	40	60	1.4	1.4	265
15	35	45	1.0	1.0	270
16	30	45	1.1	1.1	275
17	45	60	1.2	1.2	280
18	50	75	1.3	1.3	285
19	30	50	1.4	1.4	290
20	35	55	1.3	1.0	295
21	40	65	1.2	1.2	300
22	45	70	1.3	1.3	295
23	50	70	1.4	1.4	290
24	30	50	1.3	1.0	285
25	35	60	1.1	1.1	280

Данные к задаче №7

№ варианта	l , м	Номер профиля	Номер уголка (неравнобокий)
1	2,0	10	5/3,2
2	2,1	12	6,3/4,0
3	2,2	14	7/4,5
4	2,3	16	8/5
5	2,4	18	9/5,6
6	2,5	20	10/6,3
7	2,6	22	12,5/8
8	2,7	24	14/9
9	2,8	27	16/10
10	2,9	30	18/11
11	1,8	10	5/3,2
12	1,9	12	6,3/4,0
13	2,0	14	7/4,5
14	2,1	16	8/5
15	2,2	18	9/5,6
16	2,3	20	10/6,3
17	2,4	22	12,5/8
18	2,5	24	14/9
19	2,6	27	16/10
20	2,7	30	18/11
21	3,0	18a	5/3,2
22	3,2	20a	8/5
23	3,4	22a	14/9
24	3,5	24a	16/10
25	2,7	30	18/11

Данные к задаче №8

№ варианта	M_1 , кг	M_2 , кг	d , мм	ε_1 , мм	ε_2 , мм	a , м	b , м	l , м
1	20	10	40	0,1	0,4	0,3	0,4	0,9
2	10	20	30	0,2	0,3	0,4	0,2	0,7
3	30	20	30	0,4	0,4	0,35	0,4	0,8
4	20	30	20	0,3	0,4	0,4	0,3	0,9
5	40	50	30	0,4	0,3	0,3	0,4	0,8
6	50	40	40	0,4	0,2	0,4	0,4	0,9
7	20	20	50	0,3	0,3	0,45	0,6	0,8
8	10	10	60	0,2	0,2	0,35	0,5	0,7
9	10	20	20	0,3	0,1	0,4	0,5	0,6
10	20	10	30	0,2	0,4	0,3	0,4	0,9
11	30	20	40	0,1	0,5	0,45	0,5	0,7
12	20	30	50	0,4	0,2	0,35	0,4	0,8
13	40	50	60	0,5	0,1	0,4	0,5	0,9
14	50	40	30	0,2	0,3	0,3	0,4	0,8
15	15	20	40	0,1	0,4	0,4	0,5	0,9
16	20	25	50	0,3	0,2	0,3	0,45	0,8
17	30	35	60	0,4	0,5	0,35	0,5	0,7
18	40	45	30	0,2	0,4	0,4	0,6	0,6
19	45	50	40	0,5	0,3	0,3	0,4	0,9
20	50	45	50	0,4	0,2	0,4	0,55	0,7
21	45	30	60	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8
22	30	15	40	0,2	0,2	0,35	0,5	0,9
23	25	15	30	0,3	0,1	0,4	0,6	0,8
24	20	30	20	0,2	0,2	0,4	0,5	0,9
25	45	50	40	0,1	0,4	0,35	0,45	0,8

Данные к задаче № 9

№ варианта	E , ГПа	ρ , г/см ³	l , м	$c=d_0/d$, b/h
1	200	7,8	1,0	0,8
2	71	2,7	1,2	0,7
3	110	8,9	1,4	0,6
4	80	2,8	1,6	0,5
5	100	2,5	1,8	0,4
6	190	7,7	2,0	0,8
7	90	8,7	0,5	0,7
8	180	8,0	0,6	0,6
9	130	9,0	0,7	0,5
10	140	2,5	0,8	0,4
11	90	2,9	0,9	0,8
12	220	7,9	1,0	0,7
13	210	7,7	1,2	0,6
14	110	9,0	1,4	0,5
15	70	2,5	1,6	0,4
16	80	2,9	1,8	0,8
17	200	7,8	1,0	0,8
18	71	2,7	1,2	0,7
19	110	8,9	1,4	0,6
20	80	2,8	1,6	0,5
21	100	2,5	1,8	0,4
22	190	7,7	2,0	0,8
23	90	8,7	0,5	0,7
24	180	8,0	0,6	0,6
25	130	9,0	0,7	0,5

Учебное издание

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

**ПРОЧНОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ, КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Методические указания к курсовому проектированию

Редактор издательства
Компьютерная верстка

Подписано в печать
Физ. печ. л.

Печать офсетная
Тираж 200 Изд.№

Формат 60x84/16
Заказ

Оригинал-макет подготовлен в РИО НИУ «МЭИ».
111250, Москва, Красноказарменная, д.14
Отпечатано в типографии НИУ «МЭИ».
111250, Москва, Красноказарменная, д.13