

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

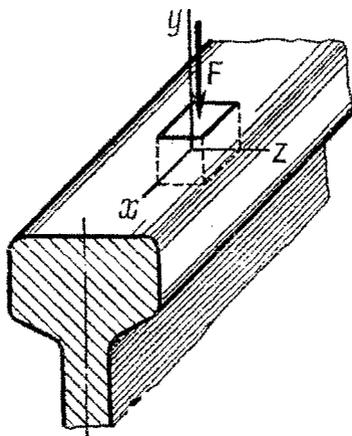
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«Брестский государственный технический университет»

Кафедра сопротивления материалов и теоретической механики

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольной работы по механике материалов
для студентов специальности

1 - 36 01 01 – «Технология машиностроения»
факультета ИДУ и Ф



Брест 2009

УДК 539.3: 624.04

Механика материалов является одной из основных общетехнических дисциплин, составляющих фундамент для изучения специальных дисциплин и подготовки квалифицированных инженеров механических специальностей.

Для приобретения навыков инженерных расчетов студенты выполняют контрольные работы по основным разделам курса.

Настоящие методические указания содержат краткий теоретический материал по разделам «Сложное сопротивление», «Расчет статически неопределимых систем методом сил», «Устойчивость сжатых стержней» и примеры расчета задач по указанным разделам. Приведены также задания и расчетные схемы для выполнения контрольной работы по механике материалов.

Составители: В.М. Хвисевич, к.т.н., доцент
С.С. Даркович, старший преподаватель
А.И. Веремейчик, старший преподаватель

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Указания по оформлению и вычислению контрольной работы.....	3
1. Изгиб и кручение бруса круглого поперечного сечения.....	4
1.1. Краткие теоретические сведения.....	4
1.2. Пример расчета бруса круглого поперечного сечения на изгиб с кручением.....	5
2. Расчет статически неопределимых систем методом сил.....	8
2.1. Краткие теоретические сведения.....	8
2.2. Пример расчета статически неопределимой рамы.....	12
3. Расчет прямолинейной сжатой стойки на устойчивость.....	15
3.1. Краткие теоретические сведения.....	15
3.2. Пример расчета сжатой стойки на устойчивость.....	16
4. Исходные данные к контрольной работе.....	21
5. Приложения.....	31
6. Литература.....	43

ВВЕДЕНИЕ

Механика материалов - наука о прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкций (машин, сооружений, механизмов, устройств), обеспечивающих надежность работы при наименьшем расходе материала.

Данные методические указания соответствуют базовым учебным планам специальности 1- 36 01 01 и включают краткие теоретические сведения, а также примеры расчета трех задач:

- изгиб и кручение бруса круглого поперечного сечения;
- расчет статически неопределимой стержневой системы;
- расчет прямолинейной сжатой стойки на устойчивость.

При защите контрольной работы необходимо ответить на вопросы, связанные с ее вычислением, и уметь решать контрольные задачи по ее тематике.

УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ И ВЫЧИСЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Контрольная работа выполняется на стандартных листах формата А4 (210 x 297мм) со штампом 15мм и указанием нумерации страниц.

2. Порядок оформления: титульный лист с указанием варианта; задание с указанием исходных данных и схем конструкций; текст расчетов с необходимыми пояснениями и схемами; выводы; перечень литературы.

3. Чертежи и схемы выполняются с соблюдением правил графики и масштабов стандарта УО «БрГТУ».

4. Текстовая часть выполняется в соответствии с требованиями к оформлению текстовых документов. Расчеты выполняются в общем виде, подставляются значения величин, записывается числовой результат с указанием размерности полученной величины. Все вычисления производятся в де-

сятчных дробях с точностью до трех-четырех значащих цифр, считая от левой руки к правой.

5. Эпюры усилий, напряжений, перемещений необходимо строить на одном листе с расчетной схемой, при этом на эпюрах указывать общепринятое обозначение эпюры, размерность расчетных величин, числовые значения характерных ординат.

6. Все рисунки (схемы, эпюры, сечения и т.д.) должны быть пронумерованы, обозначены, упомянуты в тексте.

1. ИЗГИБ И КРУЧЕНИЕ БРУСА КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

1.1. Краткие теоретические сведения

При таком виде нагружения в произвольном поперечном сечении бруса возникают изгибающий и крутящий моменты и поперечная сила. Влиянием последней для брусев, имеющих сплошное круглое сечение, в большинстве случаев пренебрегают. При этом, для бруса из материала, одинаково сопротивляющегося растяжению и сжатию, опасными являются точки пересечения силовой линии с контуром поперечного сечения. При хрупком или хрупкопластичном материале опасна та из указанных точек, в которой возникает наибольшее растягивающее нормальное напряжение. В опасной точке возникает упрощенное плоское напряженное состояние. Формулы для определения эквивалентного напряжения удобно представить в виде

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{M_{\text{экв}}}{W_{\text{и}}},$$

где $M_{\text{экв}}$ – эквивалентный (приведенный) момент, величина которого зависит от величины изгибающего и крутящего моментов и принятой гипотезы прочности;

$W_{\text{и}}$ – осевой момент сопротивления (для круга $W_{\text{и}} = \frac{\pi d^3}{32}$, для кругового кольца $W_{\text{и}} = \frac{\pi d^3}{32} (1 - c^4)$, где c – отношение внутреннего размера к наружному).

Таким образом, расчет на изгиб с кручением бруса круглого поперечного сечения выполняется по форме, как расчет на прямой изгиб, но в расчетной формуле роль изгибающего момента играет эквивалентный момент. Для его вычисления служат формулы:

по гипотезе наибольших касательных напряжений (III теория прочности)

$$M_{\text{III}} = \sqrt{M_{\text{и}}^2 + T^2},$$

по гипотезе удельной потенциальной энергии формоизменения (IV теория прочности)

$$M_{\text{IV}} = \sqrt{M_{\text{и}}^2 + 0,75T^2}.$$

В приведенных формулах:

$T = M_z$ – крутящий момент;

$M_{из} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$ – результирующий (суммарный) изгибающий момент.

Для нахождения опасного поперечного сечения рассчитываемого бруса (вала) следует построить эпюру крутящих моментов и эпюры изгибающих моментов в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. По значениям M_x и M_y построить эпюру суммарных изгибающих моментов $M_{из}$. Для бруса постоянного диаметра опасным является поперечное сечение, для которого эквивалентный момент максимален. Если по эпюрам T и $M_{из}$ не очевидно, где $M_{экив}$ максимален, следует вычислить его значения для нескольких предположительно опасных сечений.

1.2. Пример расчета бруса круглого поперечного сечения на изгиб с кручением

На валу насажено зубчатое колесо 1 и шкив 2 (рис. 1,а). От шкива к зубчатому колесу передается мощность $P = 44 \text{ кВт}$ при угловой скорости $n = 300 \text{ об/мин}$.

Через шкив перекинут ремень, ветви которого направлены горизонтально. При этом в сбегающей ветви усилие S_1 в два раза больше чем S_2 в набегающей ветви.

На зубчатое колесо давление N передается под углом $\alpha = 20^\circ$.

Используя третью теорию прочности, определить необходимый диаметр d круглого сплошного вала при допускаяемом напряжении $[\sigma] = 80 \text{ МПа}$. Округлить до стандартной величины.

Принять следующие размеры:

$$D_1 = 330 \text{ мм}, D_2 = 800 \text{ мм}, a = 160 \text{ мм}, b = 300 \text{ мм}, c = 250 \text{ мм}.$$

Решение:

Вал, подвергается изгибу, а его часть, расположенная между шкивом и зубчатым колесом, ещё и скручивается.

Определим крутящий момент, действующий на длине вала между зубчатым колесом и шкивом:

$$T = 9,55 \frac{P}{n} = 9,55 \cdot \frac{44 \cdot 10^3}{300} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ Н·м} = 1,4 \text{ кН·м}.$$

Момент, вращающий шкив, численно равен полученному крутящему моменту и, одновременно выражается через усилия в ветвях ремня:

$$T = (2S_1 - S_2) \cdot \frac{D_2}{2} = S_2 \cdot \frac{D_2}{2}.$$

Поэтому натяжение в набегающей ветви ремня:

$$S_2 = \frac{2T}{D_2} = \frac{2 \cdot 1,4}{800 \cdot 10^{-3}} = 3,5 \text{ кН}.$$

В сечении D, где посажен шкив, вал нагружен горизонтальной силой:

$$R = S_1 + S_2 = 3S_2 = 3 \cdot 3,5 = 10,5 \text{ кН}.$$

Момент, вращающий зубчатое колесо равен моменту, вращающему шкив и равен 1,4 кН·м, с другой стороны он выражается через силу давления N:

$$T = \frac{N \cdot D_1}{2}$$

Тогда давление N на зубчатое колесо:

$$N = \frac{2 \cdot T}{D_1} = \frac{2 \cdot 1,4}{330 \cdot 10^{-3}} = 8,5 \text{ кН.}$$

Силу N после приведения к точке C на оси вала (в месте посадки колеса) удобно разложить в направлении осей x и y.

$$Q = N \cdot \sin 20^\circ = 8,5 \cdot 0,342 = 2,9 \text{ кН,}$$

$$F = N \cdot \cos 20^\circ = 8,5 \cdot 0,939 = 8,0 \text{ кН.}$$

Полученная расчётная схема приведена на рисунке 1.б.

От действия крутящего момента строим эпюру T (рис. 1,в)

Для нагрузки F, действующей в вертикальной плоскости (YOZ), определяем реакции опор:

$$\sum M_A^{sepm} = 0; V_B \cdot (a + b + c) - F \cdot a = 0;$$

$$V_B = \frac{a}{a + b + c} \cdot F = \frac{160}{160 + 300 + 250} \cdot 8 = 1,8 \text{ кН;}$$

$$\sum M_B^{sepm} = 0; -V_A \cdot (a + b + c) + F \cdot (b + c) = 0;$$

$$V_A = \frac{b + c}{a + b + c} \cdot F = \frac{300 + 250}{160 + 300 + 250} \cdot 8 = 6,2 \text{ кН;}$$

$$\text{Проверка: } \sum Y = 0; -V_A - V_B + F = -6,2 - 1,8 + 8 = 0.$$

Определим реакции опор для сил Q и R, действующих в горизонтальной плоскости (XOZ)

$$\sum M_A^{top} = 0; H_B \cdot (a + b + c) - R \cdot (a + b) + Q \cdot a = 0;$$

$$H_B = \frac{R \cdot (a + b) - Q \cdot a}{a + b + c} = \frac{10,5 \cdot (160 + 300) - 2,9 \cdot 160}{160 + 300 + 250} = 6,1 \text{ кН;}$$

$$\sum M_B^{top} = 0; -H_A \cdot (a + b + c) - Q \cdot (b + c) + R \cdot c = 0;$$

$$H_A = \frac{-Q \cdot (b + c) + R \cdot c}{a + b + c} = \frac{-2,9 \cdot (300 + 250) + 10,5 \cdot 250}{160 + 300 + 250} = 1,5 \text{ кН;}$$

$$\text{Проверка: } \sum X = 0; H_A + H_B - Q + R = 1,5 + 6,1 + 2,9 - 10,5 = 0.$$

Строим эпюру изгибающих моментов M_x от сил, действующих в вертикальной плоскости и эпюру M_y от сил, действующих в горизонтальной плоскости (рис. 1 г,д).

$$M_x^C = V_A \cdot a = 6,2 \cdot 160 \cdot 10^{-3} = 0,99 \text{ кН·м;}$$

$$M_x^D = V_B \cdot c = 1,8 \cdot 250 \cdot 10^{-3} = 0,45 \text{ кН·м;}$$

$$M_y^C = H_A \cdot a = 1,5 \cdot 160 \cdot 10^{-3} = 0,24 \text{ кН·м;}$$

$$M_y^D = H_B \cdot c = 6,1 \cdot 250 \cdot 10^{-3} = 1,5 \text{ кН·м.}$$

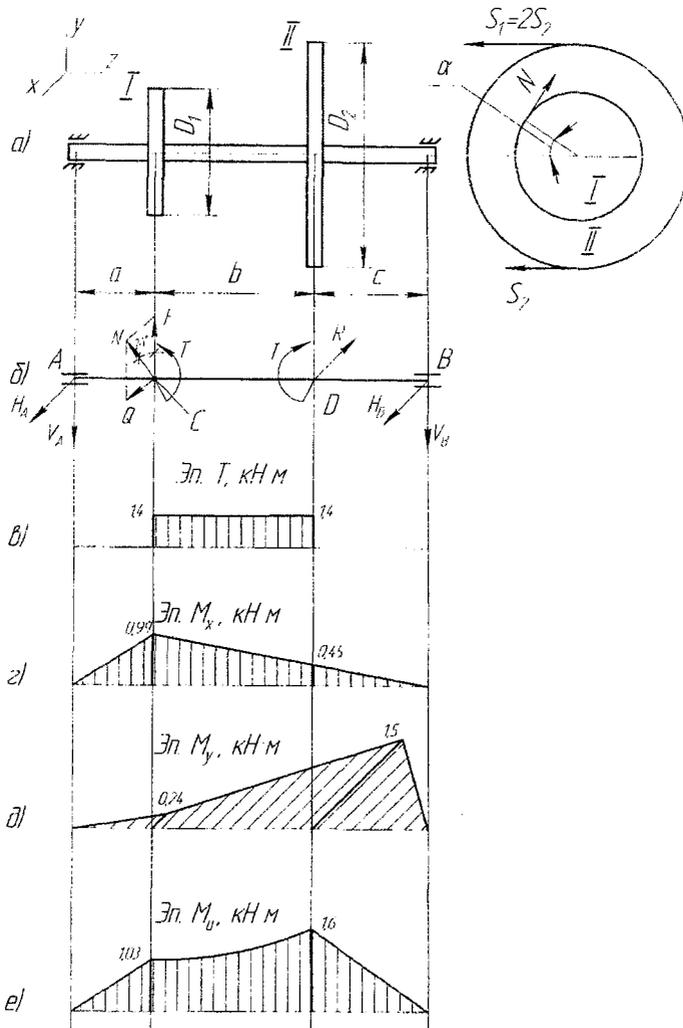


Рис. 1. Расчетная схема вала

Чтобы определить опасное сечение построим эпюру суммарных изгибающих моментов по формуле $M_H = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$:

$$M_C = \sqrt{0,99^2 + 0,24^2} = 1,03 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_D = \sqrt{0,45^2 + 1,5^2} = 1,6 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Из полученных эпюр (рис 1. в, е) видим, что опасным является сечение D, где $M_D = 1,6 \text{ кН}\cdot\text{м}$, $T = 1,4 \text{ кН}\cdot\text{м}$. Вычислим эквивалентный момент по третьей теории прочности:

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{M_D^2 + T^2} = \sqrt{1,6^2 + 1,4^2} = 2,1 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Необходимый диаметр вала находим по формуле:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{экв}}}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2,1 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 80 \cdot 10^6}} = 6,4 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 64 \text{ мм}.$$

Окончательно принимаем $d = 70 \text{ мм}$.

2. РАСЧЁТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ СИЛ

2.1. Краткие теоретические сведения

Статически неопределимой является система, которая не может быть рассчитана с использованием только уравнений равновесия, так как имеет так называемые «лишние» связи, т.е. связи, присутствие которых не является необходимым для обеспечения равновесия системы и которые можно отбросить для получения статически определимой и геометрически неизменяемой системы. Количество таких связей определяет степень статической неопределимости, которая в общем случае плоской стержневой системы определяется по формуле:

$$C = (n - 3) + 3K - III,$$

где n – число опорных стержней; K – количество замкнутых контуров; III – количество одиночных шарниров.

В расчетных схемах данной работы предусмотрено $K=0$ и $III=0$, т.е. $C=n-3$.

Эффективный путь раскрытия статической неопределимости стержневых систем дает метод сил. В основу расчета статически неопределимой системы этим методом заложено понятие основной системы, которой называют любой из статически определимых вариантов рассматриваемой системы, полученный путем отбрасывания лишних связей.

Основная система, нагруженная внешней нагрузкой и неизвестными усилиями, введенными взамен отброшенных лишних связей, называется эквивалентной системой. В эквивалентной и заданной системах усилия и перемещения тождественны.

Общий порядок расчета статически неопределимой системы методом сил:

1. Путем отбрасывания лишних связей переходим от заданной статически неопределимой к основной, т.е. статически определимой системе.

2. Заменяем отброшенные лишние связи неизвестными силами X_1, X_2, \dots, X_n .

3. Составляем уравнения деформаций, выражающие равенство нулю перемещений по направлению каждой лишней связи.

Единичные перемещения δ_y вычисляются перемножением единичных эпюр \bar{M}_i и \bar{M}_j , а грузовые перемещения Δ_{jk} -- перемножением единичной эпюры \bar{M}_i на грузовую M_F .

Правило перемножения эпюр по Верещагину: если в пределах участка две эпюры (\bar{M}_i и M_F) непрерывны и одна из них линейна, то интеграл Мора на этом участке равен площади Ω криволинейной эпюры, помноженной на ординату линейной эпюры, взятую под центром тяжести площади Ω .

$$\int_A^B \frac{M_F \bar{M}_i}{EI} dz = \frac{\Omega \cdot \eta}{EI}$$

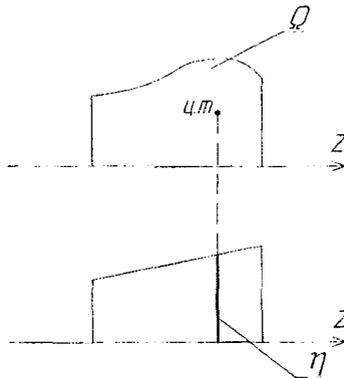
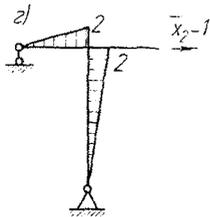
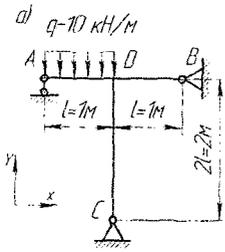


Рис. 2. Перемножение эпюр

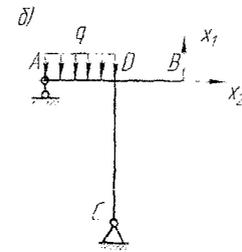
О знаках. Если эпюры расположены по одну сторону от оси, то их произведение положительно, иначе – отрицательно.

Для перемножения эпюр надо знать выражение площади и координату центра тяжести простых фигур. Для этого в данном методическом указании приведена таблица 5 (см. Приложение).

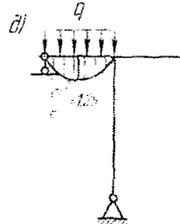
Примечание. Правило Верещагина неприменимо, если сечение бруса переменено по длине или брус криволинейный.



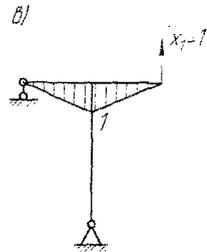
Эпюра M_1 , кН·м



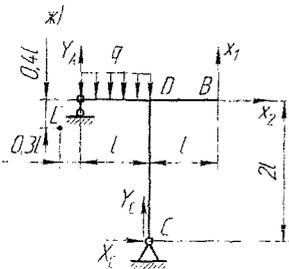
Эквивалентная система



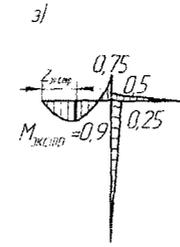
Эпюра M_2 , кН·м



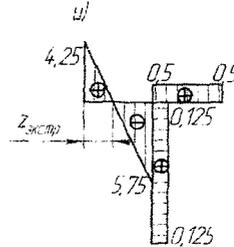
Эпюра M_2 , кН·м



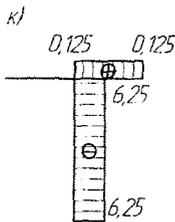
Эпюра M_3 , кН·м



Эпюра M , кН·м



Эпюра Q , кН



Эпюра N , кН

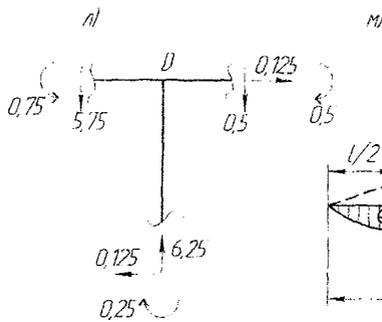


Рис. 3

2.2. Пример расчёта статически неопределимой рамы

Для заданной (рис. 3 а) статически неопределимой рамы раскрыть статическую неопределимость и построить эпюры внутренних силовых факторов. Жёсткость всех стержней на изгиб одинакова и равна EI .

Исходные данные: $q=10 \text{ кН/м}$, $l=1 \text{ м}$.

Решение:

1. Определяем степень статической неопределимости: $C=n-3$, где C - степень статической неопределимости; $n = 5$ - число опорных стержней;

$$C=5-3=2.$$

2. Выбираем основную систему. За лишние неизвестные принимаем связи неподвижной шарнирной опоры В.

3. Нагружаем основную систему заданной внешней нагрузкой и неизвестными реакциями X_1 и X_2 , возникающими в лишних связях. Получаем эквивалентную систему (рис. 3 б).

4. Составляем канонические уравнения метода сил:

$$\delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \Delta_{1F} = 0,$$

$$\delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \Delta_{2F} = 0.$$

5. Строим единичные (рис. 1.2 в, г) и грузовую (рис. 3 д) эпюры, с помощью которых вычисляем коэффициенты канонических уравнений.

Единичные перемещения δ_{11} , δ_{22} , δ_{12} , δ_{21} находим перемножая в соответствующем порядке эпюры \bar{M}_1 и \bar{M}_2 :

$$\delta_{11} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_1}{EI} dS = \frac{2}{EI} \left(\frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 + 1 \cdot \frac{2}{3} \right) = \frac{2}{3} \frac{1}{EI};$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \sum \int \frac{\bar{M}_2 \cdot \bar{M}_1}{EI} dS = -\frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 + 1 \cdot \frac{2}{3} \right) = -\frac{2}{3} \frac{1}{EI};$$

$$\delta_{22} = \sum \int \frac{\bar{M}_2 \cdot \bar{M}_2}{EI} dS = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2 + \frac{2}{3} \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \right) = \frac{4}{EI}.$$

Грузовые перемещения Δ_{1F} и Δ_{2F} получаем перемножением эпюры M_F поочередно на эпюры \bar{M}_1 и \bar{M}_2 .

$$\Delta_{1F} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_F}{EI} dS = \frac{1}{EI} \left(\frac{2}{3} \cdot 1 \cdot \frac{5}{4} + \frac{1}{2} \cdot 1 \right) = \frac{5}{12} \frac{1}{EI};$$

$$\Delta_{2F} = \sum \int \frac{\bar{M}_2 \cdot \bar{M}_F}{EI} dS = -\frac{1}{EI} \left(\frac{2}{3} \cdot 2 + \frac{5}{4} \cdot 1 \right) = -\frac{5}{6} \frac{1}{EI}.$$

6. Произведём проверку правильности нахождения коэффициентов. Для этого строим суммарную эпюру \bar{M}_5 (рис. 3 е), нагружая основную систему одновременно силами $\bar{X}_1=1$ и $\bar{X}_2=1$. Перемножаем по методу Верещагина \bar{M}_5 и \bar{M}_5 :

$$\sum \int \frac{\bar{M}_s^2}{EI} ds = \frac{1}{EI} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 \right) = \frac{10}{3} \frac{I}{EI}$$

Находим алгебраическую сумму единичных перемещений:

$$\sum \delta_{ij} = \frac{1}{EI} \left(\frac{2}{3} - \frac{2}{3} - \frac{2}{3} + 4 \right) = \frac{10}{3} \frac{I}{EI}$$

Совпадение результатов в по показывает, что δ_{ij} найдены правильно. Для проверки грузовых перемещений Δ_{1F} и Δ_{2F} перемножаем по способу Верещагина \bar{M}_s и M_F :

$$\sum \int \frac{\bar{M}_s \cdot M_F}{EI} ds = -\frac{1}{EI} \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 = -\frac{5}{12} \frac{1}{EI}$$

Находим алгебраическую сумму грузовых перемещений Δ_{1F} и Δ_{2F} :

$$\sum \Delta_{iF} = \frac{1}{EI} \left(\frac{5}{12} - \frac{5}{6} \right) = -\frac{5}{12} \frac{1}{EI}$$

Совпадение результатов в по показывает, что Δ_{ij} найдены верно.

7. Подставляем коэффициенты δ_{ij} и Δ_{iF} в канонические уравнения, и после сокращения на $\frac{1}{EI}$ получаем:

$$\begin{cases} \frac{2}{3} X_1 - \frac{2}{3} X_2 + \frac{5}{12} = 0, \\ -\frac{2}{3} X_1 + 4 X_2 - \frac{5}{6} = 0. \end{cases}$$

Решая полученную систему, находим:

$$X_1 = -\frac{1}{2} \text{ кН} \text{ и } X_2 = \frac{1}{8} \text{ кН}.$$

Проверяем правильность решения системы уравнений, подставляя в неё найденные значения X_1 и X_2 :

$$\begin{aligned} \frac{2}{3} \left(-\frac{1}{2} \right) - \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{8} + \frac{5}{12} &\equiv 0, \\ -\frac{2}{3} \left(-\frac{1}{2} \right) + 4 \cdot \frac{1}{8} - \frac{5}{6} &\equiv 0. \end{aligned}$$

Канонические уравнения решены верно. Окончательно: $X_1 = -0,5 \text{ кН}$, $X_2 = 0,125 \text{ кН}$.

8. Составляя уравнения равно весия, определяем опорные реакции (рис. 3 ж), под действием заданной нагрузки и найденных значений X_1 и X_2 :

$$\begin{cases} \sum X = X_2 + X_c = 0,125 + X_c = 0; \\ \sum Y = Y_A + Y_c + X_1 - ql = Y_A + Y_c + (-0,5) - 10 \cdot 1 = 0; \\ \sum M_c = Y_A \cdot l - X_1 \cdot l + X_2 \cdot 2l - q \cdot l \cdot \frac{1}{2} = Y_A \cdot 1 - (-0,5) \cdot 1 + 0,125 \cdot 2 \cdot 1 - 10 \cdot 0,5 = 0, \end{cases}$$

$$X_C = -0,125 \text{ кН};$$

$$Y_A = 4,25 \text{ кН};$$

$$Y_C = 6,25 \text{ кН}.$$

Проверка:

$$\sum M_B = Y_A \cdot 2 - q \cdot 1,5 - X_C \cdot 2 + Y_C \cdot 1 = 4,25 \cdot 2 - 10 \cdot 1,5 + (-0,125) \cdot 2 + 6,25 = 0.$$

Реакции найдены верно.

9. Окончательные эпюры M, Q, N легко построить обычным способом.

$$z_{\text{эпюр}} = \frac{Q_0}{q} = \frac{4,25}{10} = 0,425 \text{ м};$$

$$M_{\text{эпюр}} = Y_A \cdot z_{\text{эпюр}} - q \cdot \frac{z_{\text{эпюр}}^2}{2} = Y_A \cdot 0,425 - q \cdot \frac{0,425^2}{2} = 0,9 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

10. Производим итоговые проверки полученных эпюр M, Q, N.

а) Статическая проверка (рис. 3 л):

Вырезаем узел Д. Заменяем действие отброшенных элементов в усилиями, взятыми из построенных эпюр. Уравнения равновесия имеют следующий вид (рис. 3 к):

$$\sum X = 0, \quad 0,125 - 0,125 = 0;$$

$$\sum Y = 0, \quad -5,75 + 6,25 - 0,5 = 0;$$

$$\sum M_D = 0, \quad 0,75 + 0,5 + 0,25 = 0.$$

Проверяем равновесие всей рамы под действием внешней нагрузки и найденных реакций. Составим уравнение моментов сил относительно произвольно выбранной точки Е (рис. 3 ж):

$$\begin{aligned} \sum M_E &= Y_A \cdot 0,3I + X_1 \cdot 2,3I + Y_C \cdot 1,3I + X_C \cdot 1,6I - X_2 \cdot 0,4I - q \cdot l \cdot 0,8I = \\ &= 4,25 \cdot 0,3 + (-0,5) \cdot 2,3 + 6,25 \cdot 1,3 + (-0,125) \cdot 1,6 - 0,125 \cdot 0,4 - 10 \cdot 0,8 = 0. \end{aligned}$$

Все уравнения равновесия удовлетворяются.

б) Деформационная проверка.

Перемещения Δ_1 и Δ_2 рамы в направлении лишних неизвестных X_1 и X_2 равны нулю. Перемножаем поочерёдно одну из единичных эпюр $\overline{M}_1, \overline{M}_2$ и эпюру M:

$$\Delta_1 = \sum \int \frac{\overline{M}_1 M}{EI} dS = 0; \quad \Delta_2 = \sum \int \frac{\overline{M}_2 M}{EI} dS = 0.$$

Для облегчения вычисления по методу Верещагина эпюру M на участке AD (рис. 3 м) рассматриваем состоящей из параболы (ниже оси) и треугольника (выше оси).

$$\Delta_1 = \frac{1}{EI} \left(\frac{2}{3} \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 - \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 - \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 \right) = 0,$$

$$\Delta_2 = \frac{1}{EI} \left(-\frac{2}{3} \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,25 \right) = 0.$$

Окончательная эпюра построена верно.

3. РАСЧЕТ ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ СЖАТОЙ СТОЙКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

3.1. Краткие теоретические сведения

Если стойку с прямолинейной осью последовательно нагружать все возрастающей продольной нагрузкой, то при некотором ее значении стойка будет иметь две формы равновесия: прямолинейную неустойчивую и криволинейную устойчивую.

Явление изгиба стойки при приложении к ней продольной силы носит название потери устойчивости. Минимальное значение сжимающей силы, при которой ось стойки может иметь устойчивую криволинейную и неустойчивую прямолинейную форму упругого равновесия, называется критической силой. Опасность явления потери устойчивости состоит в том, что оно может наступить внезапно при значении напряжения существенно меньшего, чем предел прочности материала стойки. Поэтому сжатый стержень помимо условия прочности должен удовлетворять условию устойчивости:

$$F \leq \frac{F_{кр}}{n_y},$$

где F – значение силы, сжимающей стержень; $F_{кр}$ – значение критической для заданного стержня силы; n_y – нормативный коэффициент запаса устойчивости.

Величина $F_{кр}$ для длинных стержней с различными опорными устройствами определяется по формуле Эйлера:

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu l)^2},$$

где I_{\min} – наименьший момент инерции поперечного сечения стойки; l – длина стойки; μ – коэффициент приведения длины балки, учитывающий условия ее закрепления относительно оси с I_{\min} .

Если $F_{кр}$ определить по формуле Эйлера, то формула критического напряжения имеет вид:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2},$$

где $\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}}$ – гибкость стойки; $i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}}$ – минимальный главный центральный радиус инерции поперечного сечения стойки; A – площадь поперечного сечения.

Если закрепление стержня в плоскостях наибольшей и наименьшей жесткости различно, то расчет следует вести по наибольшей гибкости, которая может соответствовать как максимальному, так и минимальному моменту инерции поперечного сечения стержня.

Формула Эйлера применима лишь в пределах справедливости закона Гука, т.е. при условии:

$$\sigma_{кр} \leq \sigma_{пр},$$

а значит $\lambda > \lambda_{пред}$, где $\lambda_{пред} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{пр}}}$ - предельная гибкость для материала стержня, зависящая только от физико-механических свойств материала.

При гибкостях, меньших предельных, т.е. для стоек средней длины, критические напряжения определяются по формуле Ф.С. Ясинского:

$$\sigma_{кр} = a - b\lambda,$$

а, b – коэффициенты, имеющие размерность напряжений, выбираются для различных материалов из таблиц.

Последовательность расчета стоек на устойчивость:

1. Определяется гибкость стойки λ .
2. Сопоставляется λ с предельной гибкостью $\lambda_{пред}$.

В случае, если $\lambda \geq \lambda_{пред}$, то расчет производят по формуле Эйлера. Если $\lambda < \lambda_{пред}$, то критическое напряжение необходимо определять по формуле Ф.С. Ясинского.

Примечание. Часто вводится значение гибкости λ_0 , при которой критическое напряжение равно предельному (опасному) напряжению при чистом сжатии. Поэтому при малой гибкости ($\lambda < \lambda_0$) стержни рассчитывают не на устойчивость, а на прочность. Значения λ_0 для различных материалов приводятся в таблице.

Практический интерес представляет способ расчета стоек на устойчивость по коэффициенту снижения допускаемого напряжения. В этом случае условие устойчивости имеет вид:

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \varphi[\sigma_c],$$

где F – сила, сжимающая стержень; A – площадь брутто (без учета местных ослаблений) поперечного сечения стержня; $[\sigma_c]$ – допускаемое напряжение на сжатие; φ – коэффициент снижения допускаемого напряжения (коэффициент продольного изгиба), величина которого зависит от материала и гибкости, изменяется от 0 до 1 и выбирается из таблиц.

При решении задачи о подборе сечения в приведенном выше условии устойчивости одновременно присутствуют две неизвестные величины: φ и A. Задача решается путем последовательных приближений. Более подробно суть метода показана в примере расчета.

3.2. Пример расчета сжатой стойки на устойчивость

На стойку из стали Ст. 3 длиной $l=1,5$ м с шарнирно опертыми концами действует сжимающая сила $F=67$ кН. Допускаемое напряжение на сжа-

тие $[\sigma_c] = 160 \text{ МПа}$. Определить размеры поперечного сечения стойки, выполнив расчет в двух вариантах:

- сечение в виде сплошного круга;
- сечение в виде двух равнобоких уголков в.

Сравнить полученные стойки по расходу материала и для более рациональной определить критическую силу. Найти коэффициент запаса устойчивости.

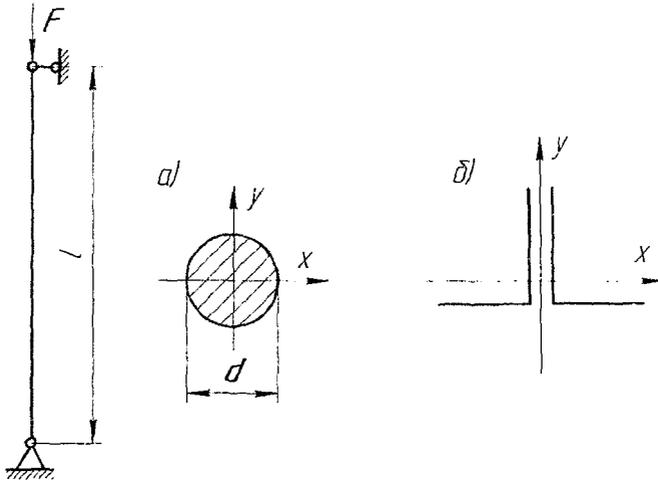


Рис. 4. Схема стойки и формы поперечных сечений

Решение:

а) Расчет стойки сплошного сечения (рис. 4 а).

Принимаем предварительно коэффициент продольного изгиба $\varphi_1 = 0,5$.

Определяем необходимую площадь сечения стойки:

$$A = \frac{F}{\varphi_1 [\sigma_c]} = \frac{67 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 160 \cdot 10^6} = 8,37 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Диаметр стойки:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,37 \cdot 10^{-4}}{3,14}} = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Радиус инерции круга:

$$i = \frac{d}{4} = \frac{3,3 \cdot 10^{-2}}{4} = 0,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Гибкость стойки:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i} = \frac{1 \cdot 1,5}{0,8 \cdot 10^{-2}} = 187.$$

Коэффициент продольного изгиба определяем по таблице 5 Приложения методом интерполяции: при $\lambda = 180$: $\varphi = 0,23$; при $\lambda = 190$: $\varphi = 0,21$; следовательно, при $\lambda = 187$:

$$\varphi_{\text{табл}} = 0,23 - \frac{0,23 - 0,21}{10} \cdot 7 = 0,22.$$

Получили значительное расхождение между принятым и полученным значениями коэффициента φ . Принимаем на втором приближении:

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi_{\text{табл}}}{2} = \frac{0,5 + 0,22}{2} = 0,36.$$

Проводим перерасчет. Необходимая площадь сечения стойки:

$$A = \frac{F}{\varphi_2 [\sigma_c]} = \frac{67 \cdot 10^3}{0,36 \cdot 160 \cdot 10^6} = 11,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Диаметр стойки:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11,6 \cdot 10^{-4}}{3,14}} = 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Радиус инерции круга:

$$i = \frac{d}{4} = \frac{3,8 \cdot 10^{-2}}{4} = 0,95 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Гибкость стойки:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i} = \frac{1 \cdot 1,5}{0,95 \cdot 10^{-2}} = 158.$$

Коэффициент продольного изгиба определяем по таблице 5 методом интерполяции: при $\lambda = 150$: $\varphi = 0,32$; при $\lambda = 160$: $\varphi = 0,29$; следовательно, при $\lambda = 158$:

$$\varphi_{\text{табл}} = 0,32 - \frac{0,32 - 0,29}{10} \cdot 8 = 0,296.$$

Принимаем для третьей попытки:

$$\varphi_3 = \frac{\varphi_2 + \varphi_{\text{табл}}}{2} = \frac{0,36 + 0,296}{2} = 0,325.$$

Проводим перерасчет. Необходимая площадь сечения стойки:

$$A = \frac{F}{\varphi_3 [\sigma_c]} = \frac{67 \cdot 10^3}{0,325 \cdot 160 \cdot 10^6} = 12,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Диаметр стойки:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12,9 \cdot 10^{-4}}{3,14}} = 4,04 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Радиус инерции круга:

$$i = \frac{d}{4} = \frac{4,04 \cdot 10^{-2}}{4} = 1,01 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Гибкость стойки:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i} = \frac{1 \cdot 1,5}{1,01 \cdot 10^{-2}} = 149.$$

Коэффициент продольного изгиба определяем методом интерполяции: при $\lambda = 140$: $\varphi = 0,36$; при $\lambda = 150$: $\varphi = 0,32$; следовательно, при $\lambda = 149$:

$$\varphi_{табл} = 0,36 - \frac{0,36 - 0,32}{10} \cdot 9 = 0,324..$$

Принимаем $\varphi = \varphi_{табл}$ и проверим прочность:

$$\sigma_y = \frac{F}{\varphi A} = \frac{67 \cdot 10^3}{0,324 \cdot 12,9 \cdot 10^{-4}} \approx 160 \cdot 10^6 \text{ Па} = 160 \text{ МПа}.$$

Получили $\sigma_y = [\sigma_c] = 160 \text{ МПа}$.

Окончательно принимаем сплошную круглую стойку, имеющую площадь поперечного сечения $A_{кругл} = 12,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

б) Расчет стойки из равнобоких уголков (рис. 4 б).

Предварительно принимаем $\varphi_1 = 0,5$. Определяем необходимую площадь сечения стойки:

$$A = \frac{F}{\varphi_1 [\sigma_c]} = \frac{67 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 160 \cdot 10^6} = 8,38 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 8,38 \text{ см}^2.$$

Требуемая площадь одного уголка:

$$A_{уг} = \frac{A}{2} = \frac{8,38}{2} = 4,19 \text{ см}^2.$$

Из таблиц сортамента принимаем уголок $56 \times 56 \times 4$ с $A_{уг} = 4,38 \text{ см}^2$ и $i_x = 1,73 \text{ см}$ (очевидно, для сечения из 2-х уголков $i_y > i_x$, т.е. $i_x = i_{\min}$, и относительно оси x радиус инерции всего сечения равен радиусу инерции уголка).

Гибкость стойки:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_x} = \frac{1 \cdot 1,5}{1,73 \cdot 10^{-2}} = 87.$$

С учетом таблицы 5 методом интерполяции (см. пример расчета стойки круглого сечения) определяем коэффициент продольного изгиба:

$$\varphi_{табл} = 0,768.$$

Для второй попытки принимаем:

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi_{табл}}{2} = \frac{0,5 + 0,768}{2} = 0,634.$$

Площадь сечения:

$$A = \frac{67 \cdot 10^3}{0,634 \cdot 160 \cdot 10^6} = 6,61 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 6,61 \text{ см}^2.$$

Площадь одного уголка:

$$A_{уг} = \frac{A}{2} = \frac{6,61}{2} \approx 3,3 \text{ см}^2.$$

Из таблиц сортамента принимаем уголок $45 \times 45 \times 4$, для которого $A_{yx} = 3,48 \text{ см}^2$, $i_x = 1,38 \text{ см}$.

Тогда гибкость стойки:

$$\lambda = \frac{1 \cdot 1,5}{1,38 \cdot 10^{-2}} = 109.$$

С учетом таблицы 5 методом интерполяции определяем:

$$\varphi_{табл} = 0,528.$$

Для третьей попытки принимаем:

$$\varphi_3 = \frac{\varphi_2 + \varphi_{табл}}{2} = \frac{0,634 + 0,528}{2} = 0,581.$$

Площадь сечения:

$$A = \frac{67 \cdot 10^3}{0,581 \cdot 160 \cdot 10^6} = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 7,2 \text{ см}^2.$$

Площадь одного уголка:

$$A_{yx} = \frac{A}{2} = \frac{7,2}{2} = 3,6 \text{ см}^2.$$

Из таблиц сортамента принимаем уголок $50 \times 50 \times 4$, для которого $A_{yx} = 3,89 \text{ см}^2$, $i_x = 1,54 \text{ см}$.

Тогда гибкость стойки:

$$\lambda = \frac{1 \cdot 1,5}{1,54 \cdot 10^{-2}} = 97,5.$$

Методом интерполяции определяем: $\varphi_{табл} = 0,622$.

Принимаем $\varphi = \varphi_{табл} = 0,622$ и проверим принятый профиль:

$$\sigma_y = \frac{F}{\varphi A} = \frac{67 \cdot 10^3}{0,622 \cdot 2 \cdot 3,89 \cdot 10^{-4}} = 138 \cdot 10^6 \text{ Па} = 138 \text{ МПа} < [\sigma_c] = 160 \text{ МПа}.$$

Сечение принятого профиля недогружено на 13 %. Нетрудно убедиться, что при любом ином номере профиля из сортамента будет либо недопустимая перегрузка, либо еще большая недогрузка.

в) Сравнение полученных стоек по расходу материала.

Площадь сечения сплошной круглой стойки $A_{кругл} = 12,9 \text{ см}^2$, площадь сечения стойки из двух равнобоких уголков $2A_{yx} = 7,78 \text{ см}^2$. Сравнение результатов в показывает, что более рациональной является стойка из двух уголков.

г) Определение критической силы.

Для принятой стойки $\lambda = 97,5 < \lambda_{кр} = 100$, следовательно, для определения критической силы используем формулу Ф.С. Ясинского для стали:

$$\sigma_{кр} = a - b\lambda = 310 - 1,14 \cdot 97,5 = 199 \text{ МПа}.$$

Определим критическую силу:

$$F_{кр} = \sigma_{кр} \cdot A = 199 \cdot 10^6 \cdot 7,78 \cdot 10^{-4} = 155 \cdot 10^3 \text{ Н} = 155 \text{ кН}.$$

Примечание. Если для принятой стойки $\lambda \geq \lambda_{кр}$, то критическую силу необходимо определять по формуле Эйлера: $F_{кр} = \frac{\pi^2 EI_{мин}}{(\mu l)^2}$.

д) Определение коэффициента запаса устойчивости:

$$n_y = \frac{F_{кр}}{F} = \frac{155}{67} = 2,3.$$

4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

4.1. Условия задач

Задача 1. Расчет бруса круглого поперечного сечения на изгиб с кручением

На стальной вал постоянного сечения диаметром d , вращающийся со скоростью n об/мин, через ведущий шкив «I» с помощью ременной передачи передается мощность P кВт, которая затем распределяется между ведомыми шестернями «2» и «3» в заданном отношении.

При расчете массами шкива и шестерен пренебречь.

Натяжение ведущей ветви ремня F_1 принято равным удвоенному натяжению ведомой ветви $t_1(F_1 = 2t_2)$.

Длина $a = 10$ см. Допускаемое напряжение $[\sigma] = 160$ МПа.

Требуется:

1. Определить нагрузки, действующие на вал, т.е. скручивающие моменты и силы в местах посадки шкивов и шестерен.
2. Силы, действующие на вал, разложить на составляющие в вертикальной и горизонтальной плоскостях.
3. Построить эпюру крутящих моментов.
4. Построить эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях.
5. Построить эпюру суммарных изгибающих моментов.
6. Найти опасное сечение и вычислить в этом сечении значение эквивалентного момента.
7. Определить диаметр вала, округлив его до стандартных размеров (мм): 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 170, 180, 200.

Задача 2. Расчет плоской статически неопределимой рамы методом сил

Плоская статически неопределимая рама загружена распределенной нагрузкой интенсивностью q , сосредоточенной силой F и сосредоточенным моментом M .

Требуется:

1. Определить степень статической неопределимости.
2. Выбрать основную статически определимую систему путем отбрасывания в заданной системе лишних связей.
3. Действие отброшенных связей возместить приложением к основной системе неизвестных усилий.
4. Составить канонические уравнения, которые показывают, что полные перемещения в основной системе, возникающие по направлениям неизвестных усилий под влиянием этих усилий и заданной нагрузки, равны нулю.
5. Нагрузить основную систему поочередно единичными усилиями $\bar{X}_1 = 1$, $\bar{X}_2 = 1$ и от каждого из них отдельно построить единичные эпюры изгибающих моментов \bar{M}_1 , и грузовую эпюру изгибающих моментов \bar{M}_F от внешних нагрузок.
6. Вычислить все коэффициенты δ_{ij} системы канонических уравнений путем перемножения единичных эпюр.
7. Определить грузовые члены Δ_{iF} системы канонических уравнений путем перемножения единичных эпюр с грузовой эпюрой.
8. Нагрузить основную систему одновременно единичными усилиями $\bar{X}_1 = 1$, $\bar{X}_2 = 1$ и построить от них суммарную единичную эпюру изгибающих моментов $\bar{M}_S = \bar{M}_1 + \bar{M}_2$.
9. Вычислить коэффициент δ_{SS} путем перемножения суммарной эпюры \bar{M}_S саму на себя.
10. Определить грузовой член Δ_{SF} путем перемножения суммарной эпюры \bar{M}_S с грузовой эпюрой.
11. Выполнить универсальную проверку нахождения коэффициентов в δ_{ik} и грузовых членов Δ_{iF} .
12. Решить систему канонических уравнений, в результате чего найти значения неизвестных X_1 , X_2 .
13. Построить для рамы эпюру изгибающих моментов, нагрузив ее заданными нагрузками и найденными неизвестными X_1 , X_2 (построение эпюры изгибающих моментов можно выполнить с использованием формулы: $M = M_F + \bar{M}_1 X_1 + \bar{M}_2 X_2$).
14. Выполнить деформационную проверку правильности нахождения неизвестных усилий X_1 , X_2 .
15. Построить для рамы эпюры поперечных и продольных сил.
16. Для узлов и всей рамы выполнить статическую проверку.

Задача 3. Расчет сжатого бруса на устойчивость

Стальная стойка длиной l нагружена продольной сжимающей нагрузкой F . Допускаемое напряжение на сжатие $[\sigma_c] = 160 \text{ МПа}$, модуль упругости материала $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$.

Требуется:

1. Подобрать размеры поперечного сечения круглой и составной стоек.
2. Сравнить полученные стойки по расходу материала и принять наиболее рациональную.
3. Определить критическую силу для принятой стойки.
4. Найти коэффициент запаса устойчивости.

4.2. Числовые данные.

4.2.1. Числовые данные к задаче 1

Таблица 1

Вариант	P_1 кВт	n об/мин	P_2/P_3	Диаметр шкива, мм D_1	Диаметры шестерен, мм	
					D_2	D_3
1	40	650	1,5	500	300	200
2	55	700	3,0	450	200	150
3	70	800	1,0	400	300	150
4	60	850	0,5	550	100	250
5	50	1000	2,5	700	250	100
6	65	600	2,0	700	150	300
7	75	650	2,5	600	200	100
8	85	700	2,0	650	100	250
9	90	1000	1,5	500	150	300
10	80	550	1,0	450	250	200
11	95	750	3,0	400	250	150
12	85	850	3,0	550	300	250
13	100	1000	0,5	550	100	200
14	95	500	2,0	650	150	300
15	90	600	1,5	450	200	250
16	70	700	2,5	700	200	300
17	75	800	0,5	450	150	250
18	60	950	3,0	400	100	200
19	80	500	1,0	600	300	100
20	55	550	2,5	700	300	100
21	50	700	1,5	500	250	150
22	45	900	0,5	650	200	200
23	40	650	1,0	450	150	300
24	35	800	2,5	600	100	250
25	10	500	0,5	700	100	250
26	25	600	1,0	650	300	100
27	15	750	2,0	400	150	300
28	20	950	1,5	500	200	150
29	30	1000	3,0	400	250	200

Вариант	P_1 кВт	n об/мин	P_2/P_3	Диаметр шквива, мм D_1	Диаметры шестерен, мм	
					D_2	D_3
30	65	650	2,0	550	250	150
31	50	600	2,5	650	200	170
32	75	700	1,5	450	250	200
33	90	550	3,0	550	150	300
34	80	750	2,5	600	250	270
35	100	500	1,5	700	120	180
36	90	700	0,5	400	300	130
37	75	950	1,2	650	250	200
38	80	550	1,4	630	170	250
39	50	900	1,0	600	100	150
40	40	800	0,7	570	150	180

4.2.2. Числовые данные к задаче 2

Таблица 2

Вариант	a , м	F , кН	q , кН/м	M , кН м
1	1,6	27	26	33
2	1,4	33	27	32
3	1,5	38	28	31
4	1,8	39	29	30
5	1,9	36	30	15
6	2,0	31	11	16
7	1,7	21	12	17
8	1,0	23	13	18
9	1,2	26	14	19
10	1,4	27	15	20
11	1,6	28	16	21
12	1,8	29	17	22
13	2,0	19	18	23
14	1,9	18	19	24
15	1,7	16	20	25
16	2,0	25	31	22
17	1,9	38	21	23
18	1,8	24	23	24
19	1,7	41	26	25
20	1,6	18	27	26
21	1,5	24	28	27
22	1,4	23	29	28
23	1,3	17	19	29
24	1,2	29	18	30
25	1,5	22	16	31

Вариант	a, м	F, кН	q, кН/м	M, кН м
26	1,3	33	21	32
27	2,1	32	22	33
28	1,1	41	23	34
29	2,0	42	24	35
30	1,8	23	25	34
31	1,5	33	22	34
32	2,1	41	24	32
33	1,1	42	25	33
34	1,6	33	28	30
35	1,5	39	30	16
36	1,9	31	12	18
37	1,7	23	14	20
38	1,2	27	16	22
39	1,6	29	18	24
40	1,1	30	36	21

4.2.3. Числовые данные к задаче 3

Таблица 3

Вариант	F, кН	l, м	Вариант	F, кН	l, м
1	110	2,1	21	130	2,15
2	130	1,85	22	155	2,0
3	170	2,0	23	190	2,1
4	140	1,8	24	120	1,9
5	190	1,9	25	175	2,2
6	150	2,1	26	140	1,85
7	200	1,7	27	105	2,0
8	180	1,8	28	160	2,1
9	105	1,75	29	135	1,7
10	175	2,1	30	180	2,0
11	125	1,85	31	145	1,85
12	120	1,7	32	200	1,8
13	100	1,95	33	105	1,9
14	170	1,9	34	140	2,1
15	160	2,0	35	165	2,1
16	125	1,7	36	190	2,15
17	145	1,9	37	110	2,0
18	190	1,8	38	150	1,7
19	110	1,95	39	170	2,2
20	165	2,2	40	195	2,1

4.3. Схемы заданий.

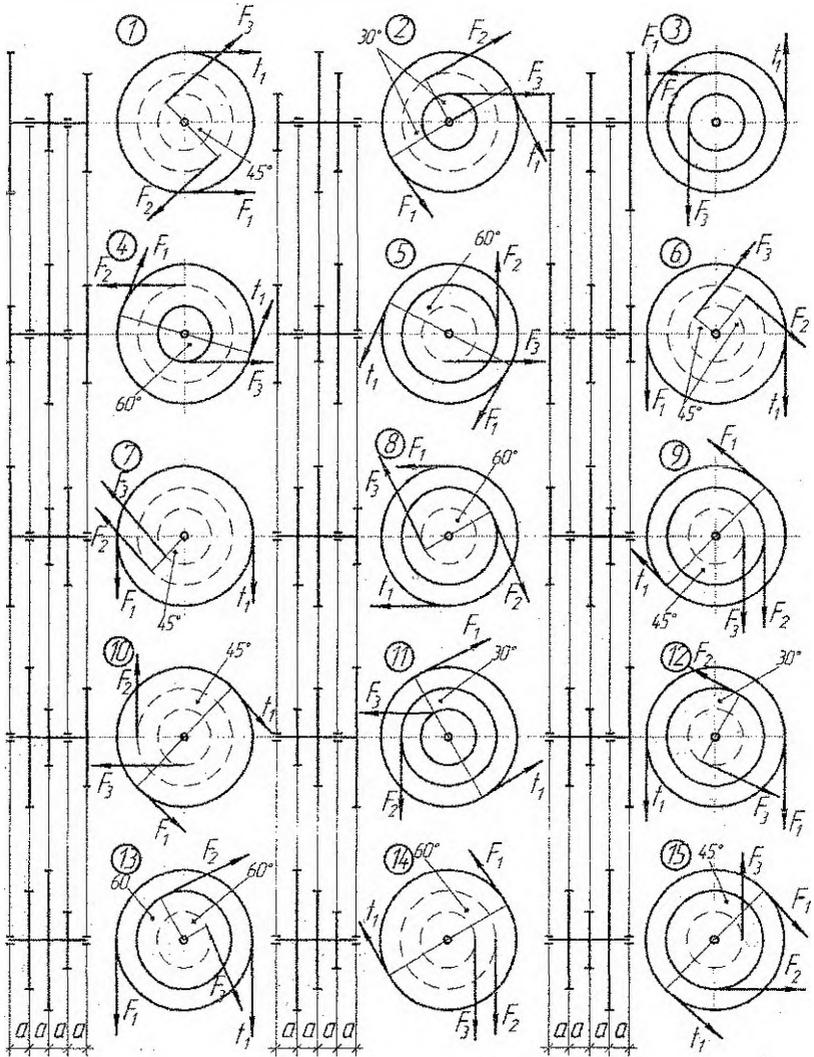
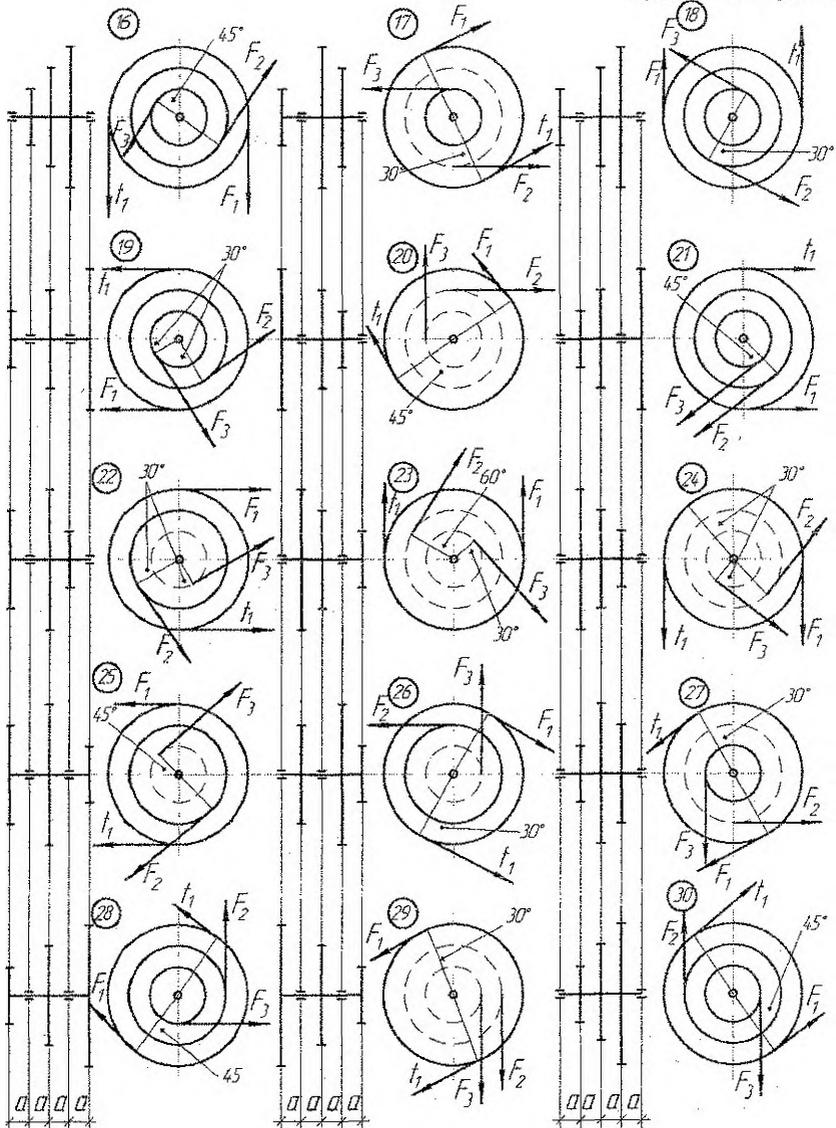


Рис. 5. Схемы заданий к задаче 1



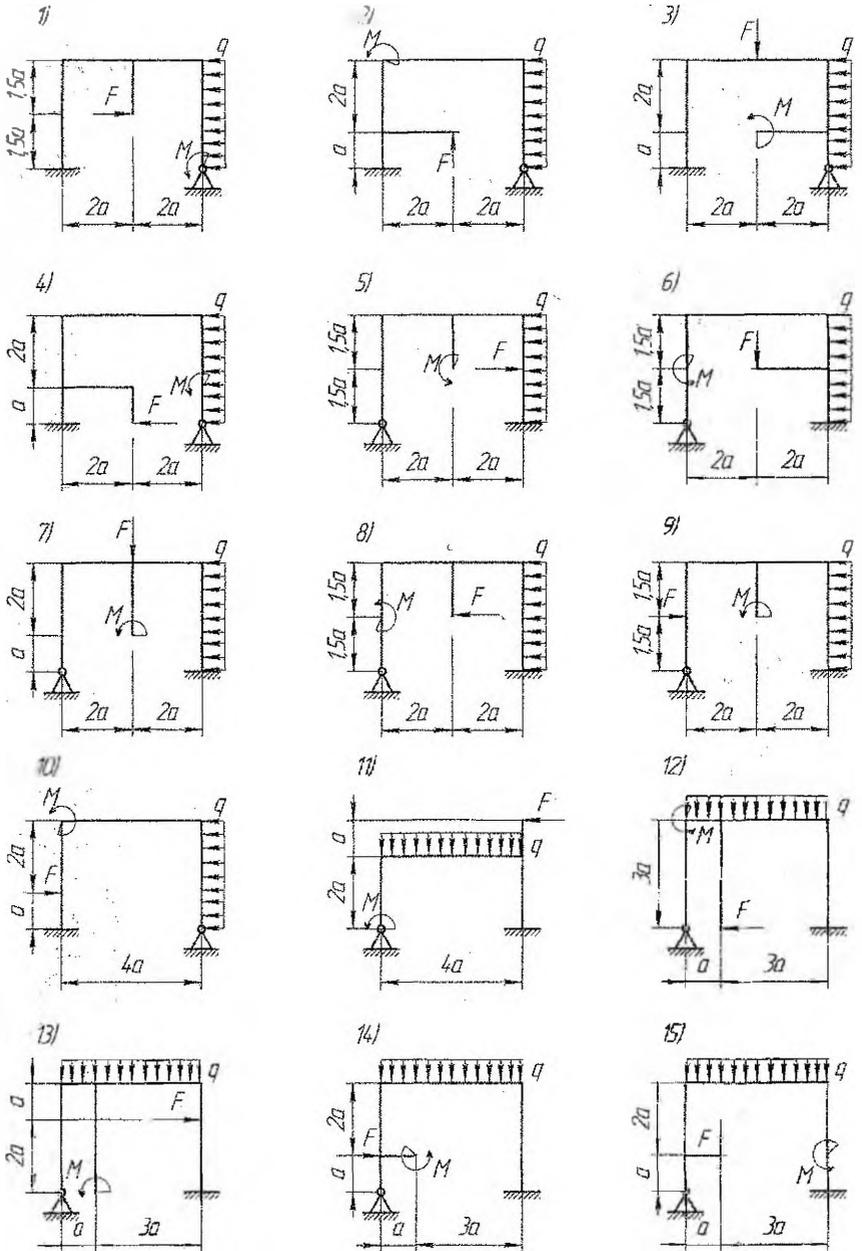
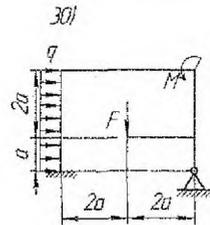
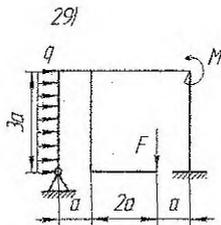
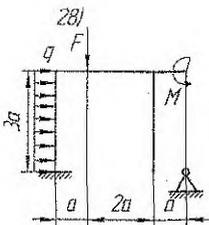
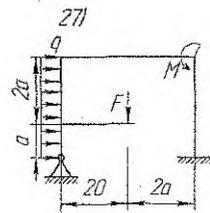
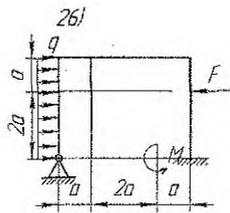
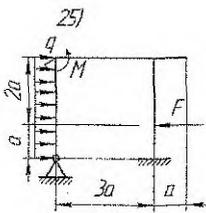
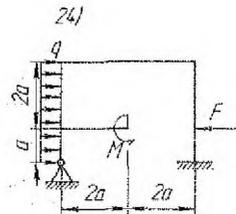
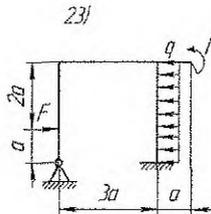
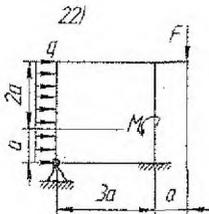
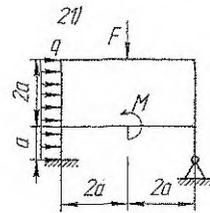
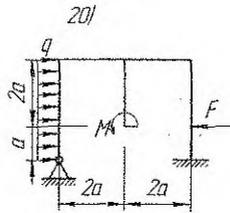
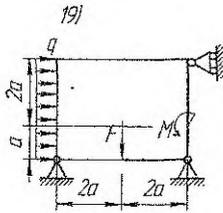
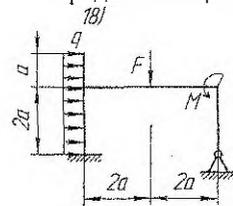
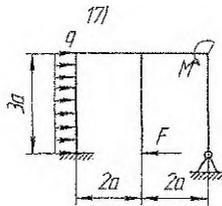
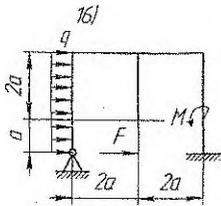


Рис. 6. Схемы заданий к задаче 2

Продолжение рис. 6



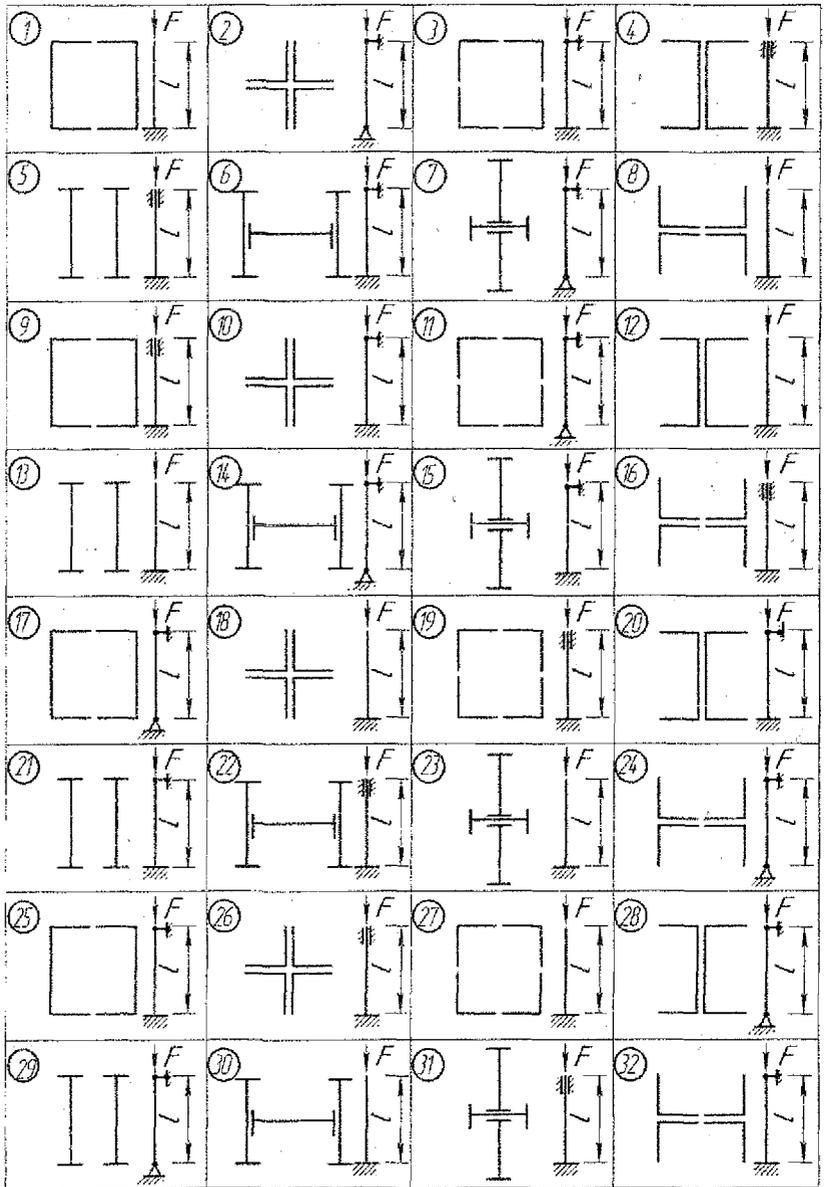


Рис. 7. Схемы заданий к задаче 3

5. ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 4. Площади и координаты центра тяжести некоторых фигур

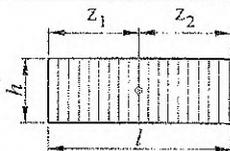
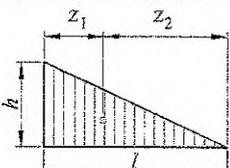
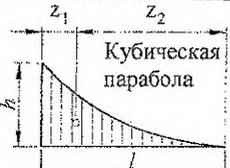
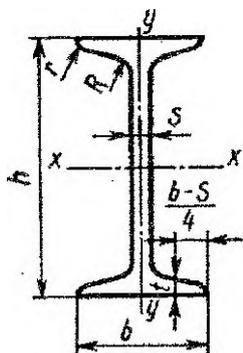
Геометрическая фигура	Площадь ω	Координаты центра тяжести	
		z_1	z_2
	hl	$l/2$	$l/2$
	$hl/2$	$l/3$	$2l/3$
	$hl/3$	$l/4$	$3l/4$
	$hl/4$	$l/5$	$4l/5$
	$\frac{hl}{n+1}$	$\frac{l}{n+2}$	$\frac{(n+1)l}{n+2}$
	$2hl/3$	$3l/8$	$5l/8$

Таблица 5. Значения коэффициента φ для различных гибкостей

Гибкость эле- ментов $\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i}$	Коэффициент φ для стали марки Ст.3	Гибкость $\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i}$	Коэффициент φ для стали марки Ст.3
0	1,00	120	0,45
10	0,99	130	0,40
20	0,96	140	0,36
30	0,94	150	0,32
40	0,92	160	0,29
50	0,89	170	0,26
60	0,86	180	0,23
70	0,81	190	0,21
80	0,75	200	0,19
90	0,69	210	0,16
100	0,60	220	0,15
110	0,52	230	0,13



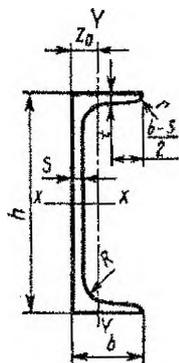
СОРТАМЕНТ ПРОКАТНОЙ СТАЛИ

Балки двуглавые (ГОСТ 8239—72*)

J — момент инерции;
 W — момент сопротивления;
 S — статический момент полусечения;
 i — радиус инерции.

№ профиля	Вес пог. м., кг	Размеры							Площадь сечения, см ²	Справочные величины для осей						
		h	b	s	t	R	r	x-x				y-y				
								I_x		W_x	i_x	S_x^*	I_y	W_y	i_y	
мм							см ⁴	см ³	см	см ³	см ⁴	см ³	см			
10	9.46	100	55	4.5	7.2	7.0	2.5	12.0	198	39.7	4.06	23.0	17.9	6.49	1.22	
12	11.50	120	64	4.8	7.3	7.5	3.0	14.7	350	58.4	4.88	33.7	27.9	8.72	1.38	
14	13.70	140	73	4.9	7.5	8.0	3.0	17.4	572	81.7	5.73	46.8	41.9	11.50	1.55	
16	15.90	160	81	5.0	7.8	8.5	3.5	20.2	873	109.0	6.57	62.3	58.6	14.50	1.70	
18	18.40	180	90	5.1	8.1	9.0	3.5	23.4	1290	143.0	7.42	81.4	82.6	18.40	1.88	
18a	19.90	180	100	5.1	8.3	9.0	3.5	25.4	1430	159.0	7.51	89.8	114.0	22.80	2.12	
20	21.00	200	100	5.2	8.4	9.5	4.0	26.8	1840	184.0	8.28	104.0	115.0	23.10	2.07	
20a	22.70	200	110	5.2	8.6	9.5	4.0	28.9	2030	203.0	8.37	114.0	155.0	28.20	2.32	
22	24.00	220	110	5.4	8.7	10.0	4.0	30.6	2550	232.0	9.13	131.0	157.0	28.60	2.27	
22a	25.80	220	120	5.4	8.9	10.0	4.0	32.8	2790	254.0	9.22	143.0	206.0	34.30	2.50	
24	27.30	240	115	5.6	9.5	10.5	4.0	34.8	3460	289.0	9.97	163.0	198.0	34.50	2.37	

24a	29 40	240	125	5 6	9 8	10 5	4 0	37 5	3800	317 0	10 10	178 0	250 0	41 60	2 63
27	31 50	270	125	6 0	9 8	11 0	4 5	40 2	5010	371 0	11 20	210 0	260 0	41 50	2 54
27a	33 90	270	135	6 0	10 2	11 0	4 5	43 2	5500	407 0	11 30	229 0	337 0	50 00	2 80
30	36 50	300	135	6 5	10 2	12 0	5 0	46 5	7080	472 0	12 30	268 0	337 0	49 90	2 69
30a	39 20	300	145	6 5	10 7	12 0	5 0	49 9	7780	518 0	12 50	292 0	436 0	60 10	2 95
33	42 20	330	140	7 0	11 2	13 0	5 0	53 8	9840	597 0	13 50	339 0	419 0	59 90	2 79
36	48 60	360	145	7 5	12 3	14 0	6 0	61 9	13380	743 0	14 70	423 0	516 0	71 10	2 89
40	57 00	400	155	8 3	13 0	15 0	6 0	72 6	19062	953 0	16 20	545 0	667 0	86 10	3 03
45	66 50	450	160	9 0	14 2	16 0	7 0	84 7	27696	1231 0	18 10	708 0	808 0	101 00	3 09
50	78 50	500	170	10 0	15 2	17 0	7 0	100 0	39727	1589 0	19 90	919 0	1043 0	123 00	3 23
55	92 50	550	180	11 0	16 5	18 0	7 0	118 0	55962	2035 0	21 80	1181 0	1356 0	151 00	3 39
60	108 00	600	190	12 0	17 8	20 0	8 0	138 0	76806	2560 0	23 60	1491 0	1725 0	182 00	3 54
65	120 00	650	200	12 0	19 2	22 0	9 0	153 0	101400	3120 0	25 80	1800 0	2176 0	217 00	3 77
70	138 00	700	210	13 0	20 8	24 0	10 0	176 0	134600	3840 0	27 70	2230 0	2730 0	260 00	3 94
70a	158 00	700	210	15 0	24 0	24 0	10 0	202 0	152700	4360 0	27 50	2550 0	3240 0	302 00	4 01
70b	184 00	700	210	17 5	28 2	24 0	10 0	234 0	175570	5010 0	27 40	2940 0	3910 0	373 00	4 09



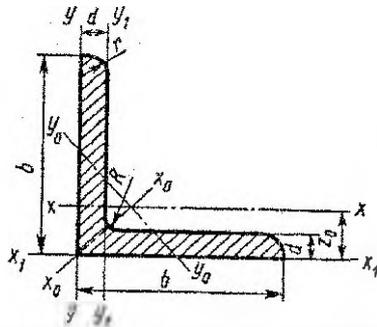
СОРТАМЕНТ ПРОКАТНОЙ СТАЛИ

Швеллеры (ГОСТ 8240—72*)

J —момент инерции;
 W —момент сопротивления;
 S —статический момент полусечения;
 i —радиус инерции.

№ про- филя	Вес I пог. м., кг	Размеры						Площадь сечения, см ²	Справочные величины для осей							
		h	b	s	t	R	r		x-x				y-y			
									I_x	W_x	i_x	S_x	I_y	W_y	i_y	S_y
		мм							см ⁴	см ³	см	см ³	см ⁴	см ³	см	см
5	4.84	50	32	4.4	7	6	2.5	6.16	22.8	9.1	1.92	5.59	5.61	2.75	0.954	1.16
6.5	5.9	65	36	4.4	7.2	6	2.5	7.51	48.6	15	2.54	9	8.7	3.68	1.08	1.24
8	7.05	80	40	4.5	7.4	6.5	2.5	8.98	89.4	22.4	3.16	13.3	12.8	4.75	1.19	1.31
10	8.59	100	46	4.5	7.6	7	3	10.9	174	34.8	3.99	20.4	20.4	6.46	1.37	1.44
12	10.4	120	52	4.8	7.8	7.5	3	13.3	304	50.6	4.78	29.6	31.2	8.52	1.53	1.54
14	12.3	140	58	4.9	8.1	8	3	15.6	491	70.2	5.6	40.8	45.4	11	1.7	1.67
14а	13.3	140	62	4.9	8.7	8	3	17	545	77.8	5.66	45.1	57.5	13.3	1.84	1.87
16	14.2	160	64	5	8.4	8.5	3.5	18.1	747	93.4	6.42	54.1	63.3	13.8	1.87	1.8
16а	15.3	160	68	5	9	8.5	3.5	19.5	823	103	6.49	59.4	78.8	16.4	2.01	2

18	16.3	180	70	5.1	8.7	9	3.5	20.7	1090	121	7.24	69.8	86	17	2.04	1.94
18a	17.4	180	74	5.1	9.3	9	3.5	22.2	1190	132	7.32	76.1	105	20	2.18	2.13
20	18.4	200	76	5.2	9	9.5	4	23.4	1520	152	8.07	87.8	113	20.5	2.2	2.07
20a	19.8	200	80	5.2	9.7	9.5	4	25.2	1670	167	8.15	95.9	139	24.2	2.35	2.28
22	21	220	82	5.4	9.5	10	4	26.7	2110	192	8.89	110	151	25.1	2.37	2.21
22a	22.6	220	87	5.4	10.2	10	4	28.8	2330	212	8.99	121	187	30	2.55	2.46
24	24	240	90	5.6	10	10.5	4	30.6	2900	242	9.73	139	208	31.6	2.6	2.42
24a	25.8	240	95	5.6	10.7	10.5	4	32.9	3180	265	9.84	151	254	37.2	2.78	2.67
27	27.7	270	95	6	10.5	11	4.5	35.2	4160	308	10.9	178	262	37.3	2.73	2.47
30	31.8	300	100	6.5	11	12	5	40.5	5810	387	12	224	327	43.6	2.84	2.52
33	36.5	330	105	7	11.7	13	5	46.5	7980	484	13.1	281	410	51.8	2.97	2.59
36	41.9	360	110	7.5	12.6	14	6	53.4	10820	601	14.2	350	513	61.7	3.1	2.68
40	48.3	400	115	8	13.5	15	6	61.5	15220	761	15.7	444	642	73.4	3.23	2.75



СОРТАМЕНТ ПРОКАТНОЙ СТАЛИ
Угелки равнополочные (ГОСТ 8509 — 72*)

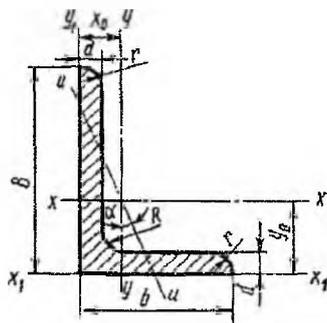
J — момент инерции,
 i — радиус инерции.

№ профиля	Размеры				Площадь сечения, см^2	Вес 1 пог. м., кг	Справочные величины для осей							
	b	d	R	r			x-x		$x_0 - x_0$		$y_0 - y_0$		$x_1 - x_1$	e_0
							J_x	i_x	J_{x_0}	i_{x_0}	J_{y_0}	i_{y_0}	J_{x_1}	
							см^4	см	макс. см^4	макс. см	мин. см^4	мин. см	см^4	
2/3	20	3	3.5	1.2	1.13	0.89	0.4	0.59	0.63	0.75	0.17	0.39	0.81	0.6
2/4	20	4	3.5	1.2	1.46	1.15	0.5	0.58	0.78	0.73	0.22	0.38	1.09	0.64
2,5/3	25	3	3.5	1.2	1.43	1.12	0.81	0.75	1.29	0.95	0.34	0.49	1.57	0.73
2,5/4	25	4	3.5	1.2	1.86	1.46	1.03	0.74	1.62	0.93	0.44	0.48	2.11	0.76
2,8/3	28	3	4	1.3	1.62	1.27	1.16	0.85	1.84	1.07	0.48	0.55	2.2	0.8
3,2/3	32	3	4.5	1.5	1.86	1.46	1.77	0.97	2.8	1.23	0.74	0.63	3.26	0.89
3,2/4	32	4	4.5	1.5	2.43	1.91	2.26	0.96	3.58	1.21	0.94	0.62	4.39	0.94
3,6/3	36	3	4.5	1.5	2.1	1.65	2.56	1.1	4.06	1.39	1.06	0.71	4.64	0.99
3,6/4	36	4	4.5	1.5	2.75	2.16	3.29	1.09	5.21	1.38	1.36	0.7	6.24	1.04
4/3	40	3	5	1.7	2.35	1.85	3.55	1.23	5.63	1.55	1.47	0.79	6.35	1.09
4/4	40	4	5	1.7	3.08	2.42	4.58	1.22	7.26	1.53	1.9	0.78	8.53	1.13
4,5/3	45	3	5	1.7	2.65	2.08	5.13	1.39	8.13	1.75	2.12	0.89	9.04	1.21

4.5/4	45	4	5	1.7	3.48	2.73	6.63	1.38	10.5	1.74	2.74	0.89	12.1	1.26
4.5/5	45	5	5	1.7	4.29	3.37	8.03	1.37	12.7	1.72	3.33	0.88	15.3	1.3
5/3	50	3	5.5	1.8	2.96	2.32	7.11	1.55	11.3	1.95	2.95	1	12.4	1.33
5/4	50	4	5.5	1.8	3.89	3.05	9.21	1.54	14.6	1.94	3.8	0.99	16.6	1.38
5/5	50	5	5.5	1.8	4.8	3.77	11.2	1.53	17.8	1.92	4.63	0.98	20.9	1.42
5.6/3.5	56	3.5	6	2	3.86	3.03	11.6	1.73	18.4	2.18	4.8	1.12	20.3	1.5
5.6/4	56	4	6	2	4.38	3.44	13.1	1.73	20.8	2.18	5.41	1.11	23.3	1.52
5.6/5	56	5	6	2	5.41	4.25	16	1.72	25.4	2.16	6.59	1.1	29.2	1.57
6.3/4	63	4	7	2.3	4.96	3.9	18.9	1.95	29.9	2.45	7.81	1.25	33.1	1.69
6.3/5	63	5	7	2.3	6.13	4.81	23.1	1.94	36.6	2.44	9.52	1.25	41.5	1.74
6.3/6	63	6	7	2.3	7.28	5.72	27.1	1.93	42.9	2.43	11.2	1.24	50	1.78
7/4.5	70	4.5	8	2.7	6.2	4.87	29	2.16	46	2.72	12	1.39	51	1.88
7/5	70	5	8	2.7	6.86	5.38	31.9	2.16	50.7	2.72	13.2	1.39	56.7	1.9
7/6	70	6	8	2.7	8.15	6.39	37.6	2.15	59.6	2.71	15.5	1.38	68.4	1.94
7/7	70	7	8	2.7	9.42	7.39	43	2.14	68.2	2.69	17.8	1.37	80.1	1.99
7/8	70	8	8	2.7	10.7	8.37	48.2	2.13	76.4	2.68	20	1.37	91.9	2.02
7.5/5	75	5	9	3	7.39	5.8	39.5	2.31	62.6	2.91	16.4	1.49	69.6	2.02
7.5/6	75	6	9	3	8.78	6.89	46.6	2.3	73.9	2.9	19.3	1.48	83.9	2.06
7.5/7	75	7	9	3	10.1	7.96	53.3	2.29	84.6	2.89	22.1	1.48	98.3	2.1
7.5/8	75	8	9	3	11.5	9.02	59.8	2.28	94.9	2.87	24.8	1.47	113	2.15
7.5/9	75	9	9	3	12.8	10.1	66.1	2.27	105	2.86	27.5	1.46	127	2.18
8/5.5	80	5.5	9	3	8.63	6.78	52.7	2.47	83.6	3.11	21.8	1.59	93.2	2.17
8/6	80	6	9	3	9.38	7.36	57	2.47	90.4	3.11	23.5	1.58	102	2.19
8/7	80	7	9	3	10.8	8.51	65.3	2.45	104	3.09	27	1.58	119	2.23
8/8	80	8	9	3	12.3	9.65	73.4	2.44	116	3.08	30.3	1.57	137	2.27
9/6	90	6	10	3.3	10.6	8.33	82.1	2.78	130	3.5	34	1.79	145	2.43
9/7	90	7	10	3.3	12.3	9.64	94.3	2.77	150	3.49	38.9	1.78	169	2.47

9/8	90	8	10	3.3	13.9	10.9	106	2.76	168	3.48	43.8	1.77	194	2.51
9/9	90	9	10	3.3	15.6	12.2	118	2.75	186	3.46	48.6	1.77	219	2.55
10/6,5	100	6.5	12	4	12.8	10.1	122	3.09	193	3.88	50.7	1.99	214	2.68
10/7	100	7	12	4	13.8	10.8	131	3.08	207	3.88	54.2	1.98	231	2.71
10/8	100	8	12	4	15.6	12.2	147	3.07	233	3.87	60.9	1.98	265	2.75
10/10	100	10	12	4	19.2	15.1	179	3.05	284	3.84	74.1	1.96	333	2.83
10/12	100	12	12	4	22.8	17.9	209	3.03	331	3.81	86.9	1.95	402	2.91
10/14	100	14	12	4	26.3	20.6	237	3	375	3.78	99.3	1.94	472	2.99
10/16	100	16	12	4	29.7	23.3	264	2.98	416	3.74	112	1.94	542	3.06
11/7	110	7	12	4	15.2	11.9	176	3.4	279	4.29	72.7	2.19	308	2.96
11/8	110	8	12	4	17.2	13.5	198	3.39	315	4.28	81.8	2.18	353	3
12,5/8	125	8	14	4.6	19.7	15.5	294	3.87	467	4.87	122	2.49	516	3.36
12,5/9	125	9	14	4.6	22	17.3	327	3.86	520	4.86	135	2.48	582	3.4
12,5/10	125	10	14	4.6	24.3	19.1	360	3.85	571	4.84	149	2.47	649	3.45
12,5/12	125	12	14	4.6	28.9	22.7	422	3.82	670	4.82	174	2.46	782	3.53
12,5/14	125	14	14	4.6	33.4	26.2	482	3.8	764	4.78	200	2.45	916	3.61
12,5/16	125	16	14	4.6	37.8	29.6	539	3.78	853	4.75	224	2.44	1051	3.68
14/9	140	9	14	4.6	24.7	19.4	466	4.34	739	5.47	192	2.79	818	3.78
14/10	140	10	14	4.6	27.3	21.5	512	4.33	814	5.46	211	2.78	911	3.82
14/12	140	12	14	4.6	32.5	25.5	602	4.31	957	5.43	248	2.76	1097	3.9
16/10	160	10	16	5.3	31.4	24.7	774	4.96	1229	6.25	319	3.19	1356	4.3
16/11	160	11	16	5.3	34.4	27	844	4.95	1341	6.24	348	3.18	1494	4.35
16/12	160	12	16	5.3	37.4	29.4	913	4.94	1450	6.23	376	3.17	1633	4.39
16/14	160	14	16	5.3	43.3	34	1046	4.92	1662	6.2	431	3.16	1911	4.47
16/16	160	16	16	5.3	49.1	38.5	1175	4.89	1866	6.17	485	3.14	2191	4.55
16/18	160	18	16	5.3	54.8	43	1299	4.87	2061	6.13	537	3.13	2472	4.63
16/20	160	20	16	5.3	60.4	47.4	1419	4.85	2248	6.1	589	3.12	2756	4.7

18/11	180	11	16	5.3	38.4	30.5	1216	5.6	1933	7.05	500	3.59	2128	4.85
18/12	180	12	16	5.3	42.2	33.1	1317	5.59	2093	7.04	540	3.58	2324	4.89
20/12	200	12	18	6	47.1	37	1823	6.22	2896	7.84	749	3.99	3182	5.37
20/13	200	13	18	6	50.9	39.9	1961	6.21	3116	7.83	805	3.98	3452	5.42
20/14	200	14	18	6	54.6	42.8	2097	6.2	3333	7.81	861	3.97	3722	5.46
20/16	200	16	18	6	62	48.7	2353	6.17	3755	7.78	970	3.96	4264	5.54
20/20	200	20	18	6	76.5	60.1	2871	6.12	4560	7.72	1182	3.93	5355	5.7
20/25	200	25	18	6	94.3	74	3466	6.06	5494	7.63	1438	3.91	6733	5.89
20/30	200	30	18	6	111.5	87.6	4020	6	6351	7.55	1688	3.89	8130	6.07
22/14	220	14	21	7	60.4	47.4	2814	6.83	4470	8.6	1159	4.38	4941	5.93
22/16	220	16	21	7	68.6	53.8	3175	6.81	5045	8.58	1306	4.36	5561	6.02
25/16	250	16	24	8	78.4	61.5	4717	7.76	7492	9.78	1942	4.98	8286	6.75
25/18	250	18	24	8	87.7	68.9	5247	7.73	8337	9.75	2158	4.96	9342	6.83
25/20	250	20	24	8	97	76.1	5765	7.71	9160	9.72	2370	4.94	10401	6.91
25/22	250	22	24	8	106.1	83.3	6270	7.69	9961	9.69	2579	4.93	11464	7
25/25	250	25	24	8	119.7	94	7006	7.65	11125	9.64	2887	4.91	13064	7.11
25/28	250	28	24	8	133.1	104.5	7717	7.61	12244	9.59	3190	4.89	14674	7.23
25/30	250	30	24	8	142	111.4	8177	7.59	12965	9.56	3389	4.89	15753	7.31



СОРТАМЕНТ ПРОКАТНОЙ СТАЛИ
Угелки неравнополочные (ГОСТ 8509—72*)

J — момент инерции;
 i — радиус инерции.

№ профиля	Размеры					Площадь сечения, см ²	Вес 1 пог. м, кг	Справочные величины для осей										
	B	b	d	R	r			x-x		y-y		x ₁ - x ₁		y ₁ - y ₁		U-U		Угол наклона оси
								I_x	i_x	I_y	i_y	I_{x_1}	Расстояние от центра тяжести	I_{y_1} мин	Расстояние от центра тяжести	I_{U_1} мин	I_{U_2} мин	
								см ⁴	см	см ⁴	см	см ⁴	см	см ⁴	см	см ⁴	см ⁴	
2,5/1,6/3	25	16	3	3.5	1.2	1.16	0.91	0.7	0.78	0.22	0.44	1.56	0.86	0.43	0.42	0.13	0.34	0.392
3,2/2/3	32	20	3	3.5	1.2	1.49	1.17	1.52	1.01	0.46	0.55	3.26	1.08	0.82	0.49	0.28	0.43	0.382
3,2/2/4	32	20	4	3.5	1.2	1.94	1.52	1.95	1	0.57	0.54	4.38	1.12	1.12	0.53	0.35	0.43	0.374
4/2,5/3	40	25	3	4	1.3	1.89	1.48	3.06	1.27	0.93	0.7	6.37	1.32	1.58	0.59	0.56	0.54	0.385
4/2,5/4	40	25	4	4	1.3	2.47	1.94	3.93	1.26	1.18	0.69	8.53	1.37	2.15	0.63	0.71	0.54	0.381
4,5/2,8/3	45	28	3	5	1.7	2.14	1.68	4.41	1.43	1.32	0.79	9.02	1.47	2.2	0.64	0.79	0.61	0.382
4,5/2,8/4	45	28	4	5	1.7	2.8	2.2	5.68	1.42	1.69	0.78	12.1	1.51	2.98	0.68	1.02	0.6	0.379
5/3,2/3	50	32	3	5.5	1.8	2.42	1.9	6.17	1.6	1.99	0.91	12.4	1.6	3.26	0.72	1.18	0.7	0.403
5/3,2/4	50	32	4	5.5	1.8	3.17	2.49	7.98	1.59	2.56	0.9	16.6	1.65	4.42	0.76	1.52	0.69	0.401
5,6/3,6/3,5	56	36	3.5	6	2	3.16	2.48	10.1	1.79	3.3	1.02	20.3	1.8	5.43	0.82	1.95	0.79	0.407
5,6/3,6/4	56	36	4	6	2	3.58	2.81	11.4	1.78	3.7	1.02	23.2	1.82	6.25	0.84	2.19	0.78	0.406

6,3/4/4	63	40	4	7	2.3	4.04	3.17	16.3	2.01	5.16	1.13	33	2.03	8.51	0.91	3.07	0.87	0.397
6,3/4/5	63	40	5	7	2.3	4.98	3.91	19.9	2	6.26	1.12	41.4	2.08	10.8	0.95	3.72	0.86	0.396
6,3/4/6	63	40	6	7	2.3	5.9	4.63	23.3	1.99	7.28	1.11	49.9	2.12	13.1	0.99	4.36	0.86	0.393
6,3/4/8	63	40	8	7	2.3	7.68	6.03	29.6	1.96	9.15	1.09	66.9	2.2	17.9	1.07	5.58	0.85	0.386
7/4,5/4,5	70	45	4.5	7.5	2.5	5.07	3.98	25.3	2.23	8.25	1.28	51	2.25	13.6	1.03	4.88	0.98	0.407
7/4,5/5	70	45	5	7.5	2.5	5.59	4.39	27.8	2.23	9.05	1.27	56.7	2.28	15.2	1.05	5.34	0.98	0.406
7,5/5/5	75	50	5	8	2.7	6.11	4.79	34.8	2.39	12.5	1.43	69.7	2.39	20.8	1.17	7.24	1.09	0.436
7,5/5/6	75	50	6	8	2.7	7.25	5.69	40.9	2.38	14.6	1.42	83.9	2.44	25.2	1.21	8.48	1.08	0.435
7,5/5/8	75	50	8	8	2.7	9.47	7.43	52.4	2.35	18.5	1.4	112	2.52	34.2	1.29	10.9	1.07	0.43
8/5/5	80	50	5	8	2.7	6.36	4.99	41.6	2.56	12.7	1.41	84.6	2.6	20.8	1.13	7.58	1.09	0.387
8/5/6	80	50	6	8	2.7	7.55	5.92	49	2.55	14.8	1.4	102	2.65	25.2	1.17	8.88	1.08	0.386
9/5,6/5,5	90	56	5.5	9	3	7.86	6.17	65.3	2.88	19.7	1.58	132	2.92	32.2	1.26	11.8	1.22	0.384
9/5,6/6	90	56	6	9	3	8.54	6.7	70.6	2.88	21.2	1.58	145	2.95	35.2	1.28	12.7	1.22	0.384
9/5,6/8	90	56	8	9	3	11.18	8.77	90.9	2.85	27.1	1.56	194	3.04	47.8	1.36	16.3	1.21	0.38
10/6,3/6	100	63	6	10	3.3	9.59	7.53	98.3	3.2	30.6	1.79	198	3.23	49.9	1.42	18.2	1.38	0.393
10/6,3/7	100	63	7	10	3.3	11.1	8.7	113	3.19	35	1.78	232	3.28	58.7	1.46	20.8	1.37	0.392
10/6,3/8	100	63	8	10	3.3	12.6	9.87	127	3.18	39.2	1.77	266	3.32	67.6	1.5	23.4	1.36	0.391
10/6,3/10	100	63	10	10	3.3	15.5	12.1	154	3.15	47.1	1.75	333	3.4	85.8	1.58	28.3	1.35	0.387
11/7/6,5	110	70	6.5	10	3.3	11.4	8.98	142	3.53	45.6	2	286	3.55	74.3	1.58	26.9	1.53	0.402
11/7/7	110	70	7	10	3.3	12.3	9.64	152	3.52	48.7	1.99	309	3.57	80.3	1.6	28.8	1.53	0.402
11/7/8	110	70	8	10	3.3	13.9	10.9	172	3.51	54.6	1.98	353	3.61	92.3	1.64	32.3	1.52	0.4
12,5/8/7	125	80	7	11	3.7	14.1	11	227	4.01	73.7	2.29	452	4.01	119	1.8	43.4	1.76	0.407
12,5/8/8	125	80	8	11	3.7	16	12.5	256	4	83	2.28	518	4.05	137	1.84	48.8	1.75	0.406
12,5/8/10	125	80	10	11	3.7	19.7	15.5	312	3.98	100	2.26	649	4.14	173	1.92	59.3	1.74	0.404
14/9/8	140	90	8	12	4	18	14.1	364	4.49	120	2.58	727	4.49	194	2.03	70.3	1.98	0.411
14/9/10	140	90	10	12	4	22.2	17.5	444	4.47	146	2.56	911	4.58	245	2.12	85.5	1.96	0.409
16/10/9	160	100	9	13	4.3	22.9	18	606	5.15	186	2.85	1221	5.19	300	2.23	110	2.2	0.391

16/10/10	160	100	10	13	4.3	25.3	19.8	667	5.13	204	2.84	1359	5.23	335	2.28	121	2.19	0.39
16/10/12	160	100	12	13	4.3	30	23.6	784	5.11	239	2.82	1634	5.32	405	2.36	142	2.18	0.388
16/10/14	160	100	14	13	4.3	34.7	27.3	897	5.08	272	2.8	1910	5.4	477	2.43	162	2.16	0.385
18/11/10	180	110	10	14	4.7	28.3	22.2	952	5.8	276	3.12	1933	5.88	444	2.44	165	2.42	0.375
18/11/12	180	110	12	14	4.7	33.7	26.4	1123	5.77	324	3.1	2324	5.97	537	2.52	194	2.4	0.374
20/12,5/11	200	125	11	14	4.7	34.9	27.4	1449	6.45	446	3.58	2920	6.5	718	2.79	264	2.75	0.392
20/12,5/12	200	125	12	14	4.7	37.9	29.7	1568	6.43	482	3.57	3189	6.54	786	2.83	285	2.74	0.392
20/12,5/14	200	125	14	14	4.7	43.9	34.4	1801	6.41	551	3.54	3726	6.62	922	2.91	327	2.73	0.39
20/12,5/16	200	125	16	14	4.7	49.8	39.1	2026	6.38	617	3.52	4264	6.71	1061	2.99	367	2.72	0.388
25/16/12	250	160	12	18	6	48.3	37.9	3147	8.07	1032	4.62	6212	7.97	1634	3.53	604	3.54	0.41
25/16/16	250	160	16	18	6	63.6	49.9	4091	8.02	1333	4.58	8308	8.14	2200	3.69	781	3.5	0.408
25/16/18	250	160	18	18	6	71.1	55.8	4545	7.99	1475	4.56	9358	8.23	2487	3.77	866	3.49	0.407
25/16/20	250	160	20	18	6	78.5	61.7	4987	7.97	1613	4.53	10410	8.31	2776	3.85	949	3.48	0.405

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. Учебник для втузов. Изд. 4-е. — М.: Высш. школа, 1975. — 736 с.
2. Сопротивление материалов. Феодосьев В.И. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва “Наука”. 1972. - 544 с.
3. Сопротивление материалов / Под ред. Писаренко Г.С.—5-е изд., перераб. и доп.—К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. —775 с.
4. Сопротивление материалов. Н.М. Беляев, Главная редакция физико-математической литературы изд-ва “Наука”, 1976. - 608 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составители: Хвисевич Виталий Михайлович
Даркович Сергей Семенович
Веремейчик Андрей Иванович

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольной работы
по курсу «Механика материалов» для студентов
специальности I-36 01 01 «Технология машиностроения»
факультета ИДУ и Ф

Ответственный за выпуск: Хвисевич В.М.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная верстка: Веремейчик А.И.

Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано к печати 1.06. 2009г. Бумага писч. № 1. Гарнитура Times New Roman. Усл. Печ. Л. 2,6 Уч.изд. л. 2,75
Заказ № 467 Тираж 90 экз. Отпечатано на ризографе
учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

224017, г.Брест, ул.Московская, 267