

Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени С. М. Кирова»

Кафедра механики

А. И. Фурин, кандидат технических наук, доцент
А. В. Назарук, кандидат технических наук, доцент
А. С. Кривоногова, кандидат технических наук, доцент
В. В. Сергеевичев, доктор технических наук, профессор
Н. Ю. Супонина, кандидат технических наук, доцент

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие
по выполнению расчётных работ
для подготовки бакалавров очной формы обучения

Санкт-Петербург
2016

Рассмотрено и рекомендовано к изданию
Институтом технологических машин и транспорта леса
Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета
27 июня 2016 г.

Отв. редактор
кандидат технических наук, доцент **А. С. Кривоногова**

Рецензенты:
**кафедра турбин, гидромашин и авиационных двигателей
Института энергетики и транспортных систем
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого**
(зав. кафедрой кандидат технических наук, профессор **Н. А. Забелин**),
В. Н. Глухих, доктор технических наук, профессор кафедры механики
Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного
университета

УДК 624.04

Фурин, А. И.

Сопротивление материалов: учебное пособие по выполнению расчётных работ для подготовки бакалавров очной формы обучения / А. И. Фурин [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 76 с.

ISBN 978-5-9239-0865-7

Представлено кафедрой механики.

Учебное пособие разработано для выполнения студентами расчётно-графических, контрольных и курсовых работ, в процессе изучения курса сопротивления материалов. При составлении учебного пособия использовались разработки кафедры теоретической и строительной механики СПбГЛТУ.

Кафедра механики СПбГЛТУ выражает благодарность за обеспечение технической поддержки при составлении данного учебного пособия аспиранту И. В. Бачерикову.

Ил. 29. Библиогр. 28 назв.

Темплан 2016 г. Изд. №. 169.
ISBN 978-5-9239-0865-7

© СПбГЛТУ, 2016

ВВЕДЕНИЕ

В представленном курсе «Сопротивление материалов» рассматриваются стержни и простейшие стержневые системы. Тело, два измерения которого малы по сравнению с третьим – длиной, называется стержнем. Сечение стержня, перпендикулярное его образующим, называется поперечным, а геометрическое место центров тяжести поперечных сечений – продольной осью стержня. Воображаемая линия, соединяющая подобно расположенные точки поперечных сечений, называется волокном стержня. Под действием внешних сил стержень деформируется, то есть изменяет свои размеры и форму. Взаимные перемещения частиц стержня влекут за собой изменение сил взаимодействия между ними. Таким образом, в результате деформации стержня возникают дополнительные внутренние силы. Для определения внутренних сил, возникающих в стержне при деформации, применяют метод сечений. В общем случае в сечении могут действовать 3 силы и 3 момента. Определение внутренних сил и моментов будет показано в примерах выполнения расчётных заданий.

1. ОСЕВОЕ РАСТЯЖЕНИЕ – СЖАТИЕ СТЕРЖНЕЙ

При действии продольных сил в поперечных сечениях стержня действует только продольная сила N , остальные силовые факторы равны нулю.

Из уравнений статики следует, что продольная сила N в поперечном сечении численно равна алгебраической сумме проекций на продольную ось стержня всех внешних сил, приложенных по одну сторону от рассматриваемого сечения. Растягивающая продольная сила считается положительной «+», а сжимающая сила – отрицательной «-». При определении продольной силы N целесообразно рассматривать равновесие той части стержня, к которой приложено меньшее число сил. График изменения N по длине стержня называется эпюрой продольной силы.

От действия продольной силы в поперечном сечении стержня возникают нормальные напряжения, которые вычисляются по формуле

$$\sigma = \frac{N}{A}, \quad (1.1)$$

где N – продольная сила в рассматриваемом сечении, кН; A – площадь сечения, м²; σ – нормальные напряжения, МПа.

Имея значения наибольших напряжений σ_{\max} , можно в дальнейшем оценить его прочность по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} \leq \sigma_{\text{adm}}, \quad (1.2)$$

где σ_{adm} – допускаемое напряжение.

Большой интерес с практической точки зрения представляет деформация стержня в продольном направлении Δl

$$\Delta l = \frac{Nl}{EA}, \quad (1.3)$$

где E – модуль упругости материала стержня, МПа.

Удлинение всего стержня вычисляется как сумма удлинений всех его участков.

1.1. Задание 1

Расчёт стержня, находящегося под действием продольных сил

Требуется: вычислить напряжения во всех характерных сечениях стержня и величину перемещения двух заданных сечений стержня.

1.1.1. Условия задания 1

1. Задание состоит из одной задачи.
2. Схема стержня изображена на рис. 1.1.
3. Числовые данные указаны в табл. 1.1.
4. Для расчёта перемещений принять $E=2 \cdot 10^5$ МПа.

Последовательность выполнения задания:

1. Выбор варианта по номеру зачётной книжки студента: три последние цифры номера зачётной книжки раскладываются на сотни – № 1, десятки – № 2 и единицы – № 3. Например, № 017: № – 000, № 2 – 10, № 3 – 7 из табл. 1.1.

Данные для задания 1

Таблица 1.1

№ 1 сотни	a , м	b , м	№ 2 десятки	F_1 , кН	F_2 , кН	№ 3 единицы	Схема (рис. 1.1)
100	1,2	0,8	10	1400	900	1	1
200	1,2	1,0	20	1400	800	2	2
300	1,2	1,4	30	1400	600	3	3
400	1,0	1,6	40	1400	500	4	4
500	1,0	1,4	50	1200	800	5	5
600	0,8	1,2	60	1200	700	6	6
700	1,0	1,2	70	1200	500	7	7
800	1,2	1,6	80	1200	400	8	8
900	1,4	1,2	90	1100	700	9	9
000	1,6	1,2	00	1100	500	0	0

Варианты схем задания 1

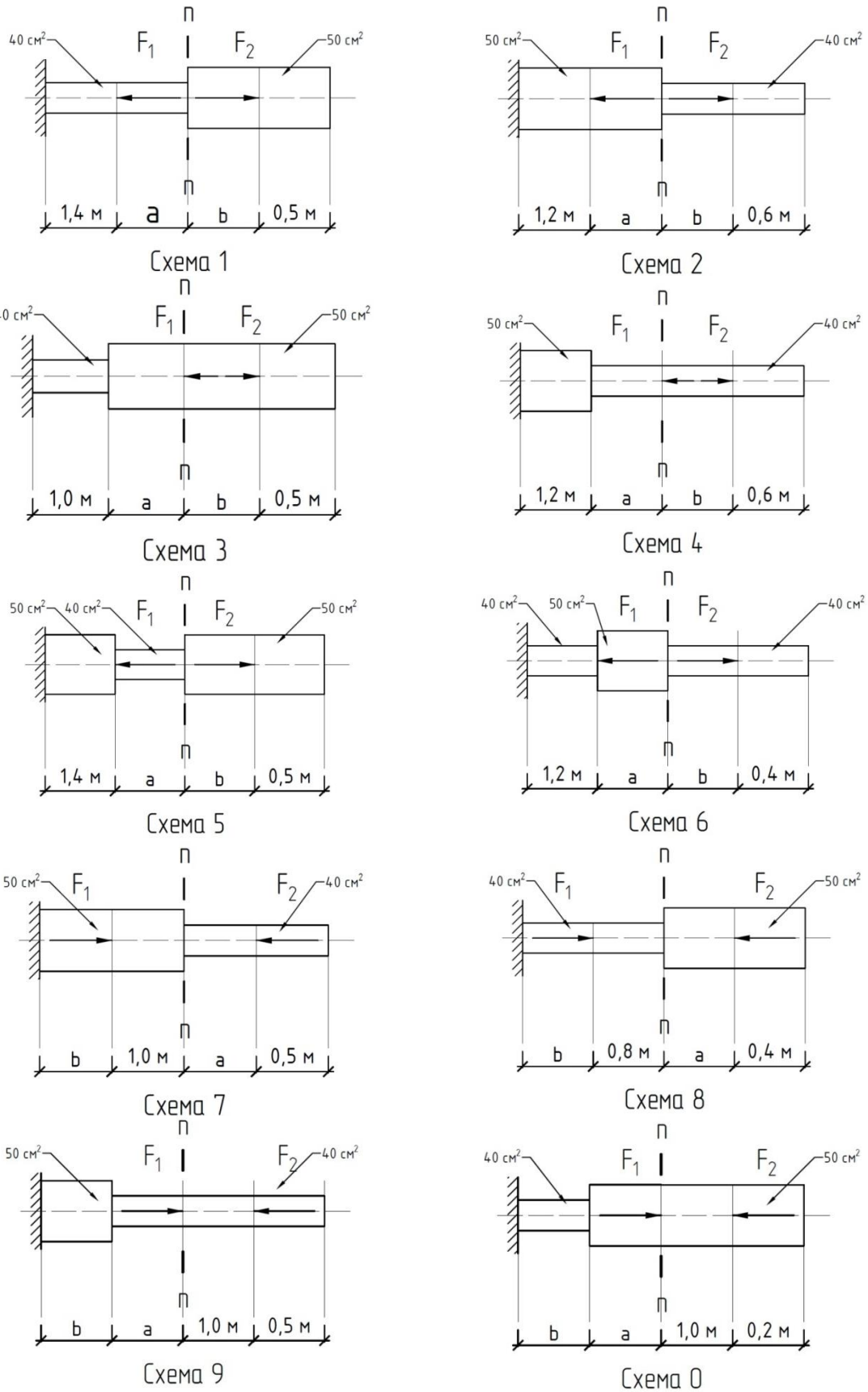


Рис. 1.1. Схемы задания 1

2. Вычертить схему стержня с приложенными силами, соблюдая масштаб размеров по длине стержня. Проставить числовые значения размеров и сил.

3. Отобразить реакцию опоры и вычислить её величину.

4. Установить число участков. Под участком понимают часть стержня, в пределах которой не изменяются ни продольная сила, ни площадь поперечного сечения.

5. На каждом участке перпендикулярно продольной оси стержня нанести сечения. Занумеровать эти сечения арабскими цифрами, например, 1–1, 2–2 и т. д.

6. Для каждого участка вычислить величину продольной силы $N_1, N_2, N_i, \dots, N_n$ с учётом знака. Продольная растягивающая сила имеет знак «+», а продольная сжимающая сила знак «-».

7. Построить эпюру продольных сил N , то есть построить график изменения величины продольного усилия N в сечениях по длине стержня. На эпюре продольных сил следует написать числовые значения всех характерных ординат с указанием их размерности.

8. Вычислить величины нормальных напряжений σ для каждого участка по поперечным сечениям. Растягивающие напряжения имеют знак «+», а сжимающие знак «-».

9. Вычислить величину продольной деформации для каждого участка. Деформация удлинения имеет знак «+», а укорочения знак «-».

10. Вычислить перемещение сечения $n - n$, обозначенного на эскизе задания.

11. Вычислить, на какую величину изменится длина всего стержня.

Примечание. На рис. 1.1 силы F_1 и F_2 приложены в точке, соответствующей вершине стрелки.

1.1.2. Пример выполнения задания 1

Для стального стержня рис. 1.2 ($E=2 \cdot 10^5$ МПа) требуется:

- 1) построить эпюру продольных сил;
- 2) вычислить нормальные напряжения во всех характерных сечениях и построить эпюру напряжений;
- 3) вычислить удлинение каждого участка;
- 4) вычислить перемещение сечения $n - n$ и определить удлинение всего стержня.

Решение задачи рекомендуется проводить в указанной ниже последовательности:

1. Вычерчиваем расчётную схему стержня с приложенными силами, соблюдая масштаб размеров по его длине. Проставляем численные значения размеров и сил (рис. 1.2, а).

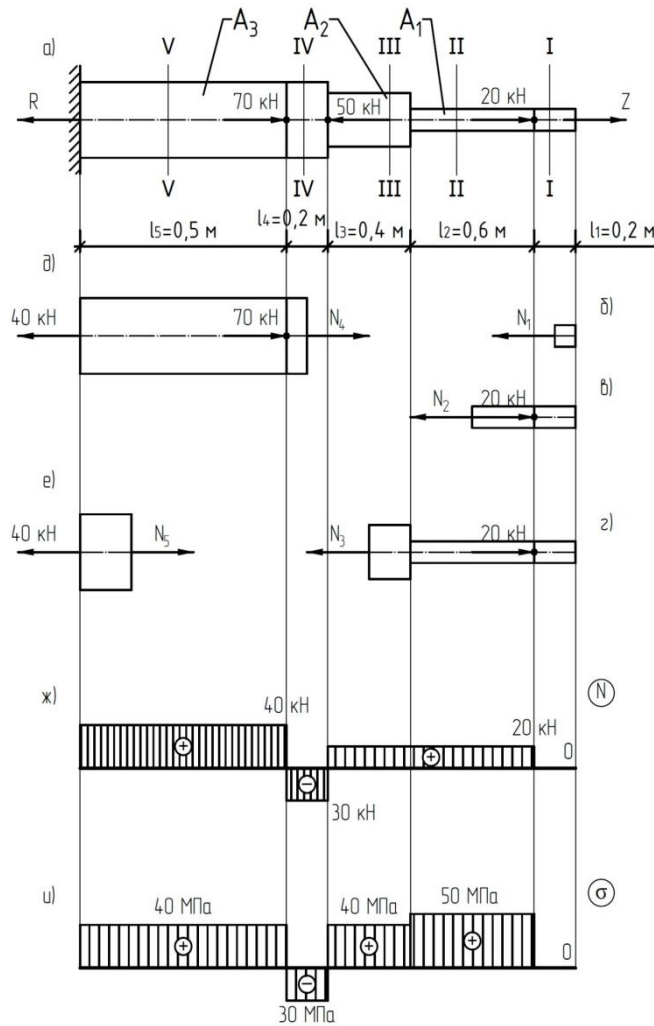


Рис. 1.2. Пример выполнения решения задания 1

2. Отображаем опорную реакцию R в защемлении, направление вектора опорной реакции указываем произвольно, определяем её величину, проецируя все силы, приложенные к стержню, на продольную ось z , совпадающую с продольной осью стержня:

$$\sum_{i=1}^n F_{i(z)} = 0; 20 - 50 + 70 - R = 0;$$

$$R = 40 \text{ кН}$$

Знак «+» при найденной опорной реакции R , в результате решения уравнения, указывает на то, что направление опорной реакции изначально выбрано верно.

3. Устанавливаем число участков стержня. Под участком понимается часть стержня по его длине, в пределах которой не изменяется ни продольная сила, ни площадь поперечного сечения. В рассматриваемом стержне таких участков пять (рис. 1.2, а).

4. Вычисляем для каждого участка величину продольной силы N . Для этого на первом участке перпендикулярно продольной оси стержня прове-

дём сечение 1–1, отбросим левую часть стержня и рассмотрим равновесие правой его части, изображённой отдельно на рис. 1.2, б. Действие отброшенной части на оставшуюся часть заменяем продольной силой N_1 . Удобнее всегда изображать продольную силу растягивающей, то есть направленной в сторону внешней нормали рассматриваемого сечения. Тогда полученный в результате решения уравнения статики знак при продольной силе N автоматически отразит действительный характер деформации: «+» – растяжение, «-» – сжатие. Составляя уравнение статики для рассматриваемой части стержня (рис. 1.2, б), получим

$$\sum_{i=1}^n F_{i(z)} = 0; N_1 = 0.$$

Проведя сечение 2–2, 3–3 и рассматривая равновесие правых частей стержня (рис. 1.2, в и 1.2, г), получим:

$$\sum_{i=1}^n F_{i(z)} = 0; 20 - N_2 = 0; N_2 = 20 \text{ кН (растяжение)}.$$

$$\sum_{i=1}^n F_{i(z)} = 0; 20 - N_3 = 0; N_3 = 20 \text{ кН (растяжение)}.$$

Проведя сечение 4–4, 5–5 и рассматривая равновесие левых частей стержня (рис. 1.2, д и 1.2, е), получим:

$$\sum_{i=1}^n F_{i(z)} = 0; N_4 + 70 - 40 = 0; N_4 = -30 \text{ кН (сжатие)}.$$

$$\sum_{i=1}^n F_{i(z)} = 0; N_5 - 40 = 0; N_5 = 40 \text{ кН (растяжение)}.$$

Ещё раз стоит отметить, что при определении продольной силы N следует рассматривать равновесие той части стержня, к которой приложено меньшее число сил.

5. Строим эпюру продольных сил N , то есть график изменения усилий N в сечениях по длине стержня. Величину продольной силы N , величина ординаты, на всех участках откладываем перпендикулярно нулевой линии, оси абсцисс, с учётом знака («+» – растяжение откладывается выше оси абсцисс, «-» – сжатие откладывается ниже оси абсцисс) и в одном масштабе. Эпюру продольных сил N принято штриховать вертикальной штриховкой – обозначение величины ординаты в сечениях (рис. 1.2, ж).

6. Вычисляем нормальные напряжения во всех характерных сечениях стержня:

$$\text{на первом участке: } \sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = 0$$

$$\text{на втором участке: } \sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{20 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^{-4}} = 5 \cdot 10^7 \text{ Па} = 50 \text{ МПа};$$

на третьем участке: $\sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = \frac{20 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^{-4}} = 4 \cdot 10^7 \text{ Па} = 40 \text{ МПа}$

на четвёртом участке: $\sigma_4 = \frac{N_4}{A_4} = -\frac{30 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-4}} = -3 \cdot 10^7 \text{ Па} = -30 \text{ МПа}$

на пятом участке: $\sigma_5 = \frac{N_5}{A_5} = \frac{40 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-4}} = 4 \cdot 10^7 \text{ Па} = 40 \text{ МПа}$.

7. Вычисляем удлинение каждого участка стержня:

$$\Delta l_1 = \frac{N_1 l_1}{EA_1} = 0$$

$$\Delta l_2 = \frac{N_2 l_2}{EA_2} = \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 0,6}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-4}} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,15 \text{ мм};$$

$$\Delta l_3 = \frac{N_3 l_3}{EA_3} = \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 0,4}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = 0,08 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,08 \text{ мм};$$

$$\Delta l_4 = \frac{N_4 l_4}{EA_4} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 0,2}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} = -0,03 \cdot 10^{-3} \text{ м} = -0,03 \text{ мм};$$

$$\Delta l_5 = \frac{N_5 l_5}{EA_5} = \frac{40 \cdot 10^3 \cdot 0,5}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,1 \text{ мм}.$$

8. Вычисляем перемещение сечения $n-n$. Оно обусловлено изменением длины части стержня от заделки до сечения $n-n$ и для рассматриваемого примера равно алгебраической сумме удлинений пятого, четвёртого и третьего участков:

$$\Delta l_{n-n} = \Delta l_5 + \Delta l_4 + \Delta l_3 = 0,1 - 0,03 + 0,08 = 0,15 \text{ мм}.$$

9. Вычисляем изменение длины всего стержня. Оно равно алгебраической сумме удлинений всех пяти участков стержня:

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 + \Delta l_4 + \Delta l_5 = 0 + 0,15 + 0,08 - 0,03 + 0,1 = 0,3 \text{ мм}.$$

Решение завершено.

2. ПЛОСКИЙ ИЗГИБ БАЛОК

Стержень, испытывающий деформацию изгиба, называется балкой. При изгибе прямая до деформации продольная ось балки искривляется. Ниже рассматриваются балки, имеющие продольную плоскость симметрии. Изгиб может быть вызван парами сил, сосредоточенными и распределёнными силами, перпендикулярными к оси балки.

Если плоскость действия внешних сил совпадает с продольной плоскостью симметрии балки, то изогнутая ось располагается в той же плоскости и такой изгиб называется плоским.

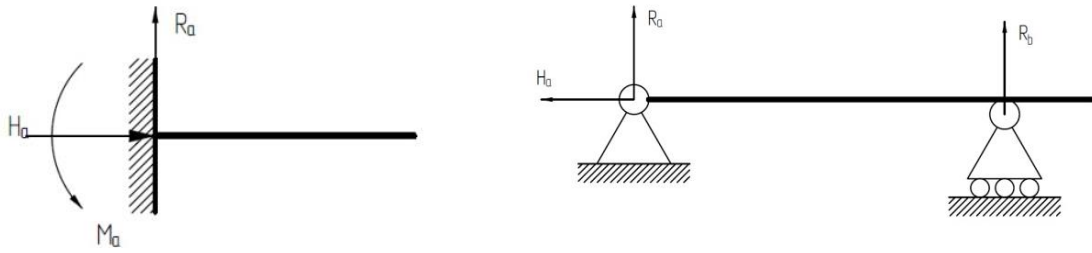


Рис. 2.1. Способы закрепления балок:
а. жёсткая заделка; **б.** шарнирное закрепление

Из курса теоретической механики известно, что любое тело в плоскости обладает тремя степенями свободы. Поэтому для обеспечения кинематической неизменяемости балки необходимо наложить на неё в этой же плоскости по крайней мере три связи. Это может быть сделано при помощи одной заделки (рис. 2.1, *а*) или одной шарнирно-неподвижной и одной шарнирно-подвижной опоры (рис. 2.1, *б*). Балки, закреплённые таким образом, являются не только кинематически неизменяемыми, но и статически определимыми, то есть все реакции опор в закреплениях таких балок могут быть найдены из уравнений статики.

2.1. Понятие об изгибающем моменте и поперечной силе

Рассмотрим балку (рис. 2.2, *а*) нагруженную силами $F_1, F_2 \dots F_5$, лежащими в продольной плоскости симметрии балки. В число этих сил входят и опорные реакции балки. Под действием этих сил балка находится в равновесии. Для исследования внутренних сил, возникающих в балке при изгибе, воспользуемся методом сечений. Вообразим, что сечением 1–1 балка разрезана на две части *A* и *B* (рис. 2.2, *б*), и правая часть *B* отброшена.

Действие отброшенной части *B* на оставшуюся часть *A* заменяем внутренними силами, распределёнными непрерывно по рассматриваемому сечению 1–1, которые приводятся к поперечной силе Q и изгибающему моменту M . Под действием внешних сил F_1 и F_4 , а также Q и M в рассматриваемом сечении (рис. 2.2, *б*) левая часть балки находится в равновесии. Для определения поперечных усилий Q и изгибающих моментов M используем следующие уравнения равновесия левой части балки (рис. 2.2, *б*):

$$\sum_{i=1}^n F_{i(y)} = 0; F_4 - F_1 - Q = 0; Q = A_4 - A_1 = \sum_{i=1}^n F_{i(y)}$$

$$\sum_{i=1}^n M_o = 0; F_4 \cdot z - F_1 \cdot (z - l_1) - M = 0;$$

$$M = F_4 \cdot z - F_1 (z - l_1) = \sum_{i=1}^n M_o$$

Очевидно, определить Q и M можно и из условий равновесия правой части балки:

$$\sum_{i=1}^n F_{i(y)}^{i\delta}; \sum_{i=1}^n M_o^{i\delta}$$

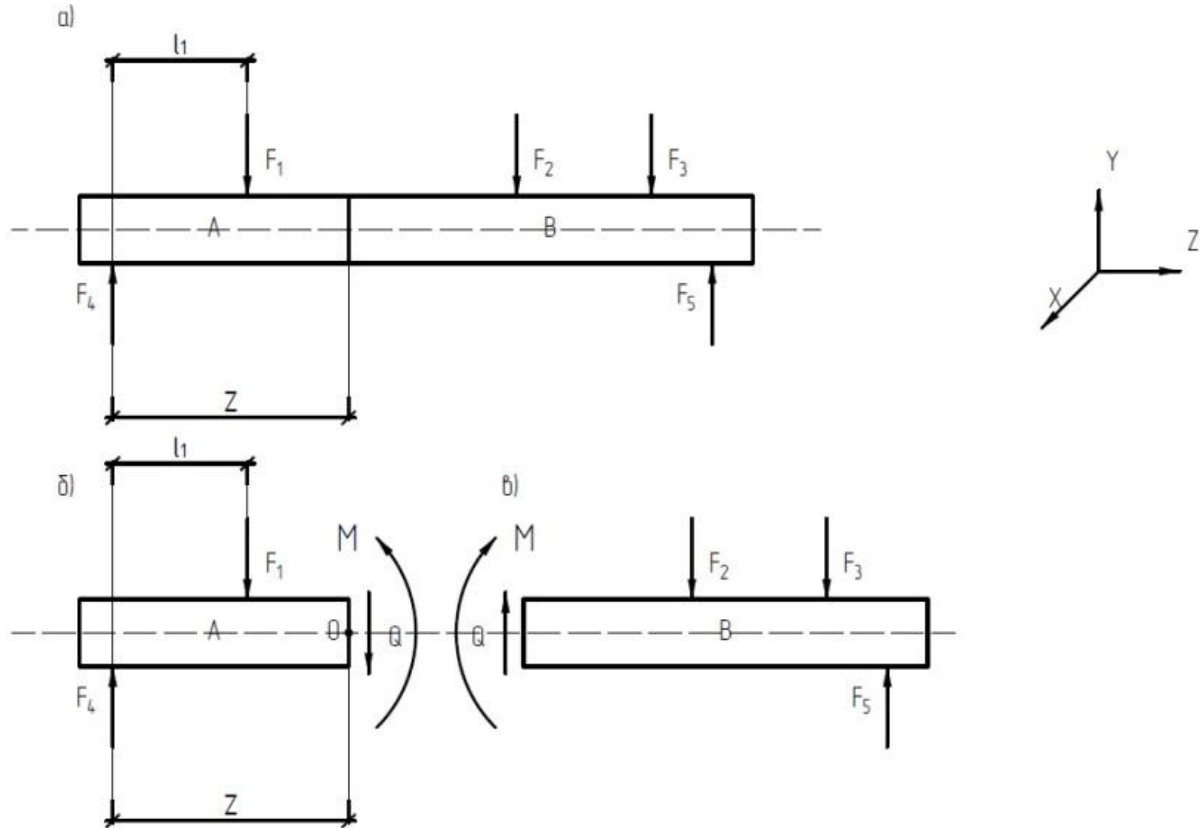


Рис. 2.2. Внутренние усилия в балке, возникающие при плоском изгибе

Таким образом, поперечная сила Q в сечениях численно равна алгебраической сумме проекций на перпендикуляр к оси балки всех внешних сил, расположенных по одну (любую) сторону от рассматриваемого сечения. Изгибающий момент M в сечениях численно равен алгебраической сумме моментов всех внешних сил относительно заданного центра, расположенных по одну (любую) сторону от рассматриваемого сечения, относительно оси, перпендикулярной плоскости действия сил и проходящей через центр тяжести сечения.

Условимся о правилах знаков для определения поперечных сил Q и изгибающих моментов M . Положительные значения «+» Q в сечении дают внешние силы, направленные вверх, если они расположены слева от рассматриваемого сечения, и направленные вниз, если они расположены справа от сечения, т. е. обходят сечение по часовой стрелке (рис. 2.3, а). И, соответственно, если обходят сечение против часовой стрелки – имеют отрицательное «-» значение.

Изгибающий момент в сечении балки считается положительным «+», если равнодействующий момент внешних сил слева от сечения направлен

по часовой стрелке, а справа – против часовой стрелки, т. е. изгибает ось балки вверх (рис. 2.3, б). И, соответственно, если изгибает ось балки вниз – имеет отрицательное «-» значение. Поперечная сила Q и изгибающий момент M в общем случае не являются постоянными по длине балки, а меняются в зависимости от абсциссы рассматриваемого сечения. Поэтому иногда поперечную силу и изгибающий момент обозначают соответственно: $Q_{(z)}$ и $M_{(z)}$. График изменения поперечной силы Q по длине балки называется эпюрой поперечной силы. График изменения изгибающего момента M по длине балки называется эпюрой изгибающего момента. Положительные значения «+» Q и M на эпюрах откладываются выше оси абсцисс, отрицательные «-» – ниже оси абсцисс. При этом эпюра изгибающего момента оказывается построенной со стороны сжатых волокон балки. В некоторых курсах сопротивления материалов и строительной механики принято обозначение на эпюрах изгибающих моментов M положительного «+» значения ниже оси абсцисс, а отрицательного «-» значения – выше оси абсцисс, что отражает характер деформации, происходящей при плоском изгибе, в этом случае эпюра изгибающего момента оказывается построенной со стороны растянутых волокон балки.

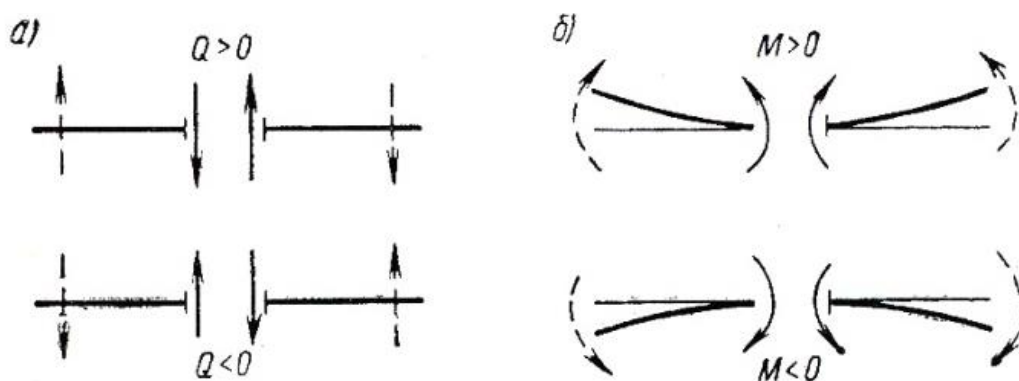


Рис. 2.3. Правило знаков для определения поперечной силы и изгибающего момента

2.2. Порядок построения эпюр поперечных сил $Q_{(z)}$ и изгибающих моментов $M_{(z)}$

Нормальные напряжения σ , действующие в поперечном сечении балки, зависят от изгибающего момента M , а касательные напряжения τ – от поперечной силы Q .

Поэтому, при проверке прочности балки по нормальным и касательным напряжениям необходимо предварительно установить наибольшие по модулю значения M и Q , что можно сделать, построив для заданной балки эпюры поперечной силы и изгибающего момента.

Рекомендуется следующий порядок построения эпюр:

1. Вычерчивается с учётом масштаба длин расчётная схема балки с заданными нагрузками. Проставляются численные значения размеров и нагрузок.

2. Изображаются реакции опор балки и вычисляются их величины. При этом необходимо иметь в виду следующее:

а) в уравнениях равновесия моменты нагрузок, действующие против часовой стрелки, принято считать положительными;

б) если на балку действует распределённая нагрузка, то её следует заменить равнодействующей, приложенной в центре тяжести эпюры распределённой нагрузки;

в) если какая-нибудь реакция в результате вычисления получается отрицательной, то необходимо на расчётной схеме изменить её направление на противоположное и в дальнейшем считать эту реакцию положительной.

3. Балка разбивается на участки. Участком называется часть балки по её длине, на которой характер нагрузки остаётся неизменным.

4. Для произвольного сечения каждого участка составляются выражения $Q_{(z)}$ и $M_{(z)}$, по которым и строятся эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. На эпюрах следует указать численные значения Q и M на границах участков, а также значения $|Q|_{\max}$ и $|M|_{\max}$. В пределах каждой эпюры следует соблюдать одинаковый масштаб изображаемых величин.

5. При построении эпюр Q и M руководствуются правилами контроля построения эпюр, основанных на дифференциальных зависимостях:

$$\frac{dM}{dx} = Q \text{ и } \frac{dQ}{dx} = q \quad (2.1)$$

2.3. Задание 2

Расчёт статически определимых балок

Требуется:

а) подобрать размеры поперечного сечения для балок;

б) вычислить наибольшие нормальные и касательные напряжения при выбранных размерах поперечного сечения и сопоставить их с допускаемыми напряжениями;

в) вычислить нормальные и касательные напряжения в заданной точке балки прямоугольного поперечного сечения.

2.3.1. Условия задания 2

1. Для студентов всех направлений подготовки задание состоит из четырёх задач с подбором сечений. Расчётные схемы балок изображены на рис. 2.4.

2. Числовые данные указаны в табл. 2.1.

3. Профили поперечного сечения балок представлены на рис. 2.5.

4. Допускаемые напряжения: для стали $\sigma_{adm}=160$ МПа; $\tau_{adm}=100$ МПа; для чугуна $\sigma_{adm}=60$ МПа, $\tau_{adm} =40$ МПа; для сосны $\sigma_{adm} =12$ МПа; $\tau_{adm} =1,5$ МПа.

Последовательность выполнения задания:

1. Выбор варианта по номеру зачётной книжки студента (аналогично выбору задания 1, пример см. на с. 4: три последние цифры зачётной книжки раскладываются на сотни – № 1 десятки – № 2 и единицы – № 3. Например, № 345: № – 300, № 2 – 40, № 3 – 5 из табл. 2.1.

Данные для задания 2

Таблица 2.1

№ 1 сотни	M , кНм	a , м	№ 2 десятки	F , кН	q , кН/м	№ 3 единицы	Схема (рис. 2.4)
100	24	2	10	30	8	1	1
200	30	3	20	20	6	2	2
300	38	4	30	22	7	3	3
400	30	2	40	28	8	4	4
500	36	3	50	30	10	5	5
600	20	2	60	20	7	6	6
700	32	4	70	24	6	7	7
800	36	2	80	28	10	8	8
900	24	3	90	22	6	9	9
000	36	4	00	24	7	0	0

2. Вычертить расчётную схему балки с заданными нагрузками, соблюдая масштаб размеров по длине балки. Проставить числовые значения размеров и нагрузок.

3. Отобразить опорные реакции и вычислить их величины.

4. Установить число участков.

5. Нанести сечения в начале и в конце каждого участка, занумеровать их арабскими цифрами и вычислить значения Q и M в сечениях.

6. Построить эпюры Q и M . Проставить числовые значения Q и M с указанием размерности на границах участков и в сечениях, где Q и M имеют экстремальные значения.

В пределах каждой эпюры следует соблюдать один масштаб для откладываемых величин.

7. Для каждой из четырёх вариантов балок по допускаемым напряжениям σ_{adm} подобрать размеры одного из следующих профилей поперечного сечения (в порядке убывания наибольшего изгибающего момента):

а) для балки с самым большим значением наибольшего изгибающего момента выбрать профиль 1 по рис. 2.5 (двутавр), материал – сталь;

б) для балки с немного меньшим значением наибольшего изгибающего момента – профиль 2 по рис. 2.5 (два швеллера), материал – сталь;

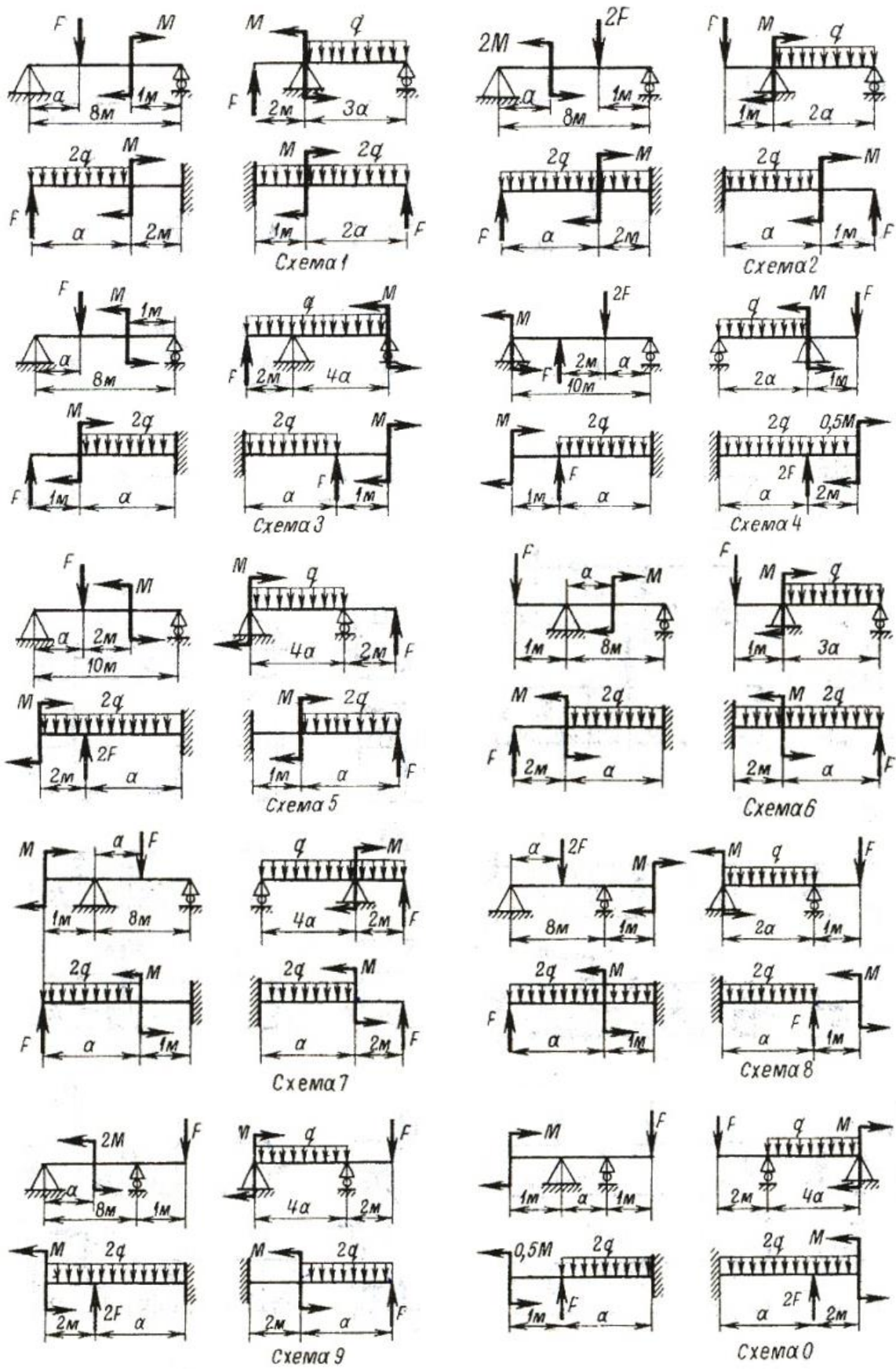


Рис. 2.4. Схемы задания 2

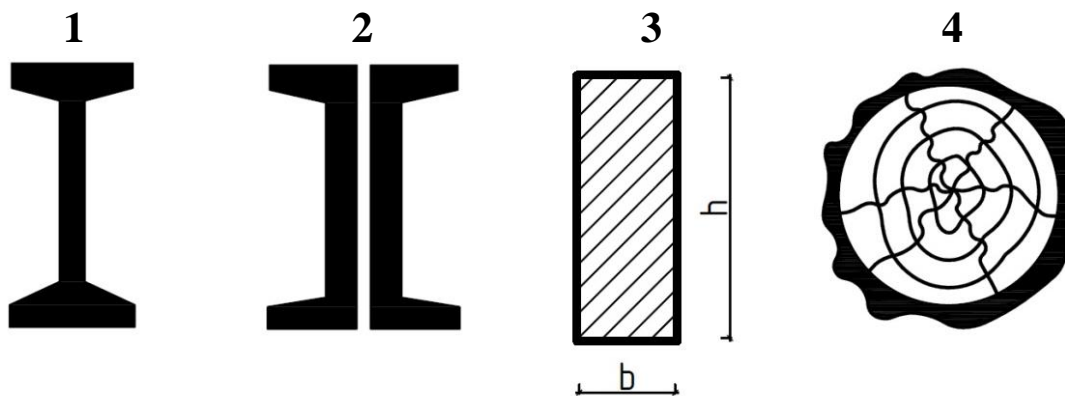


Рис. 2.5. Профили поперечных сечений задания 2

профиль 1 –
двутавр

профиль 2 – два
швеллера

профиль 3 –
прямоугольное
сечение

профиль 4 – бревно

в) для балки с ещё меньшим значением – профиль 3 по рис. 2.5 (прямоугольное при соотношении сторон $h=4b$), материал – чугун;

г) для балки с самым малым значением наибольшего изгибающего момента, профиль 4 по рис. 2.5 – бревно, материал – сосна.

Принимать величины профилей 1 и 2 следует по таблицам ГОСТа для прокатной стали (см. приложения). Размеры профиля 3 следует округлять до чётного числа миллиметров, а размер профиля 4 следует округлять до целого числа сантиметров.

8. Вычертить профиль поперечного сечения и проставить принятые размеры.

9. Для каждой балки по принятым размерам поперечного сечения вычислить наибольшие нормальные напряжения σ и сопоставить их с допускаемыми нормальными напряжениями σ_{adm} , при этом перегрузка не должна превышать 5 %, а недогрузка – 15 %.

10. Для каждой балки по принятым размерам поперечного сечения вычислить наибольшие касательные напряжения τ и сопоставить их с допускаемыми касательными напряжениями τ_{adm} . Как правило, наибольшие касательные напряжения будут значительно меньше допускаемых касательных напряжений.

11. У балки с прямоугольным профилем поперечного сечения вычислить нормальные и касательные напряжения в точке, отстоящей от левого конца балки на расстоянии 1,5 м и от верхней кромки на 4 см.

2.3.2. Пример выполнения задания 2

Примеры построения эпюр $Q_{(z)}$ и $M_{(z)}$

Пример 1. Построить эпюры Q и M для балки, представленной на рис. 2.6, а. В левой шарнирно-неподвижной опоре возникают две опорные реакции: H_A и R_A , в опоре B – только R_B . Из курса теоретической механики,

статики, для плоской системы сил уравнения равновесия (все внешние силы и опорные реакции лежат в одной плоскости), составляемые для определения опорных реакций, имеют вид:

$$\sum_{i=1}^n F_{i(z)} = 0; H_A = 0;$$

$$\sum_{i=1}^n M_A = 0; -20 \cdot 4 \cdot \frac{4}{2} + R_B \cdot 4 - 10 \cdot 6 = 0; R_B = 55 \text{ кН.}$$

$$\sum_{i=1}^n M_B = 0; -R_A \cdot 4 + 20 \cdot 4 \cdot \frac{4}{2} - 10 \cdot 2 = 0; R_A = 35 \text{ кН}$$

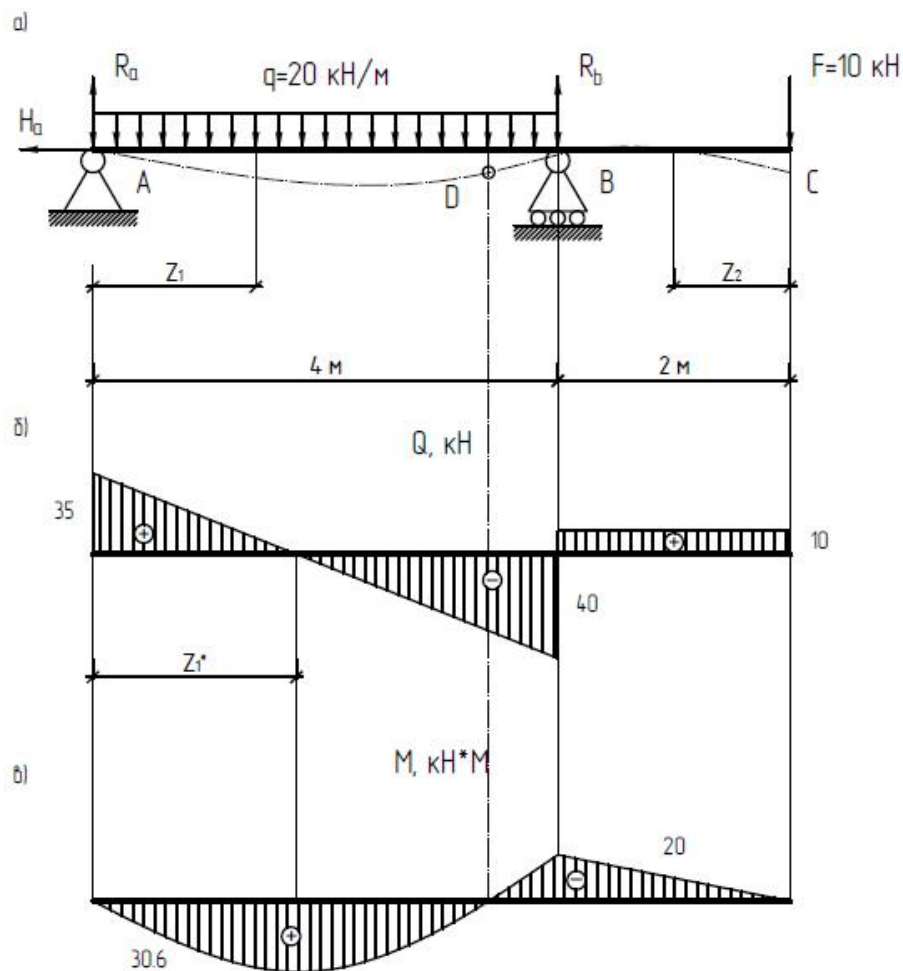


Рис. 2.6. Пример выполнения решения задания 2: построение эпюр Q и M

Полученные положительные значения R_A и R_B свидетельствуют о том, что направления этих реакций изначально выбрано верно. Для проверки правильности определения опорных реакций используем уравнение

$$\sum_{i=1}^n F_{i(y)} \equiv 0. \text{ Полагая ось } y \text{ направленной вверх, получаем:}$$

$$R_A - q \cdot 4 + R_B - F \equiv 0; 55 - 20 \cdot 4 + 35 - 10 = 0; 0 = 0$$

Следовательно, реакции опор определены верно. Такая проверка весьма желательна, ибо ошибка в определении опорных реакций обязательно ведёт к ошибкам в построении эпюр.

Рассматриваемая балка имеет два участка: AB и BC (рис. 2.6, *а*)

Первый участок AB .

В его пределах выбираем произвольное сечение, отстоящее на расстоянии z_1 от опоры A , $0 \leq z_1 \leq 4$ м.

Этим сечением балка расчленяется на две части, и мы будем рассматривать левую её часть, так как приложено меньшее число сил.

Согласно вышеизложенному,

$$Q = R_A - q \cdot z_1 = 35 - 20 \cdot z_1$$

Это уравнение прямой и нужны две точки для её построения:

$$\text{при } z_1 = 0 \quad Q = 35 \text{ кН}$$

$$\text{при } z_1 = 4 \text{ м} \quad Q = -45 \text{ кН}$$

Строим эту прямую, отложив в определённом масштабе в сечениях $z_1 = 0$ и $z_1 = 4$ м значения $Q = 35$ Н и $Q = -45$ кН (рис. 2.6, *б*).

Составим выражение для изгибающего момента:

$$M = R_A \cdot z_1 - q \cdot z_1 \frac{z_1}{2} = 35z_1 - 10z_1^2$$

Это уравнение параболы, ветви которой направлены вниз, а выпуклость – вверх (возможно наоборот – ветви вверх, а выпуклость вниз).

Найдём значения M на границах участка:

$$\text{При } z_1 = 0 \quad M = 0;$$

$$\text{при } z_1 = 4 \text{ м} \quad M = -20 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Для построения этой кривой двух точек недостаточно и необходимо найти экстремум рассматриваемой функции. Условием экстремума является обращение в нуль её первой производной:

$$\frac{dM}{dz} = 0; \quad 35 - 20z_1^* = 0, \quad \text{откуда } z_1^* = 1,75 \text{ м};$$

z_1^* – это уже фиксированная абсцисса, а именно абсцисса того сечения, в котором M имеет экстремальное значение.

Если сравнить выражение для Q и для производной, то увидим, что они полностью совпадают и экстремальное значение момента M будет в том сечении, где Q равно нулю.

Подставляем в выражение M и находим экстремальное значение изгибающего момента:

$$M(z = z_1^*) = 35 \cdot 1,75 - 10 \cdot 1,75^2 = 30,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

По трём найденным значениям строим кривую M в пределах рассматриваемого участка AB (рис. 2.6, *в*).

Второй участок BC .

Проведём произвольное сечение в пределах участка, отстоящее на расстоянии z_2 от сечения C $0 \leq z_2 \leq 2$ м (начало координат в точке C , ось z направлена влево). Будем рассматривать правую часть балки.

Поперечная сила $Q = F = 10$ кН

Это уравнение прямой линии, параллельной оси z , то есть поперечная сила на этом участке постоянна (рис. 2.6, б).

Изгибающий момент $M = -F \cdot z_2 = -10 \cdot z_2$

Это уравнение прямой и для её построения найдём:

при $z_2 = 0$ $M = 0$;

при $z_2 = 2$ м $M = 20$ кН·м

Строим эту прямую (рис. 2.6, в).

Из построения ясно, что любая ордината эпюры Q или эпюры M изображает в принятом масштабе величину поперечной силы или изгибающего момента в соответствующем сечении. Поэтому эпюры Q и M принято штриховать вертикальной штриховкой.

Анализируя эпюры Q и M , находим наибольшее по абсолютной величине значение поперечной силы и изгибающего момента:

$|Q|_{\max} = 45$ кН; $M_{\max} = 30,6$ кН·м.

По этим величинам подбираются размеры поперечного сечения балки.

Из эпюр видно, что эпюра Q на всех участках представляет прямую линию, эпюра моментов M – прямая на участке, где нет распределённой нагрузки, и парабола на участке, где есть распределённая нагрузка.

Отметим следующее обстоятельство: по эпюре M можно приближённо изобразить изогнутую ось балки (рис. 2.6, а), учитывая при этом, что ординаты эпюры отложены со стороны сжатого волокна (возможно иначе – со стороны растянутого волокна). В сечении, где $M = 0$, кривизна изогнутой оси меняет знак. Точка перегиба D указана на рис. 2.6, а.

Пример 2. Построить эпюры Q и M для балки, изображённой на рис. 2.7, а. Балки такого вида называются консольно закреплённые.

Для таких балок при построении эпюр Q и M можно не вычислять опорные реакции H_A , V_A , M_A в закреплении при условии, что при определении Q и M будут рассматриваться только левые отсечённые части.

Балка имеет 2 участка. Сделаем сечения 1, 2, 3, 4 в начале и конце каждого участка балки.

Сечение 1: $Q_1 = F = 30$ кН.

Сечение 2: $Q_2 = F - q \cdot 4 = -10$ кН

Сечение 3: $Q_3 = F - q \cdot 4 = -10$ кН

Сечение 4: $Q_4 = F - q \cdot 4 = -10$ кН

По найденным значениям строится эпюра Q (рис. 2.7, б).

Сечение 1: $M_1 = 0$.

Сечение 2: $M_2 = F \cdot 4 - q \cdot 4 \cdot 2 = 30 \cdot 4 - 10 \cdot 4 \cdot 2 = 40$ кН·м

Сечение 3: $M_3 = F \cdot 4 - q \cdot 4 \cdot 2 - M = 30 \cdot 4 - q \cdot 4 \cdot 2 - 50 = -10$ кН·м

Сечение 4: $M_4 = F \cdot 7 - q \cdot 4 \cdot 5 - M = 30 \cdot 7 - 10 \cdot 4 \cdot 5 - 50 = -40 \text{ кН} \cdot \text{м}$

На левом участке эпюра M представляет собой параболу, на правом – прямую линию. Для построения параболы вычислим экстремальное значение момента M^* . Для этого надо найти сечение, в котором $Q=0$. Это можно сделать, используя дифференциальные зависимости между q и Q при изгибе и геометрический смысл производной

$$z^* = \frac{Q^*}{q} = \frac{30}{10} = 3 \text{ м}$$

Сечение, в котором $Q = 0$, а $M = M_{\max}$ отстоит от левого конца балки на 3 м

$$M_{\max} = F \cdot z^* - q \cdot z^* \cdot \frac{z^*}{2} = 30 \cdot 3 - 10 \cdot 3 \cdot \frac{3}{2} = 45 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

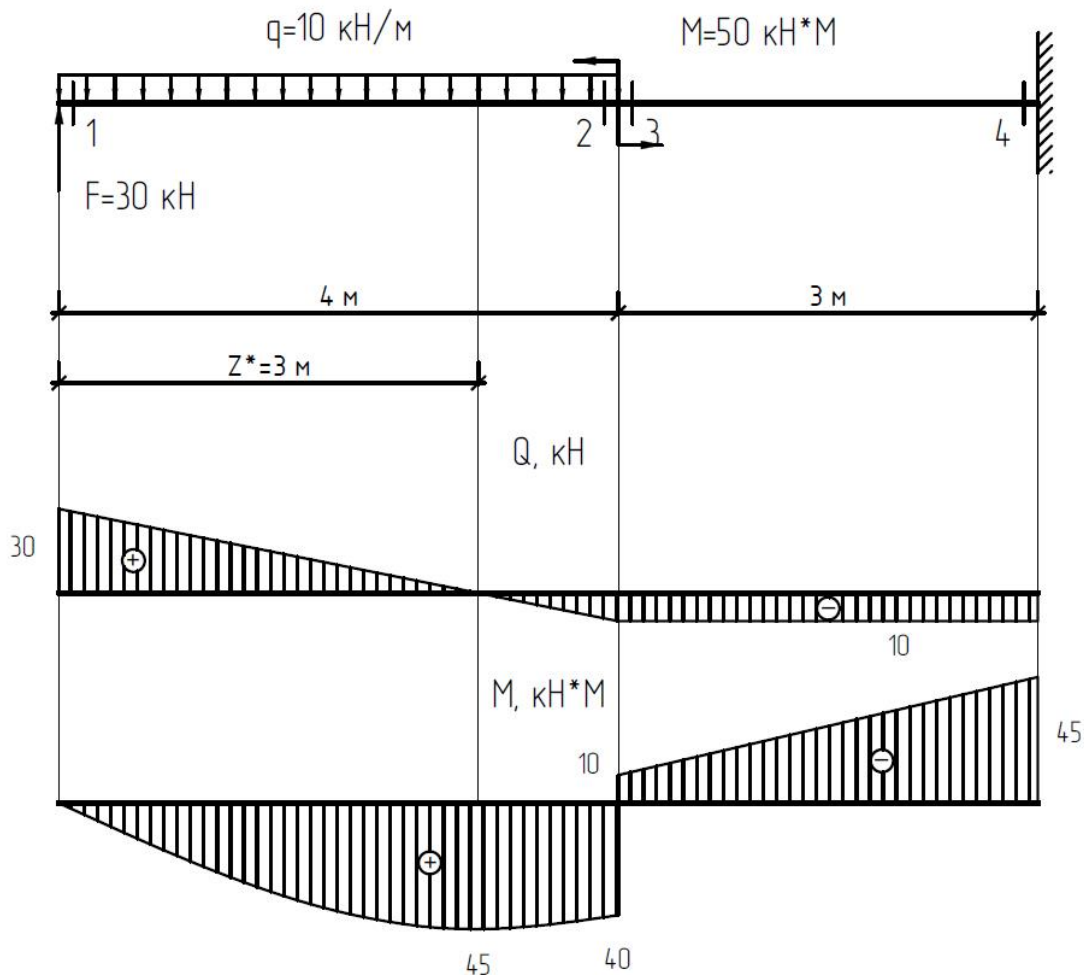


Рис. 2.7. Пример выполнения решения задания 2: построение эпюр Q и M

По пяти значениям строим эпюру M (рис. 2.7, в).

Анализируя полученные эпюры для всей балки, находим наибольшие по абсолютной величине значения Q и M : $|Q|_{\max} = 30 \text{ кН}$; $|M|_{\max} = 45 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

Подбор сечений и проверка прочности балок

Вопрос о материале и форме поперечного сечения балки решается при общей компоновке конструкции, а расчётом определяется лишь один параметр, например, номер профиля двутавра или высота сечения при заданном соотношении b/h . Эти параметры определяются из условия прочности балки по нормальным напряжениям, которое имеет вид

$$\sigma_{\max} = \frac{|M|_{\max}}{W_x} \leq \sigma_{\text{adm}} \quad (2.2)$$

После этого проверяется прочность балки по касательным напряжениям. Условие прочности имеет следующий вид

$$\tau_{\max} = \frac{|Q|_{\max} S_{\max}}{I_x b} \leq \tau_{\text{adm}} \quad (2.2)$$

Подберём поперечное сечение для балки № 1, рассмотренной выше, при поперечном сечении – бревна, материал – древесина, порода – сосна, $\sigma_{\text{adm}} = 12$ МПа; $\tau_{\text{adm}} = 1,5$ МПа.

Из эюр (рис. 2.6, в) Q и M имеем $|Q|_{\max} = 45$ кН; $|M|_{\max} = 30,6$ кН·м.

Из условия прочности по нормальным напряжениям имеем

$$W_x \geq \frac{|M|_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{30,6 \cdot 10^3}{12 \cdot 10^6} = 2550 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 2550 \text{ см}^3;$$

Для окружности $W_x = \frac{\pi d^3}{32} \geq 2550 \text{ см}^3$, откуда

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{2550 \cdot 32}{3,14}} = 29,62 \text{ см.}$$

Округляя значение d до целых сантиметров, имеем: $d = 29$ см или $d = 30$ см.

Проверяем меньшее значение – $d = 29$ см. При этом балка будет перегружена, но перегрузка в пределах 5 % допустима.

$$\sigma_{\max} = \frac{|M|_{\max}}{W_x} = \frac{30,6 \cdot 10^3 \cdot 32}{3,14 \cdot 29^3 \cdot 10^{-6}} = 12,79 \cdot 10^6 \text{ Па} = 12,79 \text{ МПа} \geq 12 \text{ МПа}$$

и имеет место перегрузка.

Процент перегрузки $\frac{12,79 - 12}{12} \cdot 100 \% = 6,58 \% > 5 \%$, что недопустимо.

Принимаем размеры поперечного сечения бревна $d = 30$ см. Прочность по нормальным напряжениям будет, очевидно, обеспечена.

Проверим прочность балки по касательным напряжениям. Условие прочности в этом случае имеет следующий вид:

$$\tau_{\max} = \frac{16}{3} \cdot \frac{|Q|_{\max}}{\pi d^2} \leq \tau_{\text{adm}} \quad (2.3)$$

В нашем случае:

$$\tau_{\max} = \frac{16}{3} \cdot \frac{45 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 30^2 \cdot 10^{-4}} = 0,85 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0,85 \text{ МПа} < 1,5 \text{ МПа}.$$

Прочность балки по касательным напряжениям обеспечена.

Подберём поперечное сечение для балки № 2, рассмотренной выше, при поперечном сечении – двутавр, материал – сталь,

$$\sigma_{\text{adm}}=160 \text{ МПа}; \tau_{\text{adm}}=100 \text{ МПа}$$

Из эпюр Q и M (рис. 2.7, в) имеем: $|Q|_{\max}=30 \text{ кН}$; $|M|_{\max}=45 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Из условия прочности балки по нормальным напряжениям имеем

$$W_x \geq \frac{|M|_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{45 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 281,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 281,25 \text{ см}^3$$

Из сортамента прокатной стали ГОСТ 8239–89 (см. прил. 1) по величине момента сопротивления выбираем ближайший номер двутавра. Принимаем № 24, с моментом сопротивления $W_x=289 \text{ см}^3$.

Проверяем это сечение на прочность по нормальным напряжениям:

$$\sigma_{\max} = \frac{|M|_{\max}}{W_x} = \frac{45 \cdot 10^3}{289 \cdot 10^{-6}} = 155,71 \cdot 10^6 \text{ Па} = 155,71 \text{ МПа}.$$

$$\text{Процент недогрузки: } \frac{155,71 - 160}{160} 100 \% = 2,68 \% < 5 \% .$$

Таким образом, сечение двутавра № 24 удовлетворяет условию прочности по нормальным напряжениям.

Проверим прочность балки по касательным напряжениям:

$$\tau_{\max} = \frac{|Q|_{\max} S_x}{I_x S} \leq \tau_{\text{adm}},$$

где S_x – статический момент площади полусечения относительно оси x ; I_x – момент инерции сечения относительно оси x ; S – толщина стенки двутавра.

Для двутавра № 24: $S_x=163 \text{ см}^3$, $I_x=3460 \text{ см}^4$, $S=5,6 \text{ мм}$.

$$\tau_{\max} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 163 \cdot 10^{-6}}{3460 \cdot 10^{-8} \cdot 5,6 \cdot 10^{-3}} = 25,2 \cdot 10^6 \text{ МПа} = 25,2 \text{ МПа} < 100 \text{ МПа}.$$

Прочность балки по касательным напряжениям обеспечена.

В заключение, несколько указаний по выполнению пункта 10 задания, в котором требуется определить нормальные и касательные напряжения в указанной точке прямоугольного сечения, положение которого по длине балки определено в задании. Речь идёт о правильном применении формул для нормальных и касательных напряжений, которые имеют вид:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_x}; \quad (2.4)$$

$$\tau = \frac{Q \cdot S_x^{\text{отс.ч.}}}{I_x \cdot b}, \quad (2.5)$$

где M и Q – изгибающий момент и поперечная сила в том сечении, где расположена точка, в которой определяются напряжения; y – расстояние от нейтральной оси сечения до указанной в задании точки; I_x – осевой момент инерции сечения относительно нейтральной оси x ; для прямоугольного сечения вычисляется по формуле

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad (2.6)$$

для круглого сечения вычисляется по формуле

$$I_x = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot r^4}{4}; \quad (2.7)$$

$S_x^{\text{отс.ч.}}$ – статический момент отсечённой части сечения, лежащей выше или ниже точки, в которой определяются напряжения; b – ширина сечения в том месте, где определяются напряжения; h – высота сечения балки; d – диаметр сечения балки; r – радиус сечения балки.

3. РАСЧЁТ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

При расчётах на устойчивость поперечные размеры центрально сжатого стержня определяют из условия устойчивости:

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{F}{\varphi A} \leq \sigma_{\text{adm}}; \quad (3.1)$$

$$\sigma_{\text{adm,st}} = \varphi \sigma_{\text{adm}}, \quad (3.2)$$

где F – сжимающая сила; A – площадь сечения; $\sigma_{\text{adm,st}}$ – допускаемое напряжение при расчётах на устойчивость; σ_{adm} – допускаемое напряжение при расчётах на прочность; φ – коэффициент продольного изгиба (коэффициент снижения основного допускаемого напряжения).

Величина коэффициента продольного изгиба φ , входящая в расчётную формулу, зависит от формы и размеров поперечного сечения, заранее не может быть назначена. Ввиду этого задачу подбора размеров поперечного сечения при расчётах на устойчивость решают методом последовательных приближений.

При первой попытке назначают $\varphi=0,5$, вычисляют площадь A и выбирают размеры поперечного сечения, соответствующие этой площади.

Размеры поперечного сечения выбирают в соответствии с действующими стандартами:

а) для прокатных профилей по таблицам сортиментов (см. приложения);

б) для древесины круглого профиля – в целых сантиметрах;

в) для древесины квадратного профиля – сторона квадрата в мм – 25, 32, 40, 50, 60, 75, 100, 130, 150, 180, 200, 220;

г) для стоек из чугуна в мм – 28, 32, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320.

Далее проверяют пригодность выбранных размеров. Для этого:

а) по принятым размерам вычисляют площадь поперечного сечения A ;

б) вычисляют минимальный главный момент инерции сечения I_{\min} ;

в) вычисляют минимальный радиус инерции

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}}; \quad (3.3)$$

г) вычисляют гибкость стержня

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}}, \quad (3.4)$$

где, μ – коэффициент приведения длины стержня (коэффициент, учитывающий способ закрепления концов стержня) (рис. 3.1).

В реальных конструкциях не всегда удаётся осуществить жёсткую заделку. Поэтому по существующим нормам принимают $\mu=0,8$ для деревянных стоек с одним заделанным, а вторым – шарнирным концами (рис. 3.1, д) и $\mu=0,65$, для деревянных стоек с обоими заделанными концами (рис. 3.1, е);

д) по гибкости λ из таблицы прил. 5 находят величину коэффициента φ . Для неуказанных в таблице значений гибкости λ коэффициент φ определяют линейной интерполяцией:

$$\varphi|_{\lambda=a+b} = \varphi|_{\lambda=a} - 0,1b \left(\varphi|_{\lambda=a} - \varphi|_{\lambda=a+10} \right); \quad (3.5)$$

е) вычисляют допускаемые напряжения на устойчивость по формуле (3.2):

$$\sigma_{\text{adm.st}} = \varphi \cdot \sigma_{\text{adm}};$$

ж) вычисляют величину действующих напряжений:

$$\sigma = \frac{F}{A}; \quad (3.6)$$

з) сопоставляют действующие напряжения сжима с допускаемыми напряжениями на устойчивость;

и) вычисляют расхождение напряжений:

$$\delta = \frac{\sigma - \sigma_{adm.st}}{\sigma_{adm.st}} \cdot 100 \% ; \quad (3.7)$$

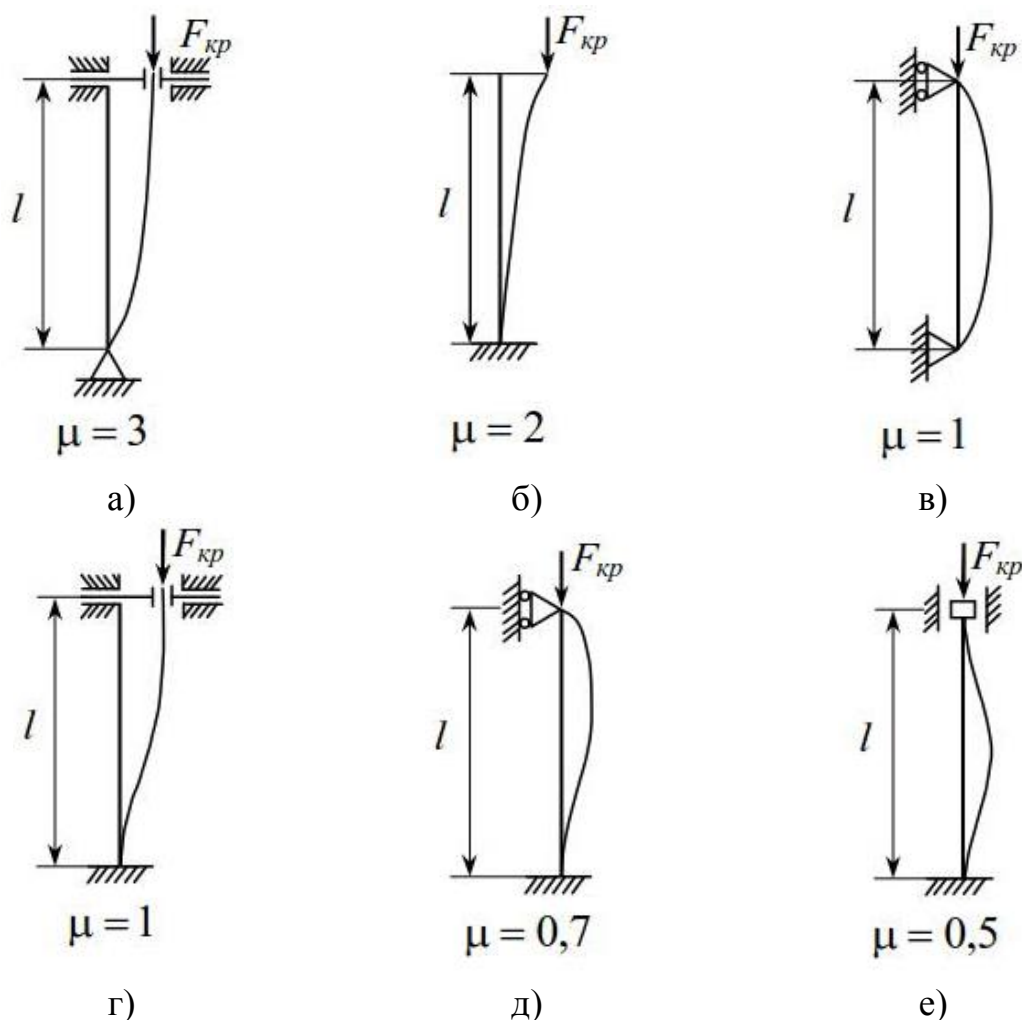


Рис. 3.1. Коэффициенты приведения длины стержня

Если расхождение меньше 5 %, то выбранные размеры считаются удовлетворительными и на этом заканчивают подбор размеров поперечного сечения. Если расхождение больше 5 %, то выбирают новые размеры поперечного сечения и повторяют проверку.

При второй и последующих попытках удобнее сразу назначать новые размеры поперечного сечения. Если напряжения σ больше допускаемых $\sigma_{adm.st}$, то размеры поперечного сечения надо увеличить, а если $\sigma < \sigma_{adm.st}$, то их надо уменьшить.

Площадь поперечного сечения при каждой следующей попытке удобнее изменять на величину $0,5\delta \cdot A$, где δ – расхождение напряжений, взятое в долях единицы, а A – ранее выбранная площадь сечения.

Попытки повторяются до тех пор, пока:

а) либо подберём такой размер, для которого расхождение напряжений будет меньше 5 %;

б) либо подберём два таких соседних размера из ГОСТа, для меньшего из которых напряжения сжатия превышают допускаемые больше, чем на 5%, а для большего – меньше допускаемых с расхождением больше 5 %. В этом случае останавливаются на большем размере.

При расчёте составного сечения (рис. 3.2) главные центральные моменты инерции вычисляют по формуле

$$I_x = \sum (I_{xi} + a_i^2 \cdot A_i), \quad (3.8)$$

где I_{xi} – момент инерции каждой отдельной части составного сечения относительно собственной центральной оси x_i , параллельной главной центральной оси всего сечения; a_i – расстояние между упомянутыми осями x и x_i ; A_i – площадь отдельной части составного сечения.

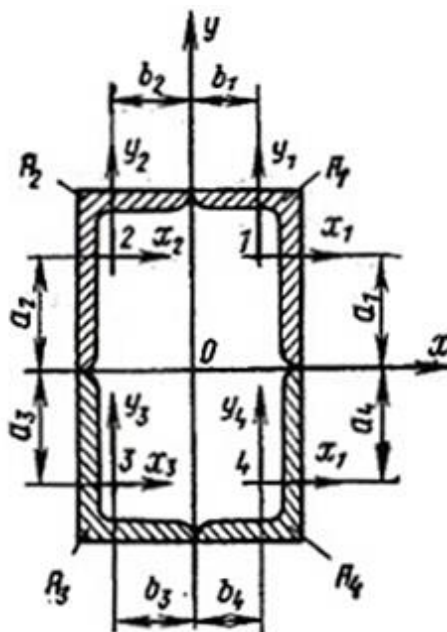


Рис. 3.2. Составное сечение

При вычислении главных моментов инерции сечения поступают следующим образом:

а) вычерчивают поперечное сечение;

б) отмечают центр тяжести всего сечения и проводят главные оси инерции всего сечения x и y . Ось симметрии сечения обязательно является его главной осью. Вторая главная ось перпендикулярна первой и проходит через центр тяжести сечения;

в) проводят центральные оси x_i и y_i каждой отдельной части составного сечения;

г) вычисляют указанные на чертеже размеры a_i и b_i между осями $x_i - x$ и $y_i - y$;

д) для каждой отдельной части составного сечения из таблиц сортамента выписывают моменты инерции I_{xi}, I_{yi} и площади сечений A_i ;

е) вычисляют моменты инерции

$$I_x = \sum_{i=1}^n (I_{xi} + a_i^2 \cdot A_i); \quad (3.9)$$

$$I_y = \sum_{i=1}^n (I_{yi} + b_i^2 \cdot A_i). \quad (3.10)$$

Для сечения, указанного на рис. 3.2, имеем:

$$I_x = 4(I_{x1} + a_1^2 \cdot A_1), \quad I_y = 4(I_{y1} + b_1^2 \cdot A_1)$$

Далее из двух моментов I_x и I_y выбирается наименьший, который и используется в расчёте.

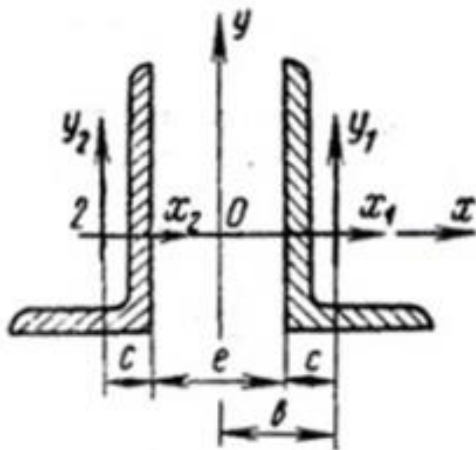


Рис. 3.3. Составное сечение

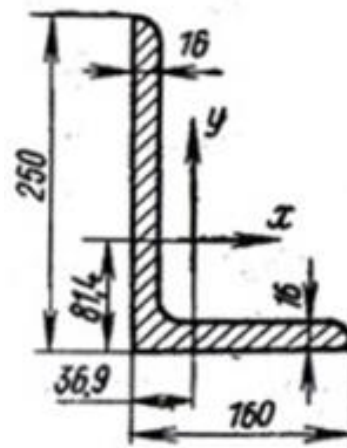


Рис. 3.4. Сечение: уголок неравнополочный

Для составного сечения с условием $I_{\max} = I_{\min}$ (рис. 3.3) необходимо найти размер e , то есть то расстояние, на которое необходимо раздвинуть элементы сечения так, чтобы главные моменты инерции были бы одинаковыми. От расстояния e зависит лишь момент инерции I_y .

Когда размеры сечения подобраны и I_x известен, а по условию $I_y = I_x$, то можно найти размер e .

$$I_y = I_x = 2(I_{y1} + a_1^2 \cdot A_1). \text{ Отсюда } a_1 = \sqrt{\frac{I_x - 2I_{y1}}{2A_1}} \text{ и } e = 2(a - c) \text{ (рис. 3.3).}$$

3.1. Задание 3

Расчёт сжатых стержней на устойчивость

Требуется: подобрать размеры поперечного сечения.

3.1.1. Условия задания 3

1. Выбор варианта по номеру зачётной книжки студента (аналогично выбору задания 1, пример см. на с. 4: три последние цифры номера зачётной книжки раскладываются на сотни – № 1 десятки – № 2 и единицы – № 3. Например, № 080: № – 000, № 2 – 80, № 3 – 0 из табл. 3.1.

2. Задание состоит из двух задач (задача 1 и задача 2).

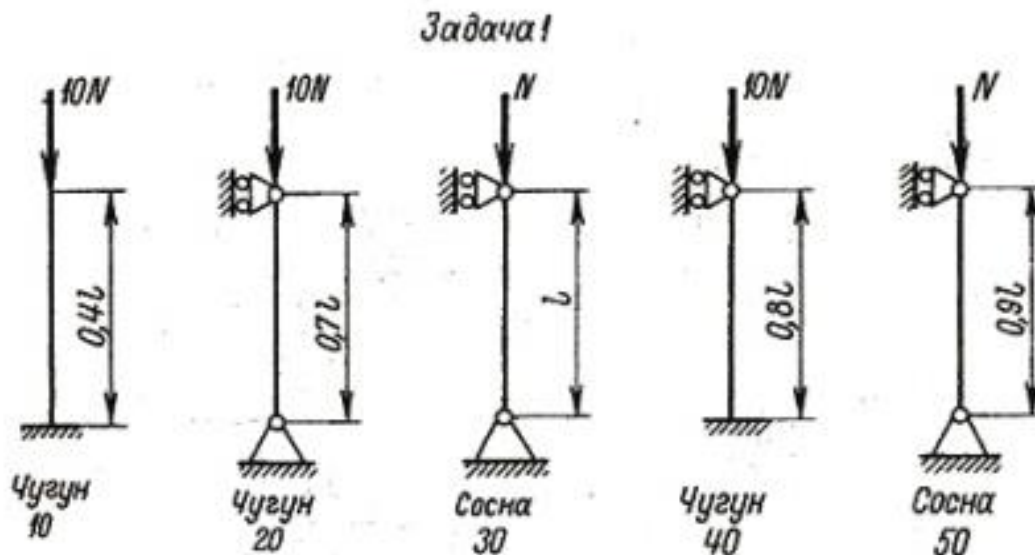
3. Схемы стержня и профиль поперечного сечения для задачи 1 изображены на рис. 3.5, для задачи 2 – на рис. 3.6.

4. Числовые данные указаны в табл. 3.1.

В соответствии с указаниями на схемах продольная сила A будет принята или $F = N$, или $F = kN$.

5. Основные допускаемые напряжения: для стали $\sigma_{adm} = 160$ МПа, для чугуна $\sigma_{adm} = 100$ МПа, для сосны $\sigma_{adm} = 10$ МПа.

6. Коэффициент, учитывающий способ закрепления концов стержня, принимать для деревянных стержней при двух заделанных концах $\mu = 0,65$, а при одном заделанном и втором шарнирно-подвижном конце $\mu = 0,8$.



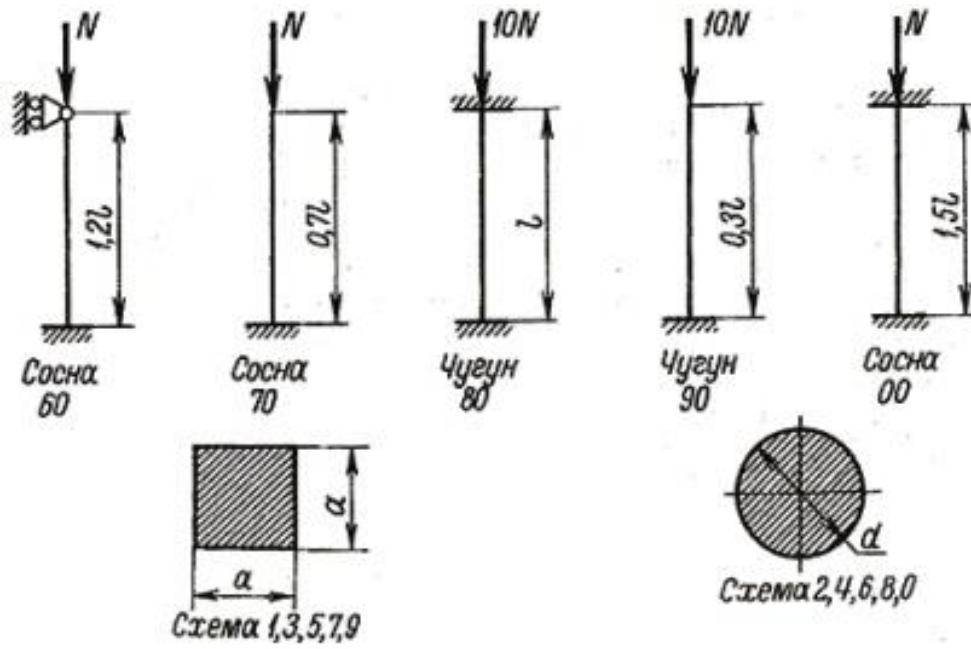
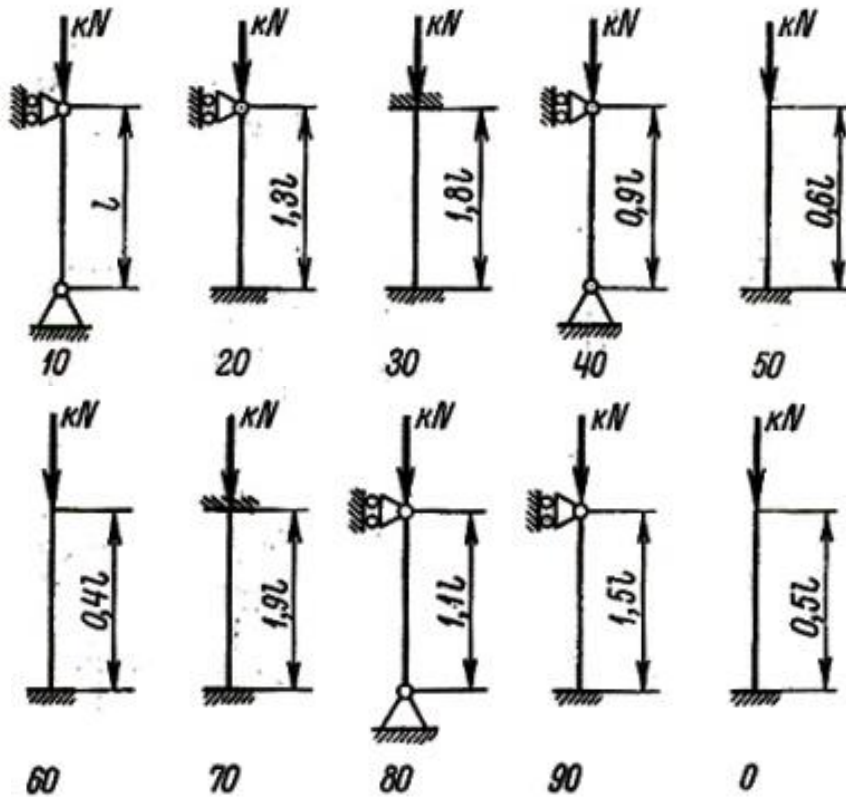


Рис. 3.5. Схемы: задание 3, задача 1

Задача 2



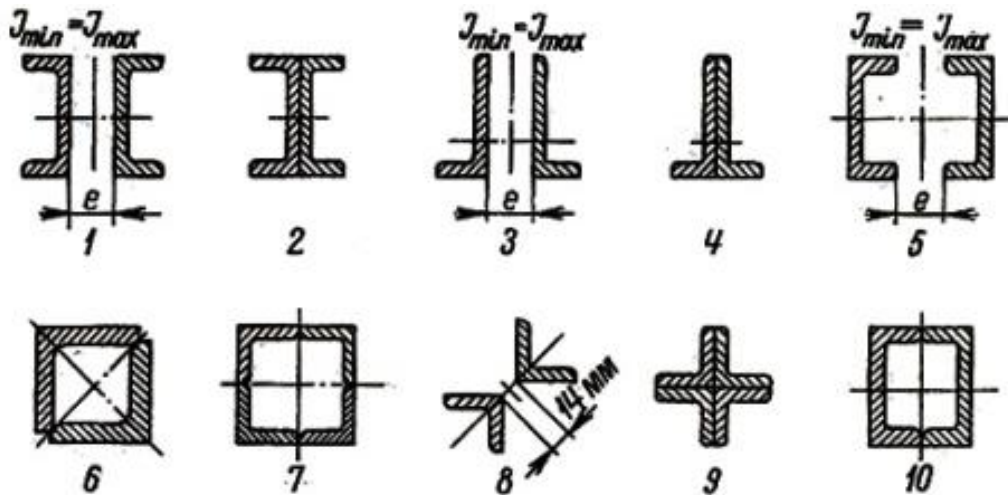


Рис. 3.6. Схемы: задание 3, задача 2

Последовательность выполнения задания:

Задача 1:

Сплошное круглое или квадратное сечение.

1. Вычертить расчётную схему сжатой стойки и эскиз профиля поперечного сечения.

2. Размеры профиля поперечного сечения находят методом подбора. При первой попытке назначают $\phi = 0,5$, вычисляют площадь поперечного сечения, а по площади – диаметр круга или сторону квадрата.

Таблица 3.1

№ 1 сот-ни	Задача 1		Задача 2		№ 2 десятки	Схема стойки	№ 3 единицы	Схема сечения	k
	N, кН	l, см	N, кН	l, см					
100	15	160	30	100	10	10	1	1	4
200	70	180	8	300	20	20	2	2	5
300	40	400	100	130	30	30	3	3	8
400	50	160	160	200	40	40	4	4	6
500	40	500	15	160	50	50	5	5	7
600	13	350	70	180	60	60	6	6	11
700	30	100	40	400	70	70	7	7	8
800	8	300	50	160	80	80	8	8	3.5
900	100	130	13	350	90	90	9	9	3
000	160	200	40	500	00	00	0	0	9

Размеры поперечного сечения выбирают в соответствии с действующими стандартами.

3. После этого проверяют пригодность выбранного сечения, сопоставив фактическое нормальное напряжение с допускаемым напряжением на устойчивость. При этом перегрузка не должна превышать 5 %.

Задача 2:

Составное сечение.

1. Вычертить расчётную схему сжатой стойки и эскиз профиля поперечного сечения.

2. Для первой попытки назначают $\varphi=0,5$, вычисляют площадь поперечного сечения и из таблиц сортаментов прокатной стали выбирают ближайшее сечение.

3. После этого проверяют пригодность выбранного сечения, сопоставив фактическое нормальное напряжение с допускаемым напряжением на устойчивость. При этом перегрузка не должна превышать 5 %.

4. После того как сечение подобрано, для сечений с условием $I_{\min} = I_{\max}$ необходимо вычислить размер e , то есть расстояние, на которое надо раздвинуть элементы профиля так, чтобы обеспечить равенство моментов инерции (рис. 3.3).

3.1.2. Пример выполнения задания 3

Пример 1. Для стержня (рис. 3.1, е) при $l = 3$ м и $F = 180$ кН подобрать квадратное поперечное сечение. Материал – дерево, $\sigma_{\text{adm}} = 10$ МПа.

Попытка 1. Назначаем $\varphi = 0,5$. Тогда,

$$A \geq \frac{F}{\varphi \sigma_{\text{adm}}} = \frac{180 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 10 \cdot 10^6} = 36 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 360 \text{ см}^2; \quad a = \sqrt{A} = \sqrt{360} \approx 19 \text{ см.}$$

Принимаем в соответствии с ГОСТом сторону квадрата $a = 18$ см. Проверяем пригодность выбранного размера:

а) площадь поперечного сечения $A = a^2 = 18^2 = 324 \text{ см}^2$;

б) минимальный момент инерции $I_{\min} = \frac{a^4}{12}$;

в) минимальный радиус инерции

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{a^4}{12 \cdot a^2}} = \frac{a}{\sqrt{12}} = \frac{a}{3,46} = \frac{18}{3,46} = 5,22 \text{ см};$$

г) гибкость стержня при $\mu = 0,65$

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} = \frac{0,65 \cdot 300}{5,22} = 37,36;$$

д) из табл. П 5.1, П 5.2 прил. 5:

$$\varphi_{\lambda=30} = 0,93; \quad \varphi_{\lambda=40} = 0,87;$$

$$\begin{aligned} \varphi_{\lambda=30+7,36} &= \varphi_{\lambda=30} + 0,1 \cdot 7,36(\varphi_{\lambda=30} - \varphi_{\lambda=40}) = \\ &= 0,93 - 0,1 \cdot 7,36(0,93 - 0,87) = 0,886; \end{aligned}$$

е) допускаемое напряжение на устойчивость

$$\sigma_{\text{adm.st}} = \varphi \sigma_{\text{adm}} = 0,886 \cdot 10 = 8,86 \text{ МПа};$$

ж) действующие в стержне напряжения

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{180 \cdot 10^3}{324 \cdot 10^{-4}} = 5,56 \cdot 10^6 \text{ Па} = 5,56 \text{ МПа};$$

з) сопоставляем действующие в стержне напряжения с допускаемыми напряжениями на устойчивость:

$$\sigma = 5,56 \text{ МПа} < \sigma_{\text{adm.st}} = 8,86 \text{ МПа};$$

имеем недогрузку;

и) расхождение напряжений

$$\delta = \frac{\sigma - \sigma_{\text{adm.st}}}{\sigma_{\text{adm.st}}} \cdot 100 \% = \frac{5,56 - 8,86}{8,86} \cdot 100 \% = -37 \%$$

Такая значительная недогрузка недопустима и следует уменьшить размеры сечения.

Попытка 2. Уменьшаем площадь поперечного сечения на величину $0,5\delta A = 0,5 \cdot 0,37 \cdot 324 = 60 \text{ см}^2$.

Тогда $A = 324 - 60 = 264 \text{ см}^2$ и $a = \sqrt{264} = 16,2 \text{ см}$.

Выбираем в соответствии с ГОСТом $a = 15 \text{ см}$ и производим проверку. В результате вычислений, проведённых по формулам, приведённых в попытке 1, получим $\sigma = 8 \text{ МПа} < \sigma_{\text{adm.st}} = 8,34 \text{ МПа}$,

$\delta = 4,1 \% < 5 \%$. Окончательно выбираем $a = 15 \text{ см}$.

Пример 2. Для стержня (рис. 3.1, б) при $l = 4 \text{ м}$ и $F = 2000 \text{ кН}$ подобрать сечение, состоящее из четырёх одинаковых неравнополочных уголков (рис. 3.2). Материал – сталь, $\sigma_{\text{adm}} = 160 \text{ МПа}$.

Попытка 1. Назначаем $\varphi = 0,5$. Тогда имеем:

$$A = \frac{F}{\varphi \cdot \sigma_{\text{adm}}} = \frac{2000 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 160 \cdot 10^6} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 250 \text{ см}^2.$$

Площадь сечения одного уголка $A_i = A : 4 = 250 : 4 = 62,5 \text{ см}^2$. Из таблиц сортамента уголки неравнополочные (прил. 4) выбираем уголок № 25/16 с $A_i = 63,6 \text{ см}^2$; $I_{x_i} = 4091 \text{ см}^4$; $I_{y_i} = 1333 \text{ см}^4$; (рис. 3.2 и 3.4)

Проверка: а) площадь всего сечения $A = 4 \cdot 63,6 = 254,4 \text{ см}^2$;

б) главные моменты инерции сечения I_x и I_y (рис. 3.2):

$$I_x = 4(I_{x_i} + a_i A_i) = 4(4091 + (25 - 8,14)^2 \cdot 63,6) = 88680 \text{ см}^4;$$

$$I_y = 4(I_{y_i} + b_i A_i) = 4(1333 + (16 - 3,69)^2 \cdot 63,6) = 43883 \text{ см}^4;$$

следовательно, $I_{\text{min}} = I_y = 43883 \text{ см}^4$;

в) минимальный радиус инерции

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{43883}{254,4}} = 13,1 \text{ см};$$

г) гибкость стержня при $\mu = 2$ (рис. 4.1, б)

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} = \frac{2 \cdot 400}{13,1} \approx 61;$$

д) из табл. 5.1, 5.2 прил. 5 находим: $\varphi_{\lambda=60} = 0,86$; $\varphi_{\lambda=70} = 0,81$;

$$\varphi_{\lambda=61} = \varphi_{\lambda=60+1} = 0,86 - 0,1 \cdot 1(0,86 - 0,81) = 0,855;$$

е) допускаемые напряжения на устойчивость

$$\sigma_{\text{adm.st}} = \varphi \cdot \sigma_{\text{adm}} = 0,855 \cdot 160 = 136,8 \text{ МПа};$$

ж) действующие напряжения сжатия

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{200 \cdot 10^3}{254,4 \cdot 10^{-4}} = 78,6 \cdot 10^6 \text{ Па} = 78,6 \text{ МПа};$$

з) сопоставляем действующие напряжения с допускаемыми напряжениями на устойчивость:

$$\sigma = 78,6 \text{ МПа} < \sigma_{\text{adm.st}} = 136,8 \text{ МПа};$$

Стержень с выбранным сечением недогружен;

и) вычисляем процент недогрузки:

$$\delta = \frac{\sigma - \sigma_{\text{adm.st}}}{\sigma_{\text{adm.st}}} \cdot 100 \% = \frac{78,6 - 136,8}{136,8} 100 \% = -42,5 \%$$

Выбранный размер уголка не подходит.

Попытка 2. Уменьшаем площадь поперечного сечения на


$$0,5 \cdot \delta \cdot A = 0,5 \cdot 0,425 \cdot 254,4 = 54 \text{ см}.$$


$$\text{Тогда } A_i = \frac{1}{4}(254,4 - 54) = 50,1 \text{ см}^2.$$


Выбираем по ГОСТу уголок № 20/12,5 с $A_i = 49,8 \text{ см}^2$, $I_{x_i} = 2026 \text{ см}^4$, $I_{y_i} = 617 \text{ см}^4$ и повторяем все действия проверки.


4. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РАСЧЁТНЫХ РАБОТ


Структура расчётной работы:

 Лист 1 – титульный лист, оформление по форме, рис. 4.5;

 Лист 2 – содержание, оформление по форме, рис. 4.6, штамп основной надписи форма 3, рис 4.1;

 Лист 3 и последующие – оформление по форме, штамп основной надписи форма 4 – для односторонней печати, рис. 4.2, или форма 5 и 6 – для двухсторонней печати, рис. 4.3 и 4.4;

 Лист последний – используемая литература, оформление по форме, штамп основной надписи форма 4 – для односторонней печати, рис. 4.2, или форма 5 и 6 – для двухсторонней печати, рис. 4.3 и 4.4.

 В данном разделе представлены образцы оформления, главные размеры и закономерности графического оформления текстовых документов, пояснительных записок курсового, дипломного проектов, курсовой работы, реферативных работ, РГР – расчётно-графических работ, индивидуальных контрольных работ и других работ, выполняемых студентами и профессионалами.

Образец графического оформления и построения титульных листов текстовых документов смотри на рис. 4.5. Шрифты рекомендуются прямые или наклонные, в заглавии допускаются все прописные № 10.

Образец оформления «Лист 2» – первых листов текстовых документов (следующий за титульным листом), пояснительных записок курсового, дипломного проектов, курсовой работы, рефератов, РГР – расчётно-графических работ, индивидуальных контрольных работ и т. п. смотри на рис. 4.6. Шрифты рекомендуются: прямые или наклонные, заглавие – допускаются все прописные № 10 или № 7. Как правило, на «Лист 2» – первый лист текстового документа, приводятся состав, содержание документа (пояснительной записки, проекта и т. п.). Оформление листа по форме, штамп основной надписи – форма 3.

Правило оформления штампов основной надписи см. по тексту ниже.

Штамп основной надписи (форма 3), рис. 4.1, приводится на первом листе (следующий за титульным листом и контртитолом) текстового документа в пояснительных записках курсовых, дипломных проектов, рефератах, РГР (расчётно-графические работы), индивидуальных контрольных работах и т. п. Как правило, на этом листе приводятся состав, структура и содержание документа.

Штамп основной надписи (форма 4), рис. 4.2, приводится на последующих листах чертежей изделий и текстовых документов при односторонней печати.

Форма 3

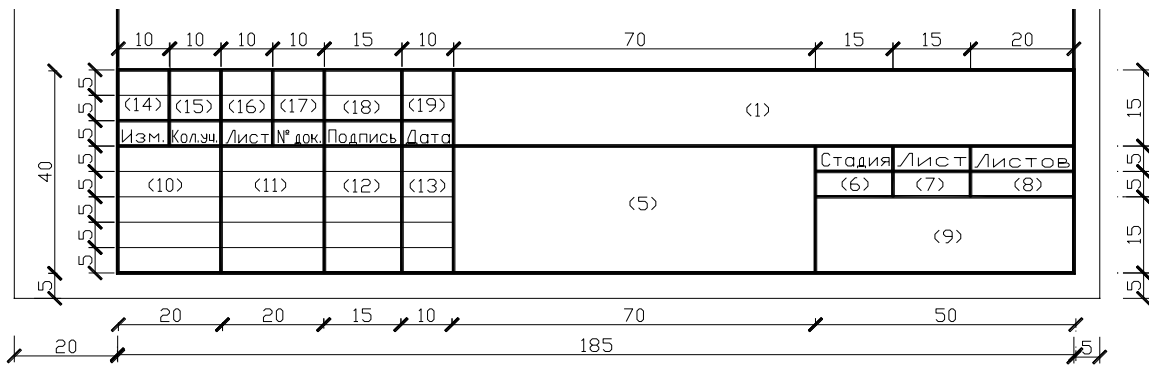


Рис. 4.1. Штамп основной надписи (форма 3)

Форма 4

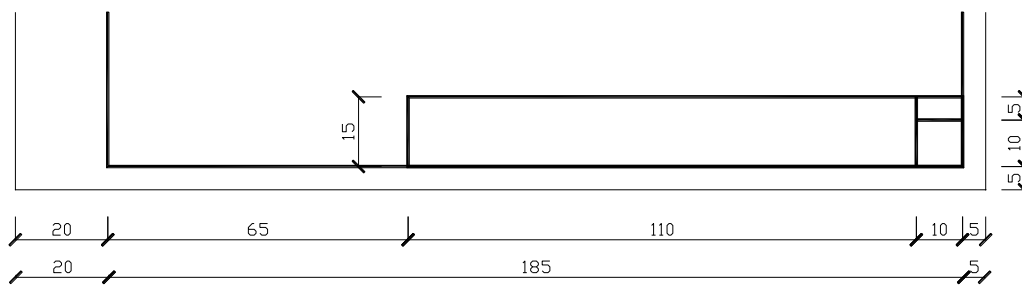


Рис. 4.2. Штамп основной надписи (форма 4)

Штамп основной надписи (форма 5 и 6), рис. 4.3 и 4.4, приводится на последующих листах чертежей изделий и текстовых при двухсторонней печати: для нечётных страниц – форма 5, для чётных – форма 6.

Форма 5

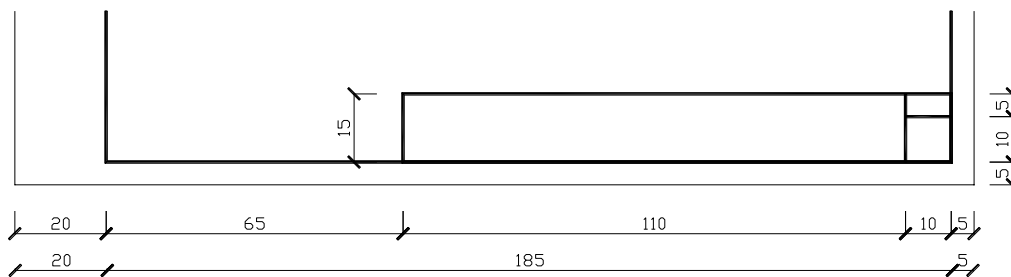


Рис. 4.3. Штамп основной надписи (форма 5)

Форма 6

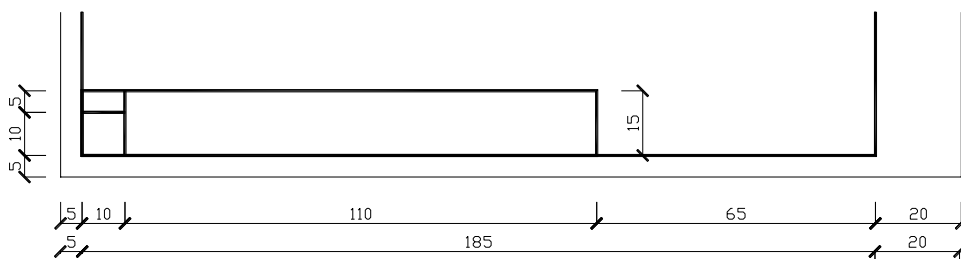


Рис. 4.4. Штамп основной надписи (форма 6)



Рис. 4.5. Оформление титульного листа текстового документа. Лист 1

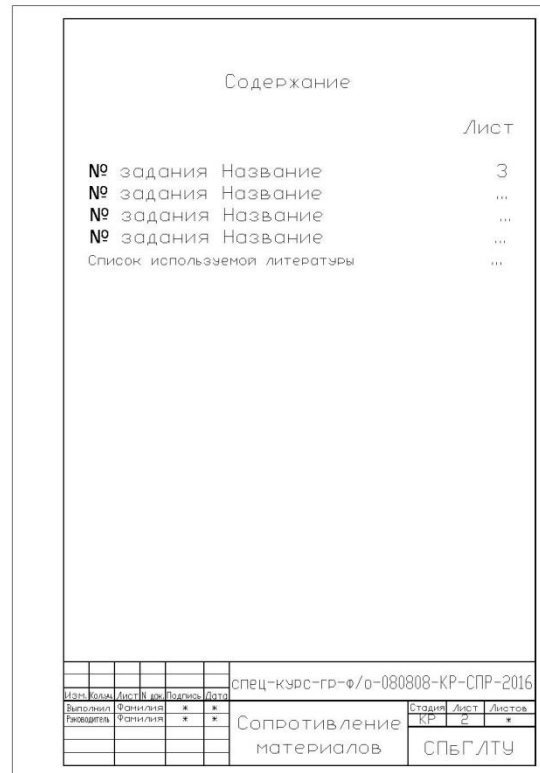


Рис. 4.6. Первый лист текстового документа. Лист 2

Графы штампов основных надписей и дополнительные графы (номера граф на рис. 4.1–4.4 отмечены цифрой в скобках) заполняют следующим образом:

☞ графа (1) – обозначение документа. В учебных чертежах и работах в этой графе указывают шифр студента, вариант задания, раздел, год исполнения.

Например, «ТМб-ТМО-14-1-№ з/к-КР-СПР-2016» обозначает: «Институт технологических машин и транспорта леса, бакалавриат – специальность «Технологические машины и оборудование» – год поступления 2014 – 1 группа – номер зачётной книжки – Курсовая работа – раздел «Соппротивление материалов» – год исполнения 2016». Шрифты: прописной № 7 или № 5 (т. е. номер шрифта обозначает – высоту прописных букв 7 или 5 мм, строчных, соответственно, 5 или 3,5 мм);

☞ графа (5) – наименование изделия или документа (для формы 3). В учебных чертежах указывают разделы изучаемого материала, разделы пояснительной записки и т. п. Например, раздел «Соппротивление материалов». Шрифты: прописной № 7 или № 5;

☞ графа (6) – условное обозначение стадии проектирования. Например: К/р – контрольная работа, ГР – графическая работа, РГР – расчётно-графическая работа, КР – курсовая работа, КП – курсовой проект, АтП – аттестационный проект, ДП – дипломный проект и др. Шрифты: № 3,5 или

№ 2,5 (т. е. номер шрифта обозначает – высоту прописных букв 3,5 или 2,5 мм, строчных, соответственно, 2,5 или 1,8 мм), (для формы 3);

☞ графа (7) – порядковый номер листа (страницы текстового документа). Например, в форме 3 – первый лист текстового документа – это Лист-2 (Лист 1 – это титульный лист). Шрифты: № 3,5 или № 2,5 (для формы 3);

☞ графа (8) – общее число листов документа (комплекта чертежей). В форме 3 графу заполняют только на первом листе текстового документа Лист-2 (следующий лист за титульным листом – Лист 1). Шрифты: № 3,5 или № 2,5 (для формы 3); № 3,5 или № 5 (для формы 4, 5, 6);

☞ надписи в шапках над графами: 6, 7, 8 – «Стадия», «Лист», «Листов» выполняются шрифтом: № 3,5 или № 2,5 (т. е. номер шрифта обозначает – высоту прописных букв 3,5 или 2,5 мм, строчных, соответственно, 2,5 или 1,8 мм);

☞ графа (9) – наименование организации, в которой выполнялся документ. В студенческих работах в этой графе заполняют название учебного заведения (например, СПбГЛТУ). Шрифты: № 7, № 5 или № 3,5;

☞ графа (10) – должность исполнителя и других лиц, ответственных за содержание документа. В учебных чертежах и работах в этой графе указывают: «Выполнил», «Чертил», «Разработал», «Дипломник», «Проверил», «Принял», «Руководитель», «Консультант», «Зав. кафедрой». Шрифты: № 3,5 или № 2,5;

☞ графа (11) – фамилии исполнителя и других лиц, ответственных за содержание документа, соответствующие должностям в графе (10). Шрифт № 3,5 или № 2,5;

☞ графа (12) – подписи исполнителя и других лиц, ответственных за содержание документа, соответствующие должностям в графе (10) и фамилиям в графе (11). Шрифты: № 3,5 или № 2,5;

☞ графа (13). Дата подписания документа исполнителем и другими лицами. Шрифт № 3,5 или № 2,5;

☞ графы (14)–(19)– таблица изменений. В учебных чертежах не заполняются.

В студенческих работах в штампе основной надписи (форма 3) графы: 14 – 19 могут не заполняться.

Штампы основных надписей, рамки листов оформляются линией по ГОСТу: сплошной толстой основной, толщиной равной s , принимаемой в данных случаях порядка $0,7 \div 1,0$ мм.

Библиографический список

Основная литература:

1. *Беляев, Н. М.* Сборник задач по сопротивлению материалов: учеб. пособие / Н. М. Беляев [и др.]. – СПб.: Лань, 2011. – 431 с.
2. *Буланов, Э. А.* Решение задач по сопротивлению материалов: учеб. пособие. – М.: «Лаборатория знаний» (ранее «БИНОМ. Лаборатория знаний»), 2015. – 218 с.
3. *Деменчук, Н. П.* Сопротивление материалов: Справочные данные к задачам по курсу для студентов всех специальностей: справочник / Н. П. Деменчук. – СПб.: СПб НИУ ИТМО, 2007. – 50 с.
4. *Жуков, В. Г.* Механика. Сопротивление материалов: учеб. пособие / В. Г. Жуков. – СПб.: Лань, 2012. – 415 с.
5. *Миляев, А. С.* Сопротивление материалов. Статические прочностные расчёты: практикум / А. С. Миляев. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – 325 с.
6. *Миляев, А. С.* Сопротивление материалов. Энергетические методы расчёта стержневых систем: учеб. пособие / А. С. Миляев. – СПб.: СПбГЛТА, 2012. – 289 с.
7. *Миролюбов, И. Н.* Сопротивление материалов. Пособие по решению задач: учебно-методическое пособие / И. Н. Миролюбов [и др.]. – СПб.: Лань, 2014. – 512 с.
8. *Молотников, В. Я.* Курс сопротивления материалов: учеб. пособие / В. Я. Молотников. – СПб.: Лань, 2016. – 384 с.
9. *Павлов, П. А.* Сопротивление материалов: учеб. пособие / П. А. Павлов [и др.]. – СПб.: Лань, 2007. – 554 с.
10. *Паначев, И. А.* Лабораторный практикум по сопротивлению материалов: учеб. пособие / И. А. Паначев, М. Ю. Насонов. — Кемерово : КузГТУ имени Т. Ф. Горбачева, 2011. – 219 с.
11. *Паначев, И. А.* Сопротивление материалов: учеб. пособие / И. А. Паначев, Г. В. Широколов. – Кемерово: КузГТУ имени Т. Ф. Горбачева, 2008. – 192 с.
12. *Скопинский, В. Н.* Сопротивление материалов. Часть 1: учеб. пособие / В. Н. Скопинский, А. А. Захаров. – М.: МГИУ, 2010. – 145 с.
13. *Скопинский, В. Н.* Сопротивление материалов. Часть 2: учеб. пособие / В. Н. Скопинский, А. А. Захаров. – М.: МГИУ, 2010. – 188 с.
14. Сопротивление материалов: метод. указания к выполнению лабораторных работ для студентов направлений подготовки 13.03.01; 15.03.02; 23.03.03; 20.03.01; 35.03.02; 27.03.01; 18.03.01; 18.03.02 / сост.: А. В. Назарук, А. И. Фурин. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 60 с.
15. *Степин, П. А.* Сопротивление материалов: учебник / П. А. Степин. – СПб.: Лань, 2014. – 320 с.
16. *Феодосьев, В. И.* Сопротивление материалов / В. И. Феодосьев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 592 с.
17. *Хохлов, В. А.* Сопротивление материалов: учеб. пособие / В. А. Хохлов [и др.]. – Томск : ТПУ, 2011. – 228 с.

Дополнительная литература:

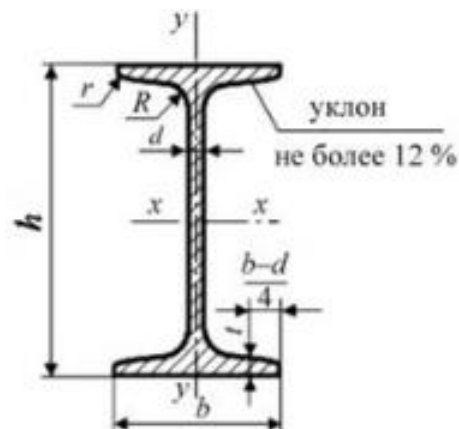
18. *Астахова, А. Я.* Сопротивление материалов: в 2 частях: рабочая тетрадь для решения задач. Часть 1: учеб. пособие / А. Я. Астахова – М.: МИСИ – МГСУ, 2014. – 44 с.
19. *Антуфьев, Б. А.* Сборник задач по сопротивлению материалов с теорией и примерами: учеб. пособие / Б. А. Антуфьев [и др.]. – М.: Физматлит, 2003. – 637 с.
20. *Воронов, С. А.* Расчёт на прочность и жёсткость стержневых систем при изгибе с использованием Mathcad: метод. указания к выполнению домашних заданий по курсам «Сопротивление материалов» и Прикладная механика»: 2 ч.– Ч. 11: учебно-методическое пособие / С. А. Воронов, А. А. Ширшов, С. В. Ярьсько. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 40 с.
21. *Горшков, А. Г.* Сопротивление материалов: / А. Г. Горшков, В. Н. Трошин, В. И. Шалашилин. – М.: Физматлит, 2002. – 550 с.
22. *Кудрявцев, С. Г.* Сопротивление материалов. Интернет-тестирование базовых знаний: учеб. пособие / С. Г. Кудрявцев, В. Н. Сердюков. – СПб.: Лань, 2013. – 176 с.
23. *Миляев, А. С.* Техническая механика. Электротензометрический метод определения деформаций: лабораторный практикум / А. С. Миляев. – СПб.: СПбГЛТУ, 2013. – 72 с.
24. *Молотников, В. Я.* Механика конструкций. Теоретическая механика. Сопротивление материалов: учеб. пособие / В. Я. Молотников. – СПб.: Лань, 2012. – 540 с.
25. *Павлов, П. А.* Сопротивление материалов: учеб. пособие / П.А. Павлов [и др.]. – СПб.: Лань, 2007. – 554 с.
26. *Подскребко, М. Д.* Сопротивление материалов. Практикум по решению задач: учеб. пособие / М. Д. Подскребко – Минск: Вышэйшая школа, 2009. – 688 с.
27. *Скопинский, В. Н.* Практическое руководство к расчётам по сопротивлению материалов: учебно-методическое пособие / В. Н. Скопинский. – М.: МГИУ, 2010. – 240 с.
28. *Стородубцева, Т. Н.* Сопротивление материалов: учеб. пособие / Т. Н. Стородубцева. – Воронеж: ВГЛТУ, 2015. – 200 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Сортамент прокатной стали

Балки двутавровые стальные горячекатаные ГОСТ 8239–89*



h – высота балки; b – ширина полки; d – толщина стенки; t – средняя толщина полки; R – радиус внутреннего закругления; r – радиус закругления полки; I – момент инерции; W – момент сопротивления; S – статический момент полусечения; i – радиус инерции

Таблица П 1

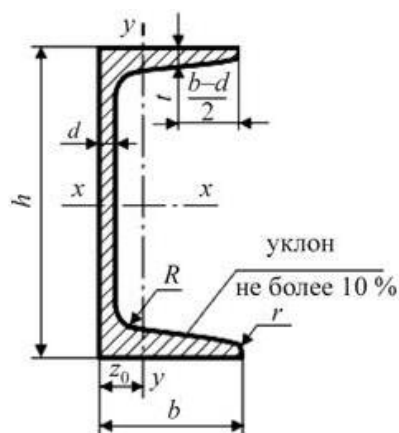
№ двутавра	Размеры, мм						Площадь поперечного сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Справочные величины для осей						
	h	b	d	t	R	r			$x-x$				$y-y$		
									I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	S_x , см ³	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	11,50	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	13,70	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	15,9	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	18,40	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,88
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	21,00	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,10	2,07
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	24,00	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	27,30	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,50	2,37

Окончание табл. П 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
24a	240	115	5,6	9,8	10,5	4,0	34,8	29,40	3800	317,0	10,1	178,0	260,0	41,6	2,63
27	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	31,50	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54
27a	270	125	6,0	10,2	11,0	4,5	43,2	33,90	5500	407	11,3	229,0	337,0	50,00	2,8
30	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	36,50	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69
30a	300	145	6,5	10,7	12,0	5,0	49,9	39,20	7780	518	12,50	292	436,0	60,10	2,95
33	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	42,20	9840	597,0	13,50	339,0	419,0	59,90	2,79
36	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	48,60	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,89
40	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	57,00	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,03
45	450	160	8,6	14,2	16,0	7,2	84,7	66,50	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,0	3,09
50	500	170	9,5	15,2	17,0	7,0	100,0	78,50	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23
55	550	180	10,3	16,5	18,0	7,0	118,0	92,60	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	11,1	17,8	20,0	8,0	138,0	108,0	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54
65	650	200	12,0	19,2	22,0	9,0	153,0	120,0	101400	3120,0	25,80	1800,0	2170,0	217,00	3,77
70	700	210	13,0	20,8	24,0	10,0	176,0	138,0	134600	3840	27,70	2230,0	2730,0	260,00	3,96
70a	700	210	15,0	24,0	24,0	10,0	202,0	158,0	152700	4360	27,5	2550	3240,0	309,00	4,01
70б	700	210	17,5	28,2	24,0	10,0	234,0	184,0	175370	5010	2704	2940	3910,0	373,00	4,09

Сортамент прокатной стали

Швеллеры стальные горячекатаные ГОСТ 8240–97*



h – высота балки; b – ширина полки; d – толщина стенки; t – средняя толщина полки; R – радиус внутреннего закругления; r – радиус закругления полки; I – момент инерции; W – момент сопротивления; S – статический момент полусечения; i – радиус инерции; z_0 – расстояние от оси y - y до наружной грани стенки

Таблица П 2

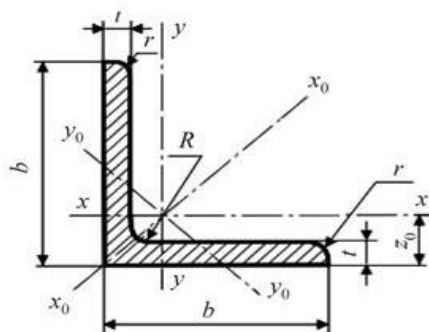
№ швеллера	Размеры, мм						Площадь поперечного сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Справочные величины для осей							
	h	b	d	t	R	r			x - x				y - y			z_0 , см
									I_x , см ⁴	W_{x3} , см ³	i_x , см	S_{x3} , см ³	I_y , см ⁴	W_{y3} , см ³	i_y , см	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5	50	32	4,4	7,0	6,0	2,5	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,95	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	6,0	2,5	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,08	1,24
8	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	13,30	12,80	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	7,0	3,0	10,90	8,59	174,0	34,8	3,99	20,40	20,40	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	7,5	3,0	13,30	10,40	304,0	50,6	4,78	29,60	31,20	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	8,0	3,0	15,60	12,30	491,0	70,2	5,60	40,80	45,40	11,0	1,70	1,67
16	160	64	5,0	8,4	8,5	3,5	18,10	14,20	747,0	93,4	6,42	54,10	63,30	13,80	1,87	1,80

Окончание табл. П 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
16a	160	68	5,0	9,0	8,5	3,5	19,50	15,30	823,0	103,0	6,49	59,40	78,80	16,40	2,01	2,00
18	180	70	5,1	8,7	9,0	3,5	20,70	16,30	1090,0	121,0	7,24	69,80	86,00	17,00	2,04	1,94
18a	180	74	5,1	9,3	9,0	3,5	22,20	17,40	1190,0	132,0	7,32	76,10	105,00	20,00	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9,0	9,5	4,0	23,40	18,40	1520,0	152,0	8,07	87,80	113,00	20,50	2,20	2,07
22	220	82	5,4	9,5	10,0	4,0	26,70	21,00	2110,0	192,0	8,89	110,00	151,00	25,10	2,37	2,21
24	240	90	5,6	10,0	10,5	4,0	30,60	24,00	2900,0	242,0	9,73	139,00	208,00	31,60	2,60	2,42
27	270	95	6,0	10,5	11,0	4,5	35,20	27,70	4160,0	308,0	10,90	178,00	262,00	37,30	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11,0	12,0	5,0	40,50	31,80	5810,0	387,0	12,00	224,00	327,00	43,60	2,84	2,52
33	330	105	7,0	11,7	13,0	5,0	46,50	36,50	7980,0	484,0	13,10	281,00	410,00	51,80	2,97	2,59
36	360	110	7,5	12,6	14,0	6,0	53,40	41,90	10820,0	601,0	14,20	350,00	513,00	61,70	3,10	2,68
40	400	115	8,0	13,5	15,0	6,0	61,50	48,30	15220,0	761,0	15,70	444,00	642,00	73,40	3,23	2,75

Сортамент прокатной стали

Уголки стальные горячекатаные равнополочные ГОСТ 8509–93*



b – ширина полки; t – толщина полки; R – радиус внутреннего закругления; r – радиус закругления полки; F – площадь поперечного сечения; I – момент инерции; W – момент сопротивления; i – радиус инерции; z_0 – расстояние от центра тяжести до наружной грани полки; I_{xy} – центробежный момент инерции

Таблица П 3

№ уголка	Размеры, мм				F , см ²	Справочные величины для осей									I_{xy} , см ⁴	z_0 , см	Масса 1 м, кг
	b	t	R	r		X-X			X ₀ -X ₀		Y ₀ -Y ₀						
						I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	$I_{x_0 \max}$, см ⁴	$i_{x_0 \max}$, см	$I_{y_0 \min}$, см ⁴	W_{y_0} , см ³	$i_{y_0 \min}$, см				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
2	20	3	3,5	1,2	1,13	0,40	0,28	0,59	0,63	0,75	0,17	0,20	0,39	0,23	0,60	0,89	
		4	3,5	1,2	1,46	0,50	0,37	0,58	0,78	0,73	0,22	0,24	0,38	0,28	0,64	1,15	
2,5	25	3	3,5	1,2	1,43	0,81	0,46	0,75	1,29	0,95	0,34	0,33	0,49	0,47	0,73	1,12	
		4	3,5	1,2	1,86	1,03	0,59	0,74	1,62	0,93	0,44	0,41	0,48	0,59	0,76	1,46	
2,8	28	3	4,0	1,3	1,62	1,16	0,58	0,85	1,84	1,07	0,48	0,42	0,55	0,68	0,80	1,27	
3	30	3	4,0	1,3	1,74	1,45	0,67	0,91	2,30	1,15	0,60	0,53	0,59	0,85	0,85	1,36	
		4	4,0	1,3	2,27	1,84	0,87	0,90	2,92	1,13	0,77	0,61	0,58	1,08	0,89	1,78	
3,2	32	3	4,5	1,5	1,86	1,77	0,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,59	0,63	1,03	0,89	1,46	
		4	4,5	1,5	2,43	2,26	1,00	0,96	3,58	1,21	0,94	0,71	0,62	1,32	0,94	1,91	
3,5	35	3	4,5	1,5	2,04	2,35	0,93	1,07	3,72	1,35	0,97	0,71	0,69	1,37	0,97	1,60	
		4	4,5	1,5	2,67	3,01	1,21	1,06	4,76	1,33	1,25	0,88	0,68	1,75	1,01	2,10	
		5	4,5	1,5	3,28	3,61	1,47	1,05	5,71	1,32	1,52	1,02	0,68	2,10	1,05	2,58	

Продолжение табл. П 3

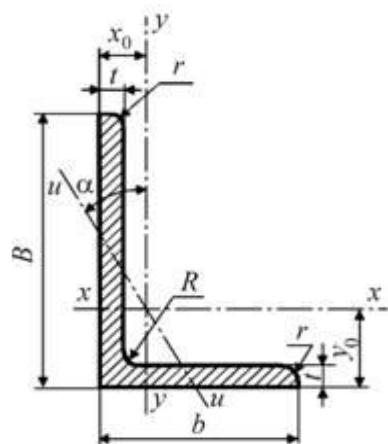
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
4	40	3	5,0	1,7	2,35	3,55	1,22	1,23	5,63	1,55	1,47	0,95	0,79	2,08	1,09	1,85
		4	5,0	1,7	3,08	4,58	1,60	1,22	7,26	1,53	1,90	1,19	0,78	2,68	1,13	2,42
		5	5,0	1,7	3,79	5,53	1,95	1,21	8,75	1,52	2,30	1,39	0,78	3,22	1,17	2,98
4,5	45	3	5,0	1,7	2,65	5,13	1,56	1,39	8,13	1,75	2,12	1,24	0,89	3,00	1,21	2,08
		4	5,0	1,7	3,48	6,63	2,04	1,38	10,52	1,74	2,74	1,54	0,89	3,89	1,26	2,73
		5	5,0	1,7	4,29	8,03	2,51	1,37	12,74	1,72	3,33	1,81	0,88	4,71	1,30	3,37
5	50	3	5,5	1,8	2,96	7,11	1,94	1,55	11,27	1,95	2,95	1,57	1,00	4,16	1,33	2,32
		4	5,5	1,8	3,89	9,21	2,54	1,54	14,63	1,94	3,80	1,95	0,99	5,42	1,38	3,05
		5	5,5	1,8	4,80	11,20	3,13	1,53	17,77	1,92	4,63	2,30	0,98	6,57	1,42	3,77
		6	5,5	1,8	5,69	13,07	3,69	1,52	20,72	1,91	5,43	2,63	0,98	7,65	1,46	4,47
5,6	56	4	6,0	2,0	4,38	13,10	3,21	1,73	20,79	2,18	5,41	2,52	1,11	7,69	1,52	3,44
		5	6,0	2,0	5,41	15,97	3,96	1,72	25,36	2,16	6,59	2,97	1,10	9,41	1,57	4,25
6,3	63	4	7,0	2,3	4,96	18,86	4,09	1,95	29,90	2,45	7,81	3,26	1,25	11,00	1,69	3,90
		5	7,0	2,3	6,13	23,10	5,05	1,94	36,80	2,44	9,52	3,87	1,25	13,70	1,74	4,81
		6	7,0	2,3	7,28	27,06	5,98	1,93	42,91	2,43	11,18	4,44	1,24	15,90	1,78	5,72
7	70	4,5	8,0	2,7	6,20	29,04	5,67	2,16	46,03	2,72	12,04	4,53	1,39	17,00	1,88	4,87
		5	8,0	2,7	6,86	31,94	6,27	2,16	50,67	2,72	13,22	4,92	1,39	18,70	1,90	5,38
		6	8,0	2,7	8,15	37,58	7,43	2,15	59,64	2,71	15,52	5,66	1,38	22,10	1,94	6,39
		7	8,0	2,7	9,42	42,98	8,57	2,14	68,19	2,69	17,77	6,31	1,37	25,20	1,99	7,39
		8	8,0	2,7	10,67	48,16	9,68	2,12	76,35	2,68	19,97	6,99	1,37	28,20	2,02	8,37
7,5	75	5	9,0	3,0	7,39	39,53	7,21	2,31	62,65	2,91	16,41	5,74	1,49	23,10	2,02	5,80
		6	9,0	3,0	8,78	46,57	8,57	2,30	73,87	2,90	19,28	6,62	1,48	27,30	2,06	6,89
		7	9,0	3,0	10,15	53,34	9,89	2,29	84,61	2,89	22,07	7,43	1,47	31,20	2,10	7,96
		8	9,0	3,0	11,50	59,84	11,18	2,28	94,89	2,87	24,80	8,16	1,47	35,00	2,15	9,02
		9	9,0	3,0	12,83	66,10	12,43	2,27	104,72	2,86	27,48	8,91	1,46	38,60	2,18	10,07
8	80	5,5	9,0	3,0	8,63	52,68	9,03	2,47	83,56	3,11	21,80	7,10	1,59	30,90	2,17	6,78
		6	9,0	3,0	9,38	56,97	9,80	2,47	90,40	3,11	23,54	7,60	1,58	33,40	2,19	7,36
		7	9,0	3,0	10,85	65,31	11,32	2,45	103,60	3,09	26,97	8,55	1,58	38,30	2,23	8,51
		8	9,0	3,0	12,30	73,36	12,80	2,44	116,39	3,08	30,32	9,44	1,57	43,00	2,27	9,65

№ уголка	Размеры, мм				F, см ²	Справочные величины для осей							I _{xy} , см ⁴	z ₀ , см	Масса 1 м, кг	
	b	t	R	r		X-X			X ₀ -X ₀		Y ₀ -Y ₀					
						I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	I _{x₀ max} , см ⁴	i _{x₀ max} , см	I _{y₀ min} , см ⁴	W _y , см ³				i _{y₀ min} , см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9	90	6	10,0	3,3	10,61	82,10	12,49	2,78	130,00	3,50	33,97	9,88	1,79	48,10	2,43	8,33
		7	10,0	3,3	12,28	94,30	14,45	2,77	149,67	3,49	38,94	11,15	1,78	55,40	2,47	9,64
		8	10,0	3,3	13,93	106,11	16,35	2,76	168,42	3,48	43,80	12,34	1,77	62,30	2,51	10,93
		9	10,0	3,3	15,60	118,00	18,29	2,75	186,00	3,46	48,60	13,48	1,77	68,00	2,55	12,20
10	100	6,5	12,0	4,0	12,82	122,10	16,69	3,09	193,46	3,89	50,73	13,38	1,99	71,40	2,68	10,06
		7	12,0	4,0	13,75	130,59	17,90	3,08	207,01	3,88	54,16	14,13	1,98	76,40	2,71	10,79
		8	12,0	4,0	16,60	147,19	20,30	3,07	233,46	3,87	60,92	15,66	1,98	86,30	2,75	12,25
		10	12,0	4,0	19,24	178,95	24,97	3,05	283,83	3,84	74,08	18,51	1,96	110,00	2,83	15,10
		12	12,0	4,0	22,80	208,90	29,47	3,03	330,95	3,81	86,84	21,10	1,95	122,00	2,91	17,90
		14	12,0	4,0	26,28	237,15	33,83	3,00	374,98	3,78	99,32	23,49	1,94	138,00	2,99	20,63
11	110	7	12,0	4,0	15,15	175,61	21,83	3,40	278,54	4,29	72,68	17,36	2,19	106,00	2,96	11,89
		8	12,0	4,0	17,20	198,17	24,77	3,39	314,51	4,28	81,83	19,29	2,18	116,00	3,00	13,50
12,5	125	8	14,0	4,6	19,69	294,36	32,20	3,87	466,76	4,87	121,98	25,67	2,49	172,00	3,36	15,6
		9	14,0	4,6	22,00	327,48	36,00	3,86	520,00	4,86	135,88	28,26	2,48	192,00	3,40	17,30
		10	14,0	4,6	24,33	359,82	39,74	3,85	571,04	4,84	148,59	30,45	2,47	211,00	3,45	19,10
		12	14,0	4,6	28,89	422,23	47,06	3,82	670,02	4,82	174,43	34,94	2,46	248,00	3,53	22,68
		14	14,0	4,6	33,37	481,76	54,17	3,80	763,90	4,78	199,62	39,10	2,45	282,00	3,61	26,20
		16	14,0	4,6	37,77	538,56	61,09	3,78	852,84	4,75	224,29	43,10	2,44	315,00	3,68	29,65
14	140	9	14,0	4,6	24,72	465,72	45,55	4,34	739,42	5,47	192,03	35,92	2,79	274,00	3,76	19,41
		10	14,0	4,6	27,33	512,29	50,32	4,33	813,62	5,46	210,96	39,05	2,78	301,00	3,82	21,45
		12	14,0	4,6	32,49	602,49	59,66	4,31	956,98	5,43	248,01	44,97	2,76	354,00	3,90	25,50
16	160	10	16,0	5,3	31,43	774,24	66,19	4,96	1229,10	6,25	319,33	52,52	3,19	455,00	4,30	24,67
		11	16,0	5,3	34,42	844,21	72,44	4,95	1340,06	6,24	347,77	56,53	3,18	496,00	4,35	27,02

Окончание табл. П 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
16	160	12	16,0	5,3	37,39	912,89	78,62	4,94	1450,00	6,23	375,78	60,53	3,17	537,00	4,39	29,35
		14	16,0	5,3	43,57	1046,47	90,77	4,92	1662,13	6,20	430,81	68,15	3,16	615,00	4,47	34,20
		16	16,0	5,3	49,07	1175,19	102,64	4,89	1865,73	6,17	484,64	75,92	3,14	690,00	4,55	38,52
		18	16,0	5,3	54,79	1290,24	114,24	4,87	2061,03	6,13	537,46	82,08	3,13	771,00	4,63	43,01
		20	16,0	5,3	60,40	1418,85	125,60	4,85	2248,26	6,10	589,43	90,02	3,12	830,00	4,70	47,41
18	180	11	16,0	5,3	38,80	1216,44	92,47	5,60	1933,10	7,06	499,78	72,86	3,59	716,00	4,85	30,47
		12	16,0	5,3	42,19	1316,62	100,41	5,59	2092,78	7,04	540,45	78,15	3,58	776,00	4,89	33,12
20	200	12	18,0	6,0	47,10	1822,78	124,61	6,22	2896,16	7,84	749,40	98,68	3,99	1073,00	5,37	36,97
		13	18,0	6,0	50,85	1960,77	134,44	6,21	3116,18	7,83	805,35	105,07	3,98	1156,00	5,42	39,92
		14	18,0	6,0	54,60	2097,00	144,17	6,20	3333,00	7,81	861,00	111,50	3,97	1236,00	5,46	42,80
		16	18,0	6,0	61,98	2362,57	163,37	6,17	3755,39	7,78	969,74	123,77	3,96	1393,00	5,54	48,65
		20	18,0	6,0	76,54	2871,47	200,37	6,12	4860,42	7,72	1181,92	146,62	3,93	1689,00	5,70	60,08
		25	18,0	6,0	94,29	3466,21	245,59	6,06	5494,04	7,63	1438,38	172,68	3,91	2028,00	5,89	74,02
		30	18,0	6,0	111,54	4019,60	288,57	6,00	6351,05	7,55	1698,16	193,06	3,89	2332,00	6,07	87,56
22	220	14	21,0	7,0	60,38	2814,36	175,18	6,83	4470,15	8,60	1158,56	138,62	4,38	1655,00	5,91	47,40
		16	21,0	7,0	68,58	3175,44	198,71	6,80	5045,37	8,58	1305,52	153,34	4,36	1869,00	6,02	53,83
25	250	16	24,0	8,0	78,40	4717,10	258,43	7,76	7492,10	9,78	1942,09	203,45	4,98	2775,00	6,75	61,55
		18	24,0	8,0	87,72	5247,24	288,82	7,73	8336,69	9,75	2157,78	220,39	4,96	3089,00	6,83	68,86
		20	24,0	8,0	96,96	5764,87	318,76	7,71	9159,73	9,72	2370,01	242,52	4,94	3395,00	6,91	76,11
		22	24,0	8,0	106,12	6270,32	348,26	7,69	9961,30	9,69	2579,04	260,52	4,93	3691,00	7,00	83,31
		25	24,0	8,0	119,71	7006,39	391,72	7,65	11125,52	9,64	2887,26	287,14	4,91	4119,00	7,11	93,97
		28	24,0	8,0	133,12	7716,86	434,25	7,61	12243,84	9,59	3189,89	311,98	4,90	4527,00	7,23	104,50
		30	24,0	8,0	141,96	8176,82	462,11	7,59	12964,66	9,56	3388,98	327,82	4,89	4788,00	7,31	111,44
		35	24,0	8,0	163,71	9281,05	530,11	7,53	14682,73	9,47	3879,37	366,13	4,87	5401,68	7,53	128,51

Сортамент прокатной стали

Уголки стальные горячекатаные **неравнополочные** ГОСТ 8510–86*

B – ширина большей полки; b – ширина меньшей полки; t – толщина полки; R – радиус внутреннего закругления; r – радиус закругления полки; F – площадь поперечного сечения; I – момент инерции; W – момент сопротивления; i – радиус инерции; x_0, y_0 – расстояние от центра тяжести до наружной грани полки; I_{xy} – центробежный момент инерции

Таблица П 4

№ уголка	Размеры, мм					F , см ²	Справочные величины для осей									x_0 , см	y_0 , см	I_{xy} , см ⁴	Угол наклона оси u , $\text{tg}\alpha$	Масса 1 м, кг
	B	b	t	R	r		$x-x$			$y-y$			$u-u$							
							I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	$I_{u\min}$, см ⁴	W_{u2} , см ³	$i_{u\min}$, см					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
2,5/1,6	25	16	3	3,5	1,2	1,16	0,70	0,43	0,78	0,22	0,19	0,44	0,13	0,16	0,34	0,42	0,86	0,22	0,392	0,91
3/2*	30	20	3	4		1,43	1,27	0,62	0,94	0,45	0,30	0,56	0,26	0,25	0,43	0,51	1,0	0,43	0,427	1,12
							1,86	0,82	0,93	0,56	0,39	0,55	0,34	0,32	0,43	0,54	1,04	0,54	3,421	1,46

Продолжение табл. П 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
3,2/2	32	20	3 4			1,49 1,94	1,52 1,93	0,72 0,93	1,01 1,00	0,46 0,57	0,30 0,39	0,55 0,54	0,28 0,35	0,25 0,33	0,43 0,43	0,49 0,53	1,08 1,12	0,47 0,59	0,382 0,374	1,17 1,52
4/2,5	40	25	3 4 5			1,89 2,47 3,03	3,06 3,93 4,73	1,14 1,49 1,82	1,27 1,26 1,25	0,93 1,18 1,41	0,49 0,68 0,77	0,70 0,69 0,68	0,56 0,71 0,86	0,41 0,52 0,64	0,54 0,54 0,53	0,59 0,63 0,66	1,32 1,37 1,41	0,96 1,22 1,44	0,385 0,281 0,374	1,48 1,94 2,37
4/3*	40	30	4 5	4,0	1,3	2,67 3,28	4,18 5,04	1,54 1,88	1,25 1,24	2,01 2,41	0,91 1,11	0,87 0,86	1,09 1,33	0,75 0,91	0,64 0,64	0,78 0,82	1,28 1,32	1,68 2,00	9,544 0,539	2,26 2,46
4,5/2,8	45	28	3 4	5,0	1,7	2,14 2,80	4,41 5,68	1,45 1,90	1,48 1,42	1,32 1,69	0,61 0,80	0,79 0,78	0,79 1,02	0,52 0,67	0,61 0,60	0,64 0,68	1,47 1,51	1,38 1,77	0,382 0,379	1,68 2,20
5/3,2	50	32	3 4	5,5	1,8	2,42 3,17	6,18 7,98	1,82 2,38	1,60 1,59	1,99 2,56	0,81 1,05	0,91 0,90	1,18 1,52	0,68 0,88	0,70 0,69	0,72 0,76	1,60 1,65	2,01 2,59	0,403 0,401	1,9 2,4
5,6/3,6	56	36	4 5	6,0	2,0	3,58 4,41	11,37 13,82	3,01 3,70	1,78 1,77	3,70 4,48	1,34 1,65	1,02 1,01	2,19 2,65	1,13 1,37	0,78 0,78	0,84 0,88	1,82 1,87	3,74 4,50	0,406 0,404	2,81 3,46
6,3/4,0	63	40	4 5 6 8	7,0	2,3	4,04 4,98 5,90 7,68	16,33 19,91 23,31 29,60	3,83 4,72 5,58 7,22	2,01 2,00 1,99 1,96	5,16 6,26 7,29 9,15	1,67 2,05 2,42 3,12	1,13 1,12 1,11 1,09	3,07 3,73 4,36 5,58	1,41 1,72 2,02 2,60	0,87 0,86 0,86 0,85	0,91 0,95 0,99 1,07	2,03 2,08 2,12 2,20	5,25 6,41 7,44 9,27	0,307 0,396 0,393 0,386	3,17 3,91 4,63 6,03

№ уголка	Размеры, мм					$F, \text{см}^2$	Справочные величины для осей									$x_0, \text{см}$	$y_0, \text{см}$	$I_{xy}, \text{см}^4$	Угол наклона оси $u, \text{tg}\alpha$	Масса l м, кг
	B	b	t	R	r		$x-x$			$y-y$			$u-u$							
							$I_x, \text{см}^4$	$W_x, \text{см}^3$	$i_x, \text{см}$	$I_y, \text{см}^4$	$W_y, \text{см}^3$	$i_y, \text{см}$	$I_{u\min}, \text{см}^4$	$W_u, \text{см}^3$	$i_{u\min}, \text{см}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
6,5/5*	65	50	5	6,0	2,0	5,56	23,41	5,20	2,05	12,08	3,23	1,47	6,41	2,68	1,07	1,26	2,00	9,77	0,576	4,36
			6			6,60	27,46	6,16	2,04	14,12	3,82	1,46	7,52	3,15	1,07	1,30	2,04	11,46	0,575	5,18
			7			7,62	31,32	7,08	2,03	16,05	4,38	1,45	8,60	3,59	1,06	1,34	2,08	12,94	0,571	5,98
			8			8,62	35,00	7,99	2,02	18,88	4,93	1,44	9,65	4,02	1,06	1,37	2,12	13,61	0,570	6,77
7/4,5	70	45	5	7,5	2,5	5,59	27,76	5,88	2,23	9,05	2,62	1,27	5,34	2,20	0,98	1,05	2,28	9,12	0,406	4,39
7,5/5	75	60	5	8,0	2,7	6,11	34,81	6,81	2,39	12,47	3,25	1,43	7,24	2,73	1,09	1,17	2,39	12,00	0,436	4,79
			6			7,25	40,92	8,08	2,38	14,60	3,85	1,42	8,48	3,21	1,08	1,21	2,44	14,10	0,435	5,69
			7			8,37	46,77	9,31	2,36	16,61	4,43	1,41	9,69	3,69	1,08	1,25	2,48	16,18	0,435	6,57
			8			9,47	52,38	10,52	2,35	18,52	4,88	1,40	10,87	4,14	1,07	1,29	2,52	17,80	0,430	7,43
8/5	80	50	5	8,0	2,7	6,36	41,64	7,71	2,56	12,68	3,28	1,41	7,57	2,75	1,00	1,13	2,60	13,20	0,387	4,49
			6			7,55	46,98	9,15	2,55	14,85	3,88	1,40	8,88	3,24	1,08	1,17	2,65	15,50	0,386	5,92
8/6*	80	60	6	8,0	2,7	8,15	52,06	9,42	2,53	25,18	5,58	1,76	13,61	4,66	1,29	1,49	2,47	20,98	0,547	6,39
			7			9,42	59,61	10,87	2,52	28,74	6,43	1,75	15,58	5,34	1,29	1,53	2,52	24,01	0,546	7,39
			8			10,67	66,88	12,38	2,50	32,15	7,26	1,74	17,49	5,99	1,28	1,57	2,56	26,83	0,544	8,37

Продолжение табл. П 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
9/5,6	90	56	5,5 6 8	9,0	3,0	7,86 8,54 11,18	65,28 70,58 90,87	10,74 11,66 15,24	2,88 2,88 2,85	19,67 21,22 27,08	4,53 4,91 6,39	1,58 1,58 1,56	11,77 12,70 16,29	3,81 4,12 5,32	1,22 1,22 1,21	1,26 1,28 1,36	2,92 2,95 3,04	20,54 22,23 28,33	0,384 0,384 0,380	6,17 6,70 8,77
10/6,3	100	63	6 7 8 10			9,58 11,09 12,57 15,47	98,29 112,86 126,96 153,95	14,52 16,78 19,01 23,32	3,20 3,19 3,18 3,15	30,58 34,99 39,21 47,18	6,27 7,23 8,17 9,99	1,79 1,78 1,77 1,75	18,20 20,83 23,38 28,34	5,27 6,06 6,82 8,31	1,38 1,37 1,36 1,35	1,42 1,46 1,50 1,58	3,23 3,28 3,32 3,40	31,50 36,10 40,50 48,60	0,393 0,392 0,391 0,387	7,53 8,70 9,87 12,14
10/6,5*	100	65	7 8 10	10,0	3,3	11,23 12,73 15,67	114,05 128,31 155,52	16,87 19,11 23,45	3,19 3,18 3,15	38,32 42,96 51,68	7,70 8,70 10,64	1,85 1,84 1,82	22,77 25,24 30,60	6,43 7,26 8,83	1,41 1,41 1,40	1,52 1,56 1,64	3,24 3,28 3,37	38,00 42,64 51,18	0,415 0,414 0,410	8,81 9,99 12,30
11/7	110	70	6,5 8			11,45 13,93	142,42 171,54	19,11 23,22	3,53 3,51	45,61 54,64	8,42 10,20	2,00 1,98	26,94 32,31	7,05 8,50	1,53 1,52	1,58 1,64	3,55 3,61	46,80 55,90	0,402 0,400	8,98 10,93
12,5/8	125	60	7 8 10 12	11,0	3,7	14,06 15,98 19,70 23,36	226,53 225,62 311,61 364,79	26,67 30,26 37,27 44,07	4,01 4,00 3,98 3,95	73,73 80,95 100,47 116,84	11,89 13,47 16,52 19,46	2,29 2,28 2,26 2,24	43,40 48,82 59,33 69,47	9,96 11,25 13,74 16,11	1,76 1,75 1,74 1,72	1,80 1,84 1,92 2,00	4,01 4,05 4,14 4,22	74,70 84,10 102,00 118,00	0,407 0,406 0,404 0,400	11,04 12,53 15,47 18,34
14/9	140	90	8 10	12,0	4,0	18,00 22,24	363,68 444,45	38,25 47,19	4,49 4,47	119,79 145,54	17,19 21,14	2,58 2,58	70,27 85,51	14,39 17,58	1,58 1,96	2,03 2,12	4,49 4,58	121,00 147,00	0,411 0,400	4,13 17,46

№ уголка	Размеры, мм					$F, \text{см}^2$	Справочные величины для осей									$x_0, \text{см}$	$y_0, \text{см}$	$I_{xy}, \text{см}^4$	Угол наклона оси $u, \text{тга}$	Масса 1 м, кг
	B	b	t	R	r		$x-x$			$y-y$			$u-u$							
							$I_x, \text{см}^4$	$W_x, \text{см}^3$	$i_x, \text{см}$	$I_y, \text{см}^4$	$W_y, \text{см}^3$	$i_y, \text{см}$	$I_{u\min}, \text{см}^4$	$W_u, \text{см}^3$	$i_{u\min}, \text{см}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
16/10	160	100	9	13,0	4,3	22,87	605,97	56,04	5,15	186,03	23,96	2,85	110,40	20,01	2,20	2,24	5,19	194,00	0,391	17,96
			10			25,28	666,59	61,91	5,13	204,09	26,42	2,84	121,16	22,02	2,19	2,28	5,23	213,00	0,390	19,85
			12			30,04	784,22	73,42	5,11	238,75	31,23	2,82	142,14	25,93	2,18	2,36	5,32	249,00	0,388	23,58
			14			34,72	897,19	84,65	5,08	271,60	35,89	2,80	162,49	29,75	2,16	2,43	5,40	282,00	0,385	27,26
18/11	180	110	10	14,0	4,7	28,33	952,28	78,59	5,80	276,37	32,27	3,12	165,44	26,96	2,42	2,44	5,83	295,00	0,376	22,20
			12			33,69	1122,56	93,33	5,77	324,09	38,20	3,10	194,28	31,83	2,40	2,52	5,97	348,00	0,374	26,40
20/12,5	200	125	11	14,0	4,7	34,87	1499,02	107,31	6,45	446,36	45,98	3,58	263,84	38,27	2,75	2,79	6,50	465,00	0,392	27,37
			12			37,89	1568,19	116,51	6,43	481,93	49,85	3,57	285,04	41,45	2,74	2,83	6,54	503,00	0,392	29,74
			14			43,87	1800,83	134,64	6,41	550,77	57,43	3,54	326,54	47,57	2,73	2,91	6,62	575,00	0,390	34,43
			16			49,77	2026,08	152,41	6,38	616,66	64,83	3,52	366,99	53,56	2,72	2,99	6,71	643,00	0,388	39,07

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Коэффициенты φ продольного изгиба центрально-сжатых элементов

Таблица П 5.1

Гибкость λ	Предел текучести стали σ_y , МПа											
	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10	0,988	0,987	0,985	0,984	0,983	0,982	0,981	0,980	0,979	0,978	0,977	0,977
20	0,967	0,962	0,959	0,955	0,952	0,949	0,946	0,943	0,941	0,938	0,936	0,934
30	0,939	0,931	0,924	0,917	0,911	0,905	0,900	0,895	0,891	0,887	0,883	0,879
40	0,906	0,894	0,883	0,873	0,863	0,854	0,846	0,839	0,832	0,825	0,820	0,814
50	0,869	0,852	0,836	0,822	0,809	0,796	0,785	0,775	0,764	0,746	0,729	0,712
60	0,827	0,805	0,785	0,766	0,749	0,721	0,696	0,672	0,650	0,628	0,608	0,588
70	0,782	0,754	0,724	0,687	0,654	0,623	0,595	0,568	0,542	0,518	0,494	0,470
80	0,734	0,686	0,641	0,602	0,566	0,532	0,501	0,471	0,442	0,414	0,386	0,359
90	0,665	0,612	0,565	0,522	0,483	0,447	0,413	0,380	0,349	0,326	0,305	0,287
100	0,599	0,542	0,493	0,448	0,408	0,369	0,335	0,309	0,286	0,267	0,250	0,235
110	0,537	0,478	0,427	0,381	0,338	0,306	0,280	0,258	0,239	0,223	0,209	0,197
120	0,479	0,419	0,366	0,321	0,287	0,260	0,237	0,219	0,203	0,190	0,178	0,167
130	0,425	0,364	0,313	0,276	0,247	0,223	0,204	0,189	0,175	0,163	0,153	0,145
140	0,376	0,315	0,272	0,240	0,215	0,195	0,178	0,164	0,153	0,143	0,134	0,126
150	0,328	0,276	0,239	0,211	0,189	0,171	0,157	0,145	0,134	0,126	0,118	0,111
160	0,290	0,244	0,212	0,187	0,167	0,152	0,139	0,129	0,120	0,112	0,105	0,099
170	0,259	0,218	0,189	0,167	0,150	0,136	0,125	0,115	0,107	0,100	0,094	0,089
180	0,233	0,196	0,170	0,150	0,135	0,123	0,112	0,104	0,097	0,091	0,085	0,081
190	0,210	0,177	0,154	0,136	0,122	0,111	0,102	0,094	0,088	0,082	0,077	0,073
200	0,191	0,161	0,140	0,124	0,111	0,101	0,093	0,086	0,080	0,075	0,071	0,067
210	0,174	0,147	0,128	0,113	0,102	0,093	0,085	0,079	0,074	0,069	0,065	0,062
220	0,160	0,135	0,118	0,104	0,094	0,086	0,077	0,073	0,068	0,064	0,060	0,057

Коэффициенты φ продольного изгиба центрально-сжатых элементов

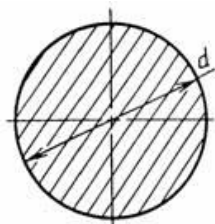
Таблица П 5.2

Материал	Гибкость λ																							
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Сталь АМг	1000	973	945	917	870	770	685	603	530	465	415	365	327	296	265	235	-	-	-	-	-	-	-	
Сталь Амгб	1000	973	946	890	770	640	542	458	387	322	280	243	213	183	162	148	-	-	-	-	-	-	-	
Сталь АВТ1	1000	996	992	900	780	660	557	463	387	312	252	210	175	150	129	113	-	-	-	-	-	-	-	
Сталь Д16Т	1000	999	998	835	700	568	455	353	269	212	172	142	119	101	87	76	-	-	-	-	-	-	-	
Сталь Ст2,3, 4	1000	990	970	950	920	890	860	810	750	690	600	520	450	400	360	320	290	260	230	210	190	170	160	
Сталь Ст5	1000	980	950	930	900	840	800	740	660	590	500	430	380	320	280	270	-	-	-	-	-	-	-	
Сталь НЛ-2 15ХСНД	1000	980	950	930	900	830	780	710	630	540	450	390	330	290	260	230	-	-	-	-	-	-	-	

Окончание табл. П 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Чугун Ч12,15 СЧ18,21	1000	970	910	810	690	570	440	340	260	200	160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Чугун СЧ24, СЧ28	1000	950	870	750	600	430	320	230	180	140	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Дюралюминий	1000	999	998	835	700	568	455	353	269	212	172	142	119	101	87	76	-	-	-	-	-	-	-
Дерево (сосна)	1000	990	970	930	870	800	710	610	490	380	310	250	220	180	160	140	120	110	100	90	80	-	-

Примечание. Значения коэффициенты ϕ продольного изгиба в таблице увеличены в 1000 раз.



Сортамент прокатной стали

Прокат стальной горячекатаный **круглый** ГОСТ 2590–88*

Диаметр d , мм.

Прокат: А – высокой точности; Б – повышенной точности; В – обычной точности.

Таблица П 6

Диаметр d , мм	Предельные отклонения, мм, при точности прокатки			Площадь поперечного сечения, см ²	Масса 1 м профиля, кг
	А	Б	В		
1	2	3	4	5	6
5				0,1963	0,154
5,5				0,2376	0,186
6	+0,1			0,2827	0,222
6,3	-0,2			0,3117	0,245
6,5				0,3318	0,260
7				0,3848	0,302
8				0,5027	0,395
9		+0,1	+0,3	0,6362	0,499
10		-0,5	-0,5	0,7854	0,616
11				0,9503	0,746
12				1,131	0,888
13				1,327	1,04
14	+0,1			1,539	1,21
15	-0,3			1,767	1,39
16				2,011	1,58
17				2,270	1,78
18				2,545	2,00
19				2,835	2,23

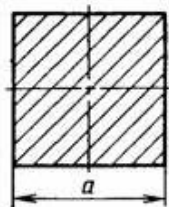
Продолжение табл. П 6

1	2	3	4	5	6
20				3,142	2,47
21				3,464	2,72
22	+0,1	+0,2	+0,4	3,801	2,98
23	-0,4	-0,5	-0,5	4,155	3,26
24				4,524	3,55
25				4,909	3,85
26	+0,1			5,307	4,17
27	-0,4			5,726	4,50
28			+0,3	6,158	4,83
29			-0,7	6,605	5,18
30				7,069	5,55
31				7,548	5,92
32				8,042	6,31
33				8,533	6,71
34				9,079	7,13
35				9,621	7,55
36		+0,2		10,18	7,99
37		-0,7		10,75	8,44
38	+0,1			11,34	8,90
39	-0,5		+0,4	11,95	9,38
40			-0,7	12,57	9,86
41				13,20	10,36
42				13,85	10,88
43				14,52	11,40
44				15,20	11,94
45				15,90	12,48
46				16,62	13,05
47				17,35	13,61
48				18,10	14,20

Диаметр d , мм	Предельные отклонения, мм, при точности прокатки			Площадь поперечного сечения, см ²	Масса 1 м профиля, кг
	А	Б	В		
1	2	3	4	5	6
50				19,64	15,42
52				21,24	16,67
53	+0,1	+0,2	+0,4	22,06	17,32
54	-0,7	-1,0	-1,0	22,89	17,97
55				23,76	18,65
56				24,63	19,33
58				26,42	20,74
60				28,27	22,19
62				30,19	23,70
63				31,17	24,47
65				33,18	26,05
67	+0,1	+0,3	+0,5	35,26	27,68
68	-0,9	-1,1	-1,1	36,32	28,51
70				38,48	30,21
72				40,72	31,96
75				44,18	34,68
78				47,78	37,51
80				50,27	39,46
82				52,81	41,46
85				56,74	44,54
87	+0,3	+0,3	+0,5	59,42	46,64
90	-1,1	-1,3	-1,3	63,62	49,94
92				66,44	52,16
95				70,88	55,64
97				73,86	57,98
100				78,54	61,65
105		+0,4	+0,6	86,59	67,97

Окончание табл. П 6

1	2	3	4	5	6
110	-	-1,7	-1,7	95,03	74,60
115				103,87	81,54
120				113,10	88,78
125				122,72	96,33
130				132,73	104,20
135		+0,6	+0,8	143,14	112,36
140	-	-2,0	-2,0	153,94	120,84
145				165,10	129,60
150				176,72	138,72
155				188,60	148,05
160				201,06	157,83
165				213,72	167,77
170				226,98	178,18
175				240,41	188,72
180			+0,9	254,47	199,76
185	-	-	-2,5	268,67	210,91
190				283,53	222,57
195				298,50	234,32
200				314,16	246,62
210				346,36	271,89
220			+1,2	380,13	298,40
230	-	-	-3,0	415,48	326,15
240				452,39	355,13
250				490,88	385,34
260			+2,0	530,00	416,57
270	-	-	-4,0	572,26	449,22



Сортамент прокатной стали

Прокат стальной горячекатаный **квадратный** ГОСТ 2591–88*

Сторона квадрата a , мм.

Прокат: Б – повышенной точности; В – обычной точности.

Таблица П 7

Сторона квадрата a , мм	Предельные отклонения, мм, при точности прокатки		Площадь поперечного сечения, см ²	Масса 1 м профиля, кг
	Б повышенной	В обычной		
1	2	3	4	5
6			0,36	0,283
7			0,49	0,385
8			0,64	0,502
9			0,81	0,636
10			1,00	0,785
11			1,21	0,95
12	+0,1	+0,3	1,44	1,13
13	-0,5	-0,5	1,69	1,33
14			1,96	1,54
15			2,25	1,77
16			2,56	2,01
17			2,89	2,27
18			3,24	2,54
19			3,61	2,82
20			4,00	3,14
21			4,41	3,46
22	+0,2	+0,4	4,84	3,80

Продолжение табл. П 7

1	2	3	4	5
23	-0,5	-0,5	5,29	4,15
24			5,76	4,52
25			6,25	4,91
26			6,76	5,30
27		+0,3	7,29	5,72
28		-0,7	7,84	6,15
29			8,41	6,60
30			9,00	7,06
32	+0,2		10,24	8,04
34	-0,7		11,56	9,07
35		+0,4	12,25	9,62
36		-0,7	12,96	10,17
38			14,14	11,24
40			16,00	12,56
42			17,64	13,85
45			20,25	15,90
46			21,16	16,61
48	+0,2	+0,4	23,04	18,09
50	-1,0	-1,0	25,00	19,62
52			27,04	21,23
55			30,25	23,75
58			33,64	26,40
60			36,00	28,26
63	+0,3	+0,5	39,69	31,16
65	-1,1	-1,1	42,25	33,17
70			49,00	38,46
75			56,25	44,16
80			64,00	50,24
85	+0,3	+0,5	72,25	56,72

Сторона квадрата a , мм	Предельные отклонения, мм, при точности прокатки		Площадь поперечного сечения, см ²	Масса 1 м профиля, кг
	Б повышенной	В обычной		
1	2	3	4	5
90	-1,3	-1,3	81,00	63,58
93			86,49	67,90
95			90,25	70,85
100			100,00	78,50
105	+0,4	+0,6	110,25	86,57
110	-1,7	-1,7	121,00	94,98
115			132,25	103,82
120			144,00	113,04
125			156,25	122,66
130	+0,6	+0,8	169,00	132,67
135	-2,0	-2,0	182,25	143,07
140			196,00	153,86
145			210,25	165,05
150			225,00	176,63
160			256,00	200,96
170		+0,9	289,00	227,00
180	-	-2,5	324,00	254,00
190			361,00	283,00
200			400,0	314,00

Сортамент прокатной стали

Трубы стальные квадратные ГОСТ 8639–82*

Наружный размер A , мм; толщина стенки s , мм.

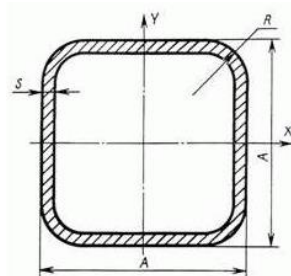


Таблица П 8.1

Наружный размер A , мм	Толщина стенки s , мм	Площадь сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Момент инерции, см ⁴		Момент сопротивления, см ³	
				$I_x = I_y$	$W_x = W_y$		
1	2	3	4	5	6		
10	1,0	0,343	0,269	0,0452		0,0904	
15	1,0	0,543	0,426	0,176		0,233	
	1,5	0,771	0,605	0,229		0,305	
20	1,0	0,743	0,583	0,442		0,442	
	1,5	1,071	0,841	0,600		0,600	
	2,0	1,37	1,075	0,723		0,723	
25	1,0	0,943	0,740	0,897		0,718	
	1,5	1,37	1,07	1,24		0,996	
	2,0	1,77	1,39	1,53		1,22	
	2,5	2,14	1,68	1,77		1,41	
30	3,0	2,48	1,95	1,95		1,56	
	2,0	2,17	1,70	2,79		1,86	
	2,5	2,64	2,07	3,27		2,18	
	3,0	3,08	2,42	3,66		2,44	
	3,5	3,50	2,75	3,98		2,65	
	4,0	3,88	3,04	4,23		2,82	

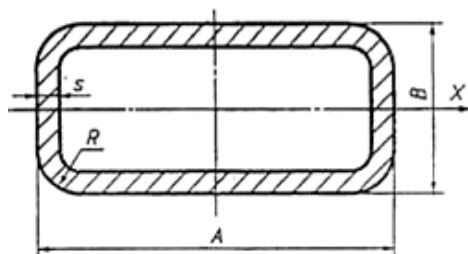
Наружный размер A , мм	Толщина стенки s , мм	Площадь сечения, см^2	Масса 1 м, кг	Момент инерции, см^4	Момент сопротивления, см^3
				$I_x = I_y$	$W_x = W_y$
1	2	3	4	5	6
35	2,0	2,57	2,02	4,61	2,63
	2,5	3,14	2,46	5,44	3,11
	3,0	3,68	2,89	6,17	3,52
	3,5	4,20	3,30	6,78	3,88
	4,0	4,68	3,67	7,30	4,17
	5,0	5,57	4,37	8,05	4,60
40	2,0	2,97	2,33	7,07	3,53
	2,5	3,64	2,85	8,42	4,21
	3,0	4,28	3,36	9,61	4,81
	3,5	4,90	3,85	10,66	5,33
	4,0	5,48	4,30	11,57	5,79
	5,0	6,57	5,16	13,01	6,50
	6,0	7,54	5,92	13,96	6,98
42	3,0	4,52	3,55	11,30	5,38
	3,5	5,18	4,07	12,56	5,98
	4,0	5,80	4,56	13,67	6,51
	5,0	6,97	5,47	15,45	7,36
	6,0	8,02	6,30	16,69	7,95
45	3,0	4,88	3,83	14,15	6,29
	3,5	5,60	4,40	15,79	7,02
	4,0	6,28	4,93	17,25	7,67
	5,0	7,57	5,94	19,66	8,38
	6,0	8,74	6,86	21,42	9,52
	7,0	9,80	7,69	22,60	10,04
	8,0	10,74	8,43	23,23	10,33

Продолжение табл. П 8.1

1	2	3	4	5	6
50	3,0	5,48	4,31	19,93	7,97
	3,5	6,30	4,94	22,35	8,94
	4,0	7,08	5,56	24,54	9,82
	5,0	8,57	6,73	28,26	11,30
	6,0	9,94	7,80	31,15	12,46
	7,0	11,20	8,79	33,28	13,31
	8,0	12,34	9,69	34,70	13,88
60	3,5	7,70	6,04	40,44	13,48
	4,0	8,68	6,82	44,73	14,91
	5,0	10,57	8,30	52,30	17,43
	6,0	12,34	9,69	58,60	19,53
	7,0	14,00	11,00	63,71	21,24
	8,0	15,54	12,20	67,71	22,57
70	4,0	10,28	8,07	73,74	21,07
	5,0	12,57	9,87	87,12	24,89
	6,0	14,74	11,57	98,69	28,20
	7,0	16,80	13,19	108,56	31,02
	8,0	18,74	14,71	116,81	33,37
80	4,0	11,88	9,33	113,17	28,29
	5,0	14,57	11,44	134,73	33,68
	6,0	17,14	13,46	153,84	38,46
	7,0	19,60	15,38	170,63	42,66
	8,0	21,94	17,22	185,20	46,30
90	5,0	16,57	13,00	197,12	43,80
	6,0	19,54	15,34	226,44	50,32
	7,0	22,40	17,58	252,71	56,16

Окончание табл. П 8.1

1	2	3	4	5	6
100	7,0	25,20	19,78	357,62	71,52
	8,0	28,34	22,25	392,65	78,53
	9,0	31,37	24,62	424,11	84,82
110	6,0	24,34	19,11	433,59	78,83
	7,0	28,00	21,98	488,14	88,75
	8,0	31,54	24,76	538,11	97,84
	9,0	34,97	27,45	583,63	106,11
120	6,0	26,74	20,99	572,94	95,49
	7,0	30,80	24,18	647,09	107,85
	8,0	34,74	27,27	715,66	119,28
	9,0	38,57	30,28	778,82	129,80
140	6,0	31,54	24,76	935,19	133,60
	7,0	36,40	28,57	1061,44	151,63
	8,0	41,14	32,29	1179,83	168,55
	9,0	45,77	35,93	1290,58	184,37
150	7,0	39,20	30,77	1322,44	176,32
	8,0	44,34	34,81	1472,85	196,38
	9,0	49,37	38,75	1614,37	215,25
	10,0	54,28	42,61	1747,21	232,96
180	8,0	53,94	42,34	2634,06	292,67
	9,0	60,17	47,23	2900,49	322,28
	10,0	66,28	52,03	3153,95	350,44
	12,0	78,17	61,36	3623,01	402,56
	14,0	89,59	70,33	4043,41	449,27
Трубы специальных размеров					
32	4,0	4,20	3,30	5,33	3,33
36	4,0	4,84	3,80	8,05	4,47
40	2,0	2,97	2,33	7,07	3,54
65	6,0	13,54	10,63	76,91	23,66



Сортамент прокатной стали

Трубы стальные прямоугольные ГОСТ 8645–78*

Наружные размеры: A , B , мм; Толщина стенки s , мм.

Размеры труб, взятые в скобки, не рекомендуются.

Таблица П 8.2

A	B	s	Площадь сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Момент инерции, см ⁴		Момент сопротивления, см ³	
					I_x	I_y	W_x	W_y
мм								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	10	1	0,443	0,348	0,065	0,126	0,131	0,167
		1,5	0,621	0,488	0,082	0,160	0,164	0,214
		2	0,771	0,605	0,089	0,179	0,179	0,239
20	10	1	0,543	0,426	0,086	0,261	0,172	0,261
		1,5	0,771	0,605	0,109	0,344	0,218	0,344
		2	0,971	0,762	0,122	0,398	0,245	0,398
	15	1	0,643	0,505	0,224	0,352	0,298	0,352
		1,5	0,921	0,723	0,297	0,472	0,397	0,472
		2	1,17	0,919	0,350	0,561	0,466	0,561
		2,5	1,39	1,09	0,383	0,620	0,510	0,620
25	10	1	0,643	0,505	0,106	0,465	0,212	0,372
		1,5	0,921	0,723	0,137	0,623	0,237	0,499
		2	0,17	0,919	0,155	0,738	0,310	0,590
		2,5	1,39	1,09	0,163	0,813	0,326	0,650
	15	1	0,743	0,583	0,273	0,609	0,364	0,487
		1,5	1,07	0,841	0,366	0,831	0,488	0,665
		2	1,37	1,08	0,435	1,003	0,580	0,803
		2,5	1,64	1,29	0,482	1,130	0,642	0,904

A	B	s	Площадь сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Момент инерции, см ⁴		Момент сопротивления, см ³	
					I_x	I_y	W_x	W_y
1	мм		4	5	6	7	8	9
30	10	1	0,743	0,583	0,126	0,749	0,253	0,499
		1,5	1,07	0,841	0,164	1,02	0,328	0,679
30	10	2	1,37	1,08	0,188	1,22	0,375	0,816
		2,5	1,64	1,29	0,199	1,37	0,399	0,915
		3	1,88	1,48	0,201	1,46	0,402	0,977
	15	1	0,843	0,661	0,322	0,959	0,429	0,639
		1,5	1,22	0,959	0,435	1,32	0,580	0,882
		2	1,57	1,23	0,520	1,62	0,693	1,08
		2,5	1,89	1,48	0,580	1,85	0,774	1,23
	20	3	2,18	1,71	0,619	2,01	0,825	1,34
		1	0,943	0,740	0,623	1,17	0,623	0,780
		1,5	1,37	1,08	0,858	1,63	0,858	1,08
		2	1,77	1,39	1,05	2,01	1,05	1,34
		2,5	2,14	1,68	1,20	2,32	1,20	1,55
35	15	3	2,48	1,95	0,730	3,09	0,972	1,76
		3,5	2,80	2,20	0,757	3,30	1,01	1,88
		1,5	1,37	1,08	0,503	1,97	0,671	1,12
		2	1,77	1,39	0,605	2,43	0,807	1,39
		2,5	2,14	1,68	0,680	2,80	0,906	1,60
	20	1,5	1,52	1,19	0,987	2,39	0,987	1,36
		2	1,97	1,55	1,21	2,97	1,21	1,70
		2,5	2,39	1,88	1,39	3,46	1,39	1,98
		3	2,78	2,19	1,53	3,86	1,53	2,20
		3,5	3,15	2,47	1,63	4,17	1,63	2,38
		1,5	1,67	1,31	1,66	2,18	1,33	1,61
		2	2,17	1,70	2,06	3,52	1,65	2,01

Продолжение табл. П 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	25	2,5 3 3,5	2,64 3,08 3,50	2,07 2,42 2,75	2,40 2,68 2,90	4,12 4,63 5,04	1,92 2,14 2,32	2,35 2,64 2,88
40	15	2	1,97	1,55	0,690	3,46	0,920	1,73
		2,5	2,39	1,88	0,778	4,02	1,04	2,01
		3	2,78	2,19	0,840	4,47	1,12	2,23
		3,5	3,15	2,47	0,876	4,82	1,17	2,41
	20	4	3,48	2,73	0,892	5,07	1,19	2,53
		2	2,17	1,70	1,37	4,18	1,37	2,09
		2,5	2,64	2,07	1,58	4,90	1,58	2,45
		3	3,08	2,42	1,75	5,50	1,75	2,75
	25	3,5	3,50	2,75	1,87	5,99	1,87	2,99
		4	3,88	3,05	1,96	6,37	1,96	3,18
		2	2,37	1,86	2,33	4,90	1,86	2,45
		2,5	2,89	2,27	2,72	5,78	1,17	2,89
30	3	3,38	2,66	3,04	6,53	2,43	3,26	
	3,5	3,85	3,02	3,30	7,15	2,64	3,59	
	4	4,28	3,36	3,51	7,67	2,81	3,83	
	2	2,57	2,02	3,58	5,63	2,39	2,81	
(42)	20	2,5	3,14	2,47	4,22	6,66	2,81	3,33
		3	3,68	2,89	4,76	7,56	3,17	3,79
		3,5	4,20	3,30	5,22	8,32	3,48	4,16
		4	4,68	3,68	5,59	8,97	3,79	4,43
		2	2,25	1,77	1,44	4,74	1,44	2,26
	2,5	2,74	2,15	1,66	5,56	1,66	2,65	
	3	3,20	2,52	1,84	6,26	1,84	2,98	
	3,5	3,64	2,86	1,97	6,83	1,97	3,25	
	4	4,04	3,17	2,06	7,29	2,06	3,47	
		2	2,65	2,08	3,74	6,34	2,49	3,02

A	B	s	Площадь сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Момент инерции, см ⁴		Момент сопротивления, см ³	
					I_x	I_y	W_x	W_y
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	30	2,5	3,24	2,54	4,41	7,52	2,94	3,58
		3	3,80	2,99	4,98	8,55	3,32	4,07
(42)	30	3,5	4,34	3,41	5,46	9,43	3,64	4,49
		4	4,84	3,80	5,87	10,19	3,91	4,85
45	20	2	2,37	1,86	1,54	5,66	1,54	2,52
		2,5	2,89	2,27	1,78	6,67	1,78	2,96
		3	3,38	2,66	1,97	7,52	1,97	3,34
		3,5	3,85	3,02	2,11	8,24	2,11	3,66
	30	4	4,28	3,36	2,18	8,82	2,22	3,92
		2	2,77	2,17	3,97	7,51	2,65	3,34
		2,5	3,39	2,66	4,69	8,93	3,13	3,97
		3	3,98	3,13	5,31	10,17	3,54	4,52
	30	3,5	4,55	3,57	5,83	11,26	3,89	5,00
		4	5,08	3,99	6,63	12,19	4,18	5,42
		2	2,77	2,17	2,86	8,59	2,29	3,44
		2,5	3,39	2,66	3,35	10,21	2,68	4,08
50	25	3	3,98	3,13	3,77	11,63	3,02	4,65
		3,5	4,55	3,57	4,12	12,87	3,30	5,15
		4	5,08	3,99	4,40	13,93	3,52	5,57
		2	2,97	2,32	4,36	9,74	2,91	3,90
	30	2,5	3,64	2,86	5,16	11,62	3,44	4,65
		3	4,28	3,36	5,86	13,29	3,90	5,32
		3,5	4,90	3,85	6,45	14,77	4,30	5,91
		4	5,48	4,30	6,96	16,05	4,64	6,42
35	2	3,17	2,49	6,24	10,90	3,57	4,36	
	2,5	3,89	3,09	7,43	13,03	4,24	5,21	
	3	4,58	3,60	8,47	14,95	4,84	5,98	

Продолжение табл. П 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
		3,5	5,25	4,12	9,40	16,66	5,37	6,66	
		4	5,88	4,62	10,20	18,17	5,83	7,27	
	40	2	3,37	2,65	8,52	12,05	4,28	4,82	
50	40	2,5	4,14	3,25	10,18	14,44	5,09	5,78	
		3	4,88	3,83	11,67	16,61	5,84	6,64	
		3,5	5,60	4,39	13,00	18,56	6,50	7,42	
		4	6,28	4,93	14,18	20,29	7,09	8,12	
60	25	2,5	3,89	3,05	3,99	16,34	3,19	5,45	
		3	4,58	3,60	4,50	18,73	3,60	6,24	
		3,5	5,25	4,12	4,93	20,86	3,95	6,95	
		4	5,88	4,62	5,29	22,74	4,23	7,59	
		5	7,07	5,55	5,80	25,75	4,64	8,58	
	30	2,5	4,14	3,25	6,11	18,41	4,07	6,13	
		3	4,88	3,83	6,96	21,17	4,64	7,06	
		3,5	5,60	4,39	7,69	23,66	5,13	7,89	
		4	6,28	4,93	8,32	25,88	5,55	8,63	
		5	7,57	5,94	9,30	29,54	6,19	9,85	
	40	3	5,48	4,30	13,73	26,05	6,86	8,68	
		3,5	6,30	4,94	15,34	29,25	7,67	9,75	
4		7,08	5,56	16,78	32,16	8,39	10,72		
5		8,57	6,73	12,17	37,12	9,59	12,37		
70	30	3	5,48	4,30	8,05	31,49	5,37	9,00	
		3,5	6,30	4,94	8,92	35,35	5,95	10,10	
		4	7,08	5,56	9,68	38,84	6,45	11,10	
		5	8,57	6,73	10,87	44,78	7,25	12,79	
		6	9,94	7,80	11,67	49,39	7,78	14,11	
	40	3	6,08	4,78	15,79	38,23	7,89	10,92	
		3,5	7,00	5,49	17,68	43,10	8,84	12,31	
		4	7,88	6,19	19,38	47,56	9,69	13,59	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		5	9,57	7,51	22,25	55,36	11,13	15,82
		6	11,14	8,75	24,47	61,71	12,23	17,63
70	50	3	6,68	5,25	26,56	44,97	10,63	12,85
		3,5	7,70	6,04	29,93	50,84	11,97	14,53
		4	8,68	6,82	33,02	56,29	13,21	16,08
		5	10,57	8,30	38,42	65,94	15,37	18,84
		6	12,34	9,69	42,83	74,03	17,13	21,15
80	40	3	6,68	5,25	17,84	53,46	8,92	13,36
		3,5	7,70	6,04	20,02	60,44	10,01	15,11
		4	8,68	6,82	21,98	66,91	10,99	16,73
		5	10,57	8,30	25,34	78,38	12,67	19,60
		6	12,34	9,69	27,97	87,97	13,99	21,99
	50	7	14,00	10,99	29,94	95,77	14,97	23,94
		3	7,28	5,72	29,88	62,35	11,95	15,59
		3,5	8,40	6,59	33,72	70,69	13,49	17,67
	60	4	9,48	7,44	37,26	78,48	14,91	19,62
		3,5	9,10	7,14	51,63	80,94	17,21	20,23
		4	10,28	8,07	57,29	90,04	19,10	22,51
		5	12,57	9,87	67,46	106,55	22,49	26,64
		6	14,74	11,57	76,16	120,90	25,39	30,22
	90	40	7	16,80	13,19	83,48	133,19	27,83
3,5			8,40	6,59	22,36	81,64	11,18	18,14
4			9,48	7,44	24,59	90,61	12,29	20,13
5			11,57	9,08	28,42	106,7	14,21	23,71
6			13,54	10,63	31,48	120,4	15,74	26,75
60		7	15,40	12,09	33,81	13,85	16,91	29,30
		4	11,08	8,70	63,57	120,2	21,19	26,71
		5	13,57	10,65	75,04	142,8	25,01	31,75
		6	15,94	12,51	84,94	162,8	28,31	36,18

Продолжение табл. П 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		7	18,20	14,29	93,37	180,2	31,12	40,04
100	40	4	10,28	8,07	27,20	119,0	13,59	23,81
		5	12,57	9,87	31,50	140,7	15,75	28,16
		6	14,74	11,57	34,98	159,6	17,49	31,92
		7	16,80	13,19	37,68	175,6	18,84	35,12
	50	4	11,08	8,70	45,75	137,5	18,30	27,50
		5	13,57	10,65	53,67	163,4	21,47	32,67
		6	15,94	12,51	60,37	186,1	24,15	37,23
		7	18,20	14,29	65,92	205,9	26,37	41,19
	70	4	12,68	9,96	99,90	174,4	28,54	34,87
		5	15,57	12,22	118,8	208,5	33,96	41,71
		6	18,34	14,40	135,6	239,2	38,76	47,85
		7	21,00	16,48	150,5	266,6	42,97	53,32
110	40	4	11,08	8,70	29,79	152,6	14,89	27,75
		5	13,57	10,65	34,59	181,2	17,29	32,94
		6	15,94	12,51	38,48	206,4	19,24	37,49
		7	18,20	14,29	41,55	227,8	20,77	41,42
	50	4	11,88	9,33	49,99	175,1	20,00	31,84
		5	14,57	11,44	58,75	208,7	23,50	37,95
		6	17,14	13,46	66,21	238,6	26,48	43,39
		7	19,60	15,38	72,45	265,0	28,98	48,18
	60	4	12,68	9,96	76,14	197,6	25,38	35,92
		5	15,57	12,22	90,21	236,3	30,07	42,97
		6	18,34	14,40	102,5	271,1	34,17	49,30
		7	21,00	16,48	113,14	302,1	37,71	54,94
120	40	5	14,57	11,44	37,67	228,3	18,84	38,05
		6	17,14	13,46	42,00	260,7	20,99	43,45
		7	19,60	15,38	45,42	289,0	22,71	48,18
		8	21,94	17,22	48,03	313,5	24,02	52,25

1	2	3	4	5	6	7	8	9
120	60	5	16,57	13,00	97,79	294,5	32,60	49,08
		6	19,54	15,34	111,2	338,7	37,10	56,46
		7	22,40	17,58	123,0	378,5	41,01	63,09
		8	25,14	19,73	133,1	414,0	44,37	69,00
	80	5	18,57	14,58	191,0	360,6	47,76	60,11
		6	21,94	17,22	219,7	416,8	54,92	69,47
		7	25,20	19,78	245,4	468,0	61,36	78,01
		8	28,34	22,25	268,4	514,5	67,11	85,76
140	60	5	18,57	14,58	112,9	436,2	37,65	62,31
		6	21,94	17,22	128,8	503,9	42,95	71,99
		7	25,20	19,78	142,8	565,6	47,60	80,80
		8	28,34	22,25	154,9	621,5	51,64	88,78
	80	5	20,57	16,15	219,2	527,3	54,80	75,33
		6	24,34	19,11	252,6	611,7	63,15	87,39
		7	28,00	21,98	282,8	689,6	70,71	98,51
		8	31,54	24,76	310,1	761,1	77,53	108,7
	120	6	29,14	22,88	650,9	827,3	108,5	118,2
		7	33,60	26,37	736,5	937,4	122,7	133,9
		8	37,94	29,78	816,1	1040	136,0	148,6
		9	42,17	33,10	889,9	1135	148,3	162,3
150	80	6	25,54	20,05	269,1	727,1	67,27	96,95
		7	29,40	23,08	301,6	821,0	75,39	109,5
		8	33,14	26,01	303,9	907,6	82,73	121,0
		9	36,77	28,86	357,2	987,1	89,32	131,6
		10	40,28	31,62	380,7	1060	95,18	141,3
	100	6	27,94	21,93	451,6	851,6	90,32	131,5
		7	32,20	25,28	509,2	964,2	101,8	128,6
		8	36,34	28,53	562,3	1069	112,5	142,5
100	9	40,37	31,69	611,0	1166	122,2	155,5	

Окончание табл. П 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
150		10	44,28	34,76	655,4	1256	131,1	167,5
180	80	7	33,60	26,37	357,7	1306	89,42	145,1
		8	37,94	29,78	393,4	1449	98,35	161,1
		9	42,17	33,10	425,7	1583	106,4	175,9
		10	46,28	36,33	454,7	1707	113,7	189,7
		12	54,17	42,52	503,6	1926	125,9	214,0
	100	8	41,14	32,29	664,1	1686	132,8	187,4
		9	45,77	35,93	723,1	1846	144,6	205,2
		10	50,28	39,47	777,4	1996	155,5	221,8
		12	58,97	46,29	872,3	2265	174,5	251,7
	150	8	49,14	38,57	1714	2279	228,7	253,2
		9	54,77	42,99	1883	2505	251,1	278,3
		10	60,28	47,32	2041	2720	272,2	302,2
12		70,97	55,71	2331	3114	310,8	346,0	
Трубы специальных размеров								
28	25	1,5	1,46	1,15	1,37	1,64	1,10	1,2
28	25	2	1,89	1,49	1,69	2,03	1,35	1,45
28	25	2,5	2,29	1,80	1,96	2,35	1,56	1,68
40	25	1,5	1,82	1,43	1,87	3,90	1,49	1,95
40	28	1,5	1,91	1,50	2,43	4,23	1,73	2,11
40	28	2,0	2,49	1,95	3,04	5,34	2,17	2,67
40	28	2,5	3,04	2,39	3,57	6,31	2,55	3,15
70	50	7	14,0	10,99	46,33	80,65	18,53	23,04
90	50	3	7,88	6,19	33,20	83,38	13,28	18,53
140	60	3	11,48	9,02	74,83	281,8	24,94	40,26
150	60	7	26,60	20,88	152,7	677,7	50,90	90,36
160	130	8	42,74	33,55	1107	1533	170,3	191,6
180	145	20	107,13	84,10	2891	4131	398,9	459,0
190	120	12	66,17	51,94	1429	2987	238,2	314,5
196	170	18	113,24	88,99	4443	5594	522,8	570,8
200	120	8	47,54	37,32	1117	2495	186,3	249,5
230	100	8	49,14	38,57	833,8	3138	166,8	272,8

Оглавление

Введение	3
1. Осевое растяжение – сжатие стержней	3
1.1. Задание 1	4
1.1.1. Условия задания 1	4
1.1.2. Пример выполнения задания 1	6
2. Плоский изгиб балок	9
2.1. Понятие об изгибающем моменте и поперечной силе	10
2.2. Порядок построения эпюр поперечных сил $Q_{(z)}$ и изгибающих моментов $M_{(z)}$	12
2.3. Задание 2	13
2.3.1. Условия задания 2	13
2.3.2. Пример выполнения задания 2	16
3. Расчёт сжатых стержней на устойчивость	23
3.1. Задание 3	28
3.1.1. Условия задания 3	28
3.1.2. Пример выполнения задания 3	31
4. Правила оформления расчётных работ	33
Библиографический список	38
ПРИЛОЖЕНИЯ	40
Приложение 1	40
Приложение 2	42
Приложение 3	44
Приложение 4	48
Приложение 5	53
Приложение 6	56
Приложение 7	60
Приложение 8	63

Фури Анатолий Иванович
Назарук Андрей Владимирович
Кривоногова Александра Станиславовна
Сергеевичев Владимир Васильевич
Супонина Надежда Юрьевна

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие
по выполнению расчётных работ
для подготовки бакалавров очной формы обучения

Редактор *Л. В. Лукьянчук*
Компьютерная верстка – *О. С. Малышева*

Подписано в печать с оригинал-макета 22.09.16.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Уч.-изд. л. 4,75. Печ. л. 4,75. Тираж 100 экз. Заказ № 141. С 169.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
Издательско-полиграфический отдел СПбГЛТУ
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 3