

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»**

---

Г.В. Мищенко, Ю.П. Самсонов, А.И. Смирнов,  
Н.Л. Стрельникова, В.Э. Цой, В.Н. Щугорев

**ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Методическое пособие к курсовой работе  
«Динамика и прочность машин»  
для студентов, обучающихся по направлению  
«Теплоэнергетика»

Москва  
Издательство МЭИ  
2020

УДК 539.4  
П846

*Утверждено учебным управлением МЭИ*

*Подготовлено на кафедре  
динамики и прочности машин им. В. В. Болотина*

Р е ц е н з е н т — докт. техн. наук, проф. В. П. Чирков

**Мишенков, Г. В.**

П846 Прочность элементов конструкций теплоэнергетического оборудования: методическое пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2020. — 24с.

Методическое пособие к курсовой работе «Динамика и прочность машин» предназначено для студентов второго курса Института энергоэффективности и водородных технологий (ИЭВТ), обучающихся по направлению «Теплоэнергетика», изучающих курс «Динамика и прочность машин» в четвертом семестре.

**УДК 539.4**

## Указания по оформлению курсовой работы

- Курсовая работа состоит из двух частей. Каждая часть работы выполняется и защищается в соответствии с указанными сроками.
- Текстовая часть работы выполняется на листах писчей бумаги (белой или клетчатой) форматом А4 (210 х 297). Листы нумеруются и вместе со схемами подшиваются в папку. Бланк задания вкладывается в расчетную часть задания, после титульного листа.
- Текст пишется четко и аккуратно на одной стороне листа. Слева оставляются поля шириной 30 мм, справа — 15 мм, сверху и снизу – по 20 мм. Запись условий каждой задачи обязательна.
- Схемы, графики и рисунки выполняются на листах миллиметровой или клетчатой бумаги форматом А4 карандашом в строго выбранных масштабах с помощью чертежных инструментов. Все схемы, графики и рисунки должны иметь подрисовочную подпись и порядковый номер, согласно индексационной, сквозной или пораздельной нумерации.
- На схемах следует проставлять как буквенные обозначения, так и числовые значения размеров, нагрузок и опорных реакций с указанием соответствующих размерностей.
- Все расчеты должны выполняться с соблюдением правил приближенных вычислений с точностью до трех значащих цифр.
- Если расчеты выполняются на ЭВМ, в отчетах приводится описание программы, подшиваются ее распечатка и распечатка числовых результатов.
- При исправлении полученной от преподавателя проверенной работы не разрешается удалять вопросы и замечания, сделанные преподавателем. Мелкие исправления выполняются в соответствующем месте расчета (обязательно другими чернилами). Крупные исправления выполняются на новых листах и подшиваются к расчету, со ссылкой на них в месте ошибки.
- Курсовая работа без бланка задания или оформленная с нарушением настоящих указаний не принимается.

## ЧАСТЬ I. РАСЧЕТЫ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

### Задачи № 1–4

Для заданных стержневых систем, находящихся под воздействием нагрузок  $P$ ,  $q$  и  $t$ , требуется:

1. Используя уравнения статики, определить опорные реакции.
2. Построить эпюры внутренних силовых факторов.

*Указания:* для задач № 1–2 силу  $P$  вычислять в соответствии со схемой. Данные к задачам № 1–4 приведены в табл. 1 (см. прил. 1).

### Задача № 5

Определить из расчета на прочность площади поперечных сечений стержней и установить по размерам ГОСТ размеры сечений, типы которых указаны на чертеже. Вычислить в процентах недогрузку (перегрузку) каждого из стержней. Материал стержней — сталь марки Ст. 3,  $[\sigma] = 160$  МПа.

*Указания:*

- а) брус  $AB$  считать недеформируемым;
- б) при подборе учесть, что перегрузка более 5 % не допускается;
- в) для стержней круглого поперечного сечения стандартными являются следующие диаметры: от 5 до 40 мм с шагом в 1 мм, далее 42, 44, 45, 48, 50, 52, 54, 55, 58, 60, 62, 65, 68, 70 и т.д. до 100 мм, после 100 мм с шагом в 5 мм.

Данные к задаче № 5 приведены в табл. 2 (см. прил. 1).

### Задача № 6

1. Определить из расчета стержней на прочность допускаемое значение силы  $P$  приложенной к брусу  $AB$ . Материал стержней — сталь марки Ст. 3, напряжение текучести  $\sigma_T = 240$  МПа, нормативный коэффициент запаса прочности  $[n] = 1,5$ . Брус  $AB$  считать недеформируемым.
2. Определить усилия и напряжения в стержнях, если отмеченный на схеме стержень нагрет на  $\Delta T$ . Принять модуль Юнга  $E = 200$  ГПа, температурный коэффициент расширения материала  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$  1/град.
3. Вычислить напряжения, возникающие в поперечных сечениях стержней при совместном действии силы  $P$ , равной ее допускаемому значению, и температурном воздействии.
4. Вычислить в процентах недогрузку (перегрузку) системы, обусловленную изменением температурного режима.

Данные к задаче № 6 приведены в табл. 3 (см. прил. 1).

### Задача № 7

1. Определить монтажные напряжения после сборки системы. Материал — сталь,  $E = 200$  ГПа.
2. Определить напряжения в собранной стержневой системе при изменении температуры в стержнях, указанных на схеме. Принять  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$  1/град.
3. Определить суммарные напряжения и сделать вывод о прочности системы. Принять предельное напряжение  $\sigma_{\text{пред}} = 240$  МПа.  
Данные к задаче № 7 приведены в табл. 4 (см. прил. 1).

### Задача № 8

Для стального ступенчатого стержня кругового поперечного сечения требуется:

1. Построить эпюру крутящих моментов  $M_z$ , максимальных касательных напряжений  $\tau$ , относительных углов закручивания  $\theta$  по длине стержня.
2. Из расчета на прочность и жесткость определить допускаемое значение момента  $m$ .
3. Построить эпюру углов закручивания по длине стержня.
4. Построить эпюру касательных напряжений  $\tau$  для опасного сечения.  
Принять модуль сдвига  $G = 80$  ГПа,  $[\tau] = 100$  МПа.  
Данные к задаче № 8 приведены в табл. 5 (см. прил. 1).

## ЧАСТЬ II. СЛОЖНОЕ НАГРУЖЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

### Задача № 9

1. Для заданного поперечного сечения определить положение центра тяжести и вычислить главные центральные моменты инерции.
2. Используя схему и решение задачи №1, выбрать рациональное с точки зрения прочности расположение поперечного сечения и определить фактический коэффициент запаса прочности. Принять  $\sigma_t = 240$  МПа. Если имеет место перегрузка, указать во сколько раз должна быть уменьшена нагрузка, действующая на балку, с тем, чтобы соблюдалось условие прочности  $n > [n]$ . Принять нормативный коэффициент запаса прочности  $[n] = 1,6$ .
3. С помощью интеграла Максвелла-Мора и формулы Симпсона определить линейное или угловое перемещение в выбранном сечении.  
Данные к стандартным прокатным профилям приведены в приложении 2.

### Задача № 10

1. Из расчетов на прочность по допускаемым напряжениям изгиба подобрать номер прокатного сечения рамы, приведенной на схеме задачи № 3. Для подобранного сечения построить эпюру нормальных напряжений.
2. Для заданной рамы определить перемещение сечения  $k$ , используя интеграл Максвелла-Мора.  
Принять  $E = 200$  ГПа,  $[\sigma] = 200$  МПа

### Задача № 11

Стержневая система нагружена пространственной системой сил.

1. Построить эпюры продольной силы  $N_z$ , изгибающих моментов  $M_x$  и  $M_y$  через параметр внешней силы  $P$ .
2. Для опасного сечения построить эпюры нормальных напряжений.
3. Записать уравнение нейтральной линии. Построить нейтральную линию и суммарную эпюру нормальных напряжений.  
Определить допускаемое значение силы  $P$ .  
Данные к задаче № 11 приведены в табл. 6 (см. прил. 1).

### Задача № 12

Для участка трубопровода, приведенного на схеме задачи № 4, определить допускаемое значение диаметра поперечного сечения. Воспользоваться критерием текучести Сен-Венана. Принять  $[\sigma] = 200$  МПа,  $c = d_0/d = 0,8$ .

### Задача № 13

Для изображенного на схеме промежуточного вала редуктора требуется:

1. Определить приложенные к валу нагрузки и составить расчетную схему нагружения вала.
2. Построить эпюры изгибающих и крутящих моментов.
3. Задаться значением нормативного коэффициента запаса прочности из интервала  $[n] = 3 \div 6$ , величина которого косвенно учитывает циклическое изменение нормальных напряжений при вращении вала. По заданному критерию прочности рассчитать диаметр вала.  
Данные к задаче № 13 приведены в табл. 7 (см. прил. 1).

### Задача № 14

Для толстостенного сосуда, находящегося в условиях воздействия давления ( $p_1$  и/или  $p_2$ ) требуется:

1. Построить эпюры окружных и радиальных напряжений от давления по радиусу сечения.
2. Изобразить элемент, вырезанный в опасной точке. Проверить прочность сосуда.

*Указания:* для материала сосуда принять  $E = 200$  ГПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ .

Данные к задаче № 14 приведены в табл. 8 (см. прил. 1).

### Задача № 15

Тонкостенный резервуар с толщиной стенок  $h$  находится под давлением жидкости плотностью  $\rho$  и давлением газа  $p_0$ .

1. Используя безмоментную теорию для оболочек вращения, построить эпюры меридиональных и окружных напряжений.
2. Изобразить элемент, вырезанный в опасной точке. По заданному критерию прочности определить толщину стенки резервуара.
3. Сопоставить результаты расчета с расчетом по соответствующим формулам ГОСТ 14249-89 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность»:

а) для цилиндра 
$$h = \frac{pR}{\phi[\sigma] - 0,5p} + C \approx \frac{pD}{2[\sigma] - p} \approx \frac{pD}{2[\sigma]}$$

б) для конуса 
$$h = \frac{pR}{(\phi[\sigma] - 0,5p)\cos\alpha} + C \approx \frac{pD}{2[\sigma]\cos\alpha}$$

в) для сферы 
$$h = \frac{pR}{2\phi[\sigma] - 0,5p} + C \approx \frac{pD}{4[\sigma]}$$

*Указания:*

а) при построении эпюр обратить внимание на расположение опорного кольца — на схеме кольцо заштриховано;

б) эпюры напряжений в сферической и конической частях строить не менее чем по трем точкам;

в) в формулах п. 3, взятых из ГОСТ 14249-89, поправку на коррозию  $C$  в расчетах не учитывать;  $D = 2R$ .

Данные к задаче № 15 приведены в табл. 9 (см. прил.).

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Окопный Ю.А., Радин В.П., Чирков В.П. Механика материалов и конструкций: учебник для вузов. — 2-е изд. — М.: Машиностроение, 2003.
2. Ицкович Г.М., Минин Л.С., Винокуров А.И. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов. — 3-е изд. — М.: Высшая школа, 1999.
3. Самогин Ю.Н., Хроматов В.Е., Чирков В.П. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов / Под ред. В.П. Чиркова. — М.: Физматлит, 2012.
4. Мищенко Г.В., Самогин Ю.Н., Чирков В.П. Метод конечных элементов в курсе сопротивления материалов / Под ред. В.П. Чиркова. — М.: Физматлит, 2015.
5. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. — Введ. 1990-01-01. — М.: Издательство стандартов, 1989.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Данные к задачам курсовой работы

Таблица 1

Данные к задачам № 1 – 4

Вариант	$q$ , кН·м <sup>-1</sup>	$P$ , кН	$a$ , м	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$c$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$\gamma$
1	30	22	1,3	1	1,4	0,7	1,5	0,4	0,2	2
2	40	21,5	2,5	1	1	0,5	1,8	0,6	0,5	1,6
3	15	10	1	1,5	1	0,3	2,2	0,6	0,4	1,1
4	20	15	1,5	1,5	1,2	0,6	2,6	0,7	0,3	1,2
5	25	22	2	1	1,6	0,4	1,5	0,9	0,8	1,3
6	45	23	2	1,2	1,5	0,3	2,1	0,9	0,2	1,7
7	35	20	2	0,7	1,2	0,8	2,5	0,5	0,6	1,5
8	10	21	2	1	0,8	0,5	2,5	0,7	0,2	1,9
9	30	24,5	2,5	0,8	1,4	0,7	2	0,8	0,3	1,4
10	50	20,5	2,5	1,4	1,4	0,4	2,6	0,8	0,1	1,8
11	55	21	2	1	1,2	0,7	2,4	0,7	0,5	1,9
12	60	12	1,2	1	1,2	0,6	1,6	0,5	0,2	2
13	65	14	1,4	1,2	1,4	0,8	2,5	0,6	0,1	0,9
14	70	16	1,6	1,4	1	0,5	2,2	0,8	0,3	0,8
15	75	18	1,8	1,5	1,4	0,2	2	0,7	0,6	0,6
16	80	20	2	0,8	1,2	0,4	1,6	0,6	0,4	0,7
17	75	22	2,2	1,2	0,7	0,3	1,8	0,9	0,7	0,5
18	70	24	2,4	0,7	0,9	0,8	2,2	0,8	0,1	1,8
19	65	26,5	2,6	1	1,4	0,7	2,4	0,5	0,6	1,4
20	60	22,5	2,8	1,2	1	0,5	2,8	0,7	0,3	1,1
21	55	24,5	2,7	1,5	0,8	0,6	2,6	0,9	0,4	1,2
22	50	16	1,6	1,5	0,7	0,3	1,5	0,6	0,7	1
23	45	21	2	0,9	0,8	0,4	2,5	0,8	0,6	1,5
24	40	20,5	2,5	0,6	1,4	0,5	1,9	0,9	0,8	2
25	35	15	1,5	0,8	1,5	0,6	1,7	0,7	0,2	1,8
26	30	25,5	2,5	0,7	1,6	0,8	2	0,5	0,1	1



## Данные к задаче № 5

Вариант	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$q$ , кН·м <sup>-1</sup>	$a$ , м	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$\alpha$ , град	$\beta$ , град
1	220	340	45	1,8	1,5	2	30	25
2	250	160	50	2,7	3,2	1,4	40	30
3	300	240	60	2	3	1,5	30	30
4	200	380	70	2,2	3,5	2	20	35
5	380	250	80	2,4	4	2,5	25	40
6	200	360	40	1,6	3,4	1,8	45	40
7	350	400	60	2,8	2,4	2,5	30	35
8	300	250	80	1,8	2,5	1	40	25
9	340	250	90	2,6	2,3	2	35	25
10	240	150	90	2	3,6	2,1	35	30
11	250	330	80	2,5	2,8	2,2	30	20
12	350	250	70	1,5	2,6	2,4	25	35
13	340	200	60	2,5	2,4	2,6	40	25
14	250	140	50	2	2,5	2,8	35	40
15	300	280	70	1	2,2	2,7	25	30
16	400	300	80	1,5	1,8	1,6	30	20
17	350	230	90	2	2	2,2	35	25
18	380	250	60	2,5	3,5	2,7	40	35
19	200	300	80	2	4	1,5	25	30
20	260	180	50	2,5	3,8	2,4	30	40
21	350	360	70	2	3,6	1	35	45
22	400	320	80	2,5	3,2	1,5	45	35
23	350	400	90	2	3	2,1	30	30
24	400	310	60	1,2	2,7	2,5	20	25
25	300	380	70	1,4	2,3	2	35	40
26	260	350	50	1,6	1,8	2,5	40	20

Данные к задаче № 6

Вариант	$k_1$	$k_2$	$\Delta T$ , град	$l_2$ , м	$l_1$ , м	$a$ , м	$F$ , см <sup>2</sup>
1	2	3	30	1,4	1,2	1	6
2	2	3	10	2,4	2,2	0,8	4
3	3	2	15	1,8	1,5	0,7	4
4	2	3	10	2,4	1	0,6	8
5	3	4	14	1,6	1,2	1,1	5
6	2	3	14	2,5	1,6	0,6	7
7	3	2	20	2,2	2	0,9	6
8	2	3	12	2	1,2	0,9	5
9	3	4	12	2,5	1,8	0,7	8
10	2	3	16	2	1	0,6	7
11	3	2	18	2,5	1,2	1,1	5
12	2	3	10	2	2,2	1	6
13	3	4	12	2,2	1,8	0,5	4
14	2	3	15	2	1,6	1	8
15	3	2	15	2	1,4	0,8	8
16	2	4	16	1,8	1,5	0,9	5
17	2	3	18	1,6	1,8	1,2	4
18	3	4	20	2,4	2	1	7
19	2	3	10	2,2	1,4	0,7	6
20	3	3	20	2	1,2	0,5	8
21	3	2	12	2,5	1	0,9	4
22	2	2	15	2,6	2	0,8	6
23	3	3	18	2,8	1,8	1	5
24	2	4	20	1,8	1,5	0,8	8
25	3	4	12	2	1,2	0,6	9
26	2	3	10	1,6	1	0,7	7

Данные к задаче № 7

Вариант	$\Delta T$ , град	$F$ , см <sup>2</sup>	$\delta$ , см	$a$ , м	$l$ , м	$k$
1	35	34	0,14	1	2	1,4
2	-60	36	0,08	0,5	1	2
3	70	30	0,15	1,25	2	0,5
4	40	30	0,1	1,5	2,5	0,75
5	60	22	0,12	2	1,8	1
6	-80	27	0,2	0,6	1,5	1,5
7	30	40	0,05	0,75	2	1,25
8	20	28	0,1	1	2	2
9	30	35	0,05	0,5	3	1,2
10	100	25	0,05	1,5	1	1
11	30	20	0,08	0,5	3	1,5
12	40	26	0,06	2	2,5	2
13	50	24	0,09	0,7	2	1,2
14	-70	27	0,07	0,75	1,5	0,75
15	-60	24	0,1	0,5	1,9	1,25
16	50	28	0,15	1,25	2	1,5
17	40	22	0,1	1,5	1,7	1,25
18	30	26	0,08	1	1,9	2
19	-80	32	0,06	0,5	2,3	1,5
20	-40	29	0,15	0,75	2,5	1,75
21	30	26	0,2	0,6	2,8	1,6
22	45	25	0,25	0,7	3	1,5
23	50	29	0,3	1,25	2	1,55
24	75	23	0,07	1,5	2,5	2
25	80	28	0,1	1	2,6	1,5
26	100	22	0,15	0,5	3	1,75

Данные к задаче № 8

Вариант	$d$ , мм	$a$ , м	$\gamma$	$\beta$ ,	$[\theta]$ , рад/м
1	185	1,3	1,7	0,65	0,035
2	200	0,8	1,4	0,92	0,030
3	160	0,7	1,1	0,70	0,015
4	170	0,5	1,2	0,80	0,020
5	190	0,9	1,3	0,72	0,025
6	240	0,6	1,7	0,74	0,045
7	220	1,0	1,5	0,82	0,035
8	150	1,0	1,9	0,80	0,010
9	230	0,8	1,6	0,84	0,040
10	220	0,7	1,8	0,85	0,050
11	210	0,9	1,9	0,75	0,035
12	200	0,7	2,0	0,70	0,030
13	190	0,6	0,9	0,80	0,040
14	180	1,1	0,8	0,75	0,025
15	170	1,0	0,7	0,85	0,020
16	180	0,9	0,6	0,95	0,015
17	220	0,8	0,5	0,78	0,010
18	200	0,7	1,8	0,70	0,030
19	170	0,6	1,1	0,72	0,040
20	180	1,1	1,2	0,75	0,035
21	190	1,0	1,3	0,80	0,020
22	160	0,5	1,0	0,90	0,040
23	240	0,6	1,5	0,85	0,020
24	210	0,8	2,0	0,80	0,030
25	200	0,9	1,8	0,75	0,040
26	170	1,2	1,0	0,70	0,045

## Данные к задаче № 11

Вариант	Форма сечения		[ $\sigma$ ], МПа	$\alpha$	$l$ , м	$c$	$k$
	Двутавр	Прямоугольник $b = \alpha h$ , см					
1	-	16	120	0,65	2	0,5	3
2	-	16	140	0,50	3	0,3	2
3	18	-	180	0,40	3	0,7	2
4	-	12	170	0,70	2	0,2	2
5	20	-	120	0,80	3	0,5	2
6	-	10	140	0,75	4	0,3	3
7	30	-	160	0,50	3	0,2	2
8	22	-	160	0,60	4	0,4	3
9	24	-	170	0,60	3	0,3	3
10	-	12	150	0,70	3	0,4	2
11	36	-	140	0,85	2	0,2	3
12	-	16	120	0,70	2	0,5	3
13	-	18	160	0,70	4	0,5	2
14	-	10	130	0,70	2	0,2	2
15	24	-	120	0,60	3	0,6	3
16	-	16	170	0,55	4	0,3	3
17	20	-	140	0,50	3	0,2	2
18	-	18	130	0,45	2	0,4	2
19	30	-	150	0,70	2	0,5	3
20	-	12	160	0,80	4	0,3	2
21	24	-	120	0,65	3	0,4	3
22	-	18	170	0,75	2	0,2	3
23	20	-	160	0,80	3	0,5	2
24	-	12	140	0,50	4	0,3	2
25	22	-	150	0,60	3	0,4	3
26	22	-	170	0,65	3	0,4	3

## Данные к задаче № 13

Вариант	$N$ , кВт	$n$ , об/мин	Сталь марки	Критерий прочности	$\gamma$	$a$ , м	$D_1$ , м	$D_2$ , м
1	18	300	40х	Сен-Венана	1,5	1,0	0,40	0,40
2	10	100	20	Сен-Венана	0,5	1,1	0,20	0,35
3	13	350	30	Мизеса	1,5	1,2	0,4	0,6
4	15	250	40	Сен-Венана	0,7	1,3	0,25	0,20
5	14	150	45	Мизеса	0,8	0,8	0,35	0,25
6	16	200	35х	Сен-Венана	1,2	0,9	0,25	0,35
7	12	250	40	Мизеса	1,4	1,4	0,30	0,30
8	20	200	30	Мизеса	0,6	0,7	0,30	0,40
9	20	400	30х	Мизеса	1,6	1,1	0,35	0,45
10	10	200	20	Сен-Венана	0,6	1,2	0,40	0,20
11	17	100	30	Мизеса	0,8	1,6	0,20	0,30
12	19	300	45	Сен-Венана	1,4	1,0	0,30	0,30
13	13	180	50	Мизеса	1,0	1,2	0,35	0,35
14	18	250	45	Сен-Венана	1,5	1,4	0,30	0,30
15	14	200	30	Мизеса	1,4	1,6	0,40	0,40
16	20	300	20х	Сен-Венана	1,2	1,3	0,45	0,45
17	14	100	50х	Мизеса	0,5	1,5	0,20	0,20
18	16	150	45	Сен-Венана	0,6	1,2	0,25	0,25
19	10	300	35х	Мизеса	1,4	1,0	0,30	0,30
20	20	200	40	Сен-Венана	1,2	1,6	0,35	0,35
21	25	150	30	Мизеса	1,1	1,4	0,40	0,40
22	15	300	35	Сен-Венана	0,7	1,5	0,45	0,45
23	22	200	30	Мизеса	0,8	1,3	0,35	0,35
24	24	400	20	Сен-Венана	0,6	1,2	0,25	0,25
25	17	300	40	Мизеса	0,9	1,1	0,20	0,20
26	15	160	35	Сен-Венана	0,5	1,7	0,25	0,25

Данные к задаче № 14

Вариант	$r_1$ , см	$r_2$ , см	$p_1$ , МПа	$p_2$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	Критерий прочности
1	7	13	0	36	230	Сен-Венана
2	6	14	25	0	200	Мизеса
3	7	12	25	0	180	Мизеса
4	8	15	0	30	200	Сен-Венана
5	6	26	64	0	210	Мизеса
6	9	24	0	40	220	Сен-Венана
7	8	20	55	0	270	Мизеса
8	7	12	0	50	250	Сен-Венана
9	6	14	0	45	280	Мизеса
10	8	16	0	35	240	Сен-Венана
11	10	18	45	0	260	Мизеса
12	8	20	50	0	160	Мизеса
13	9	16	0	60	180	Сен-Венана
14	6	14	25	0	200	Мизеса
15	7	21	30	0	210	Сен-Венана
16	8	18	0	30	220	Сен-Венана
17	6	15	0	20	240	Мизеса
18	10	26	0	35	270	Мизеса
19	9	24	40	0	250	Мизеса
20	8	20	25	0	200	Сен-Венана
21	7	16	35	0	180	Мизеса
22	6	12	30	0	210	Сен-Венана
23	8	18	0	20	250	Мизеса
24	9	30	0	25	220	Сен-Венана
25	10	16	0	45	240	Сен-Венана
26	9	18	0	42	260	Сен-Венана

## Данные к задаче № 15

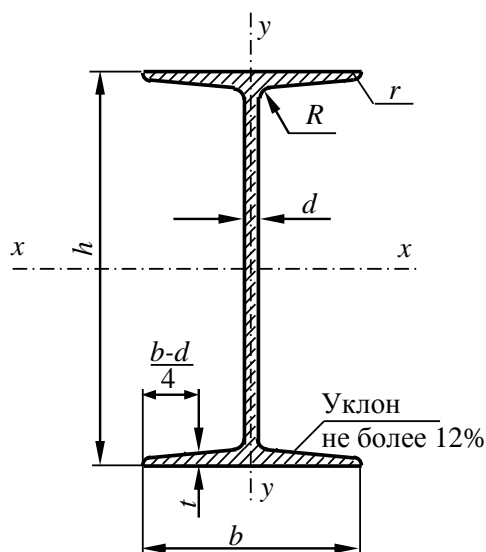
Вариант	$p_0$ , МПа	$\rho$ , $10^3$ кг/м <sup>3</sup>	$E$ , ГПа	$[\sigma]$ , МПа	$a$ , м	$b$ , м	$2R$ , м	$z_0$ , м	Критерий прочности
1	0,4	0,88	195	75	2	6	4	3	Мизеса
2	0,2	0,80	190	100	2	9	3	2	Сен-Венана
3	0,7	0,95	230	80	2	5	2	4	Мизеса
4	0,5	1,10	200	70	3	6	3	4	Сен-Венана
5	0,25	0,80	185	100	2	4	2	2	Сен-Венана
6	0,1	0,85	195	120	3	2	1	2	Сен-Венана
7	0,3	0,90	220	90	1	3	3	4	Мизеса
8	0,6	1,20	210	80	2	5	4	3	Мизеса
9	0,35	1,00	190	60	4	6	4	2	Сен-Венана
10	0,8	1,20	210	100	3	4	2	4	Мизеса
11	0,15	0,90	200	70	3	7	3	4	Сен-Венана
12	0,45	1,15	195	90	1	5	3	4	Мизеса
13	0,65	0,95	215	110	2	6	4	3	Сен-Венана
14	0,55	0,80	180	60	3	4	4	3	Сен-Венана
15	0,75	1,20	210	80	2	4	3	4	Сен-Венана
16	0,85	0,95	200	100	4	6	2	2	Мизеса
17	0,12	0,85	190	70	2	7	5	3	Мизеса
18	0,45	1,00	220	60	3	8	2	3	Мизеса
19	0,95	0,90	185	90	4	6	4	2	Сен-Венана
20	0,8	0,80	215	110	2	4	5	4	Сен-Венана
21	0,36	1,10	210	100	1	6	2	5	Мизеса
22	0,77	0,95	195	80	4	5	3	2	Мизеса
23	0,56	0,85	220	60	2	7	2	3	Сен-Венана
24	0,14	1,20	215	90	3	8	4	3	Сен-Венана
25	0,72	1,00	200	70	4	5	2	4	Мизеса
26	0,81	1,15	205	60	1	4	2	3	Мизеса



## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### ПРОКАТНЫЕ ПРОФИЛИ

#### Сталь горячекатаная. Балки двутавровые (ГОСТ 8239–89)

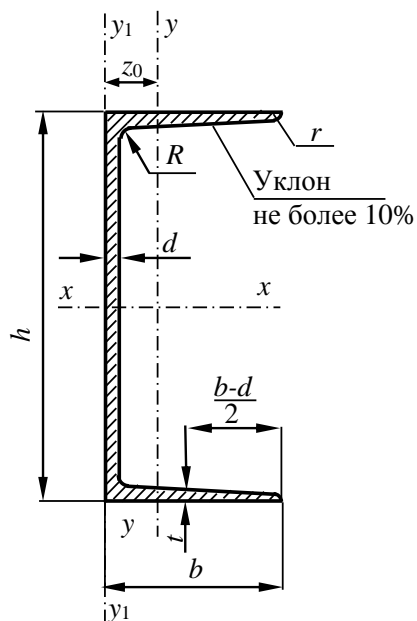


**Обозначения:**

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

Номер балки	$h$ , мм	$b$ , мм	$d$ , мм	$t$ , мм	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1 м, кг	$J_x$ , см <sup>4</sup>	$W_x$ , см <sup>3</sup>	$i_x$ , см	$S_x$ , см <sup>3</sup>	$J_y$ , см <sup>4</sup>	$W_y$ , см <sup>3</sup>	$i_y$ , см
10	100	55	4,5	7,2	12	9,46	198	39,7	4,06	23	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	11,5	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	13,7	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	160	81	5	7,8	20,2	15,9	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,7
18	180	90	5,1	8,1	23,4	18,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
18а	180	100	5,1	8,3	25,4	19,9	1430	159	7,51	89,8	114	22,8	2,12
20	200	100	5,2	8,4	26,8	21	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
20а	200	110	5,2	8,6	28,9	22,7	2030	203	8,37	114	155	28,2	2,32
22	220	110	5,4	8,7	30,6	24	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
22а	220	120	5,4	8,9	32,8	25,8	2790	254	9,22	143	206	34,3	2,5
24	240	115	5,6	9,5	34,8	27,3	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
24а	240	125	5,6	9,8	37,5	29,4	3800	317	10,1	178	260	41,6	2,63
27	270	125	6	9,8	40,2	31,5	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
27а	270	135	6	10	43,2	33,9	5500	407	11,3	229	337	50	2,8
30	300	135	6,5	10	46,5	36,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
30а	300	145	6,5	11	49,9	39,2	7780	518	12,5	292	436	60,1	2,95
33	330	140	7	11	53,8	42,2	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	360	145	7,5	12	61,9	48,6	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,98
40	400	155	8,3	13	72,6	57	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03
45	450	160	9	14	84,7	66,5	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	500	170	10	15	100	78,5	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	550	180	11	17	118	92,6	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	600	190	12	18	138	108	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54
65	650	200	12	19	153	120	101400	3120	25,8	1800	2170	217	3,77
70	700	210	13	21	176	138	134600	3840	27,7	2230	2730	260	3,94
70а	700	210	15	24	202	158	152700	4360	27,5	2550	3240	309	4,01
70б	700	210	18	28	234	184	175370	5010	27,4	2940	3910	373	4,09

## Сталь горячекатаная. Швеллеры (ГОСТ 8240–97)

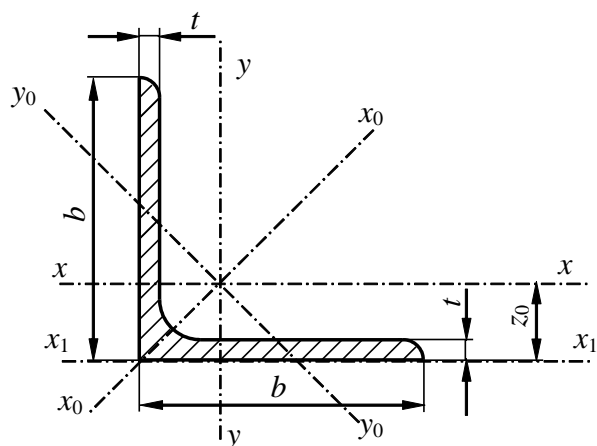


### Обозначения:

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

Номер балки	$h$ , мм	$b$ , мм	$d$ , мм	$t$ , мм	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1 м, кг	$J_x$ , см <sup>4</sup>	$W_x$ , см <sup>3</sup>	$i_x$ , см	$S_x$ , см <sup>3</sup>	$J_y$ , см <sup>4</sup>	$W_y$ , см <sup>3</sup>	$i_y$ , см	$z_0$ , см
5	50	32	4,4	7	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	5,9	48,6	15	2,54	9	8,7	3,68	1,08	1,24
8	80	40	4,5	7,4	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	10,9	8,59	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	13,3	10,4	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	15,6	12,3	491	70,2	5,6	40,8	45,4	11	1,7	1,67
14a	140	62	4,9	8,7	17	13,3	545	77,8	5,66	45,1	57,5	13,3	1,84	1,87
16	160	64	5	8,4	18,1	14,2	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,8
16a	160	68	5	9	19,5	15,3	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2
18	180	70	5,1	9,7	20,7	16,3	1090	121	7,24	69,8	86	17	2,04	1,94
18a	180	74	5,1	9,3	22,2	17,4	1190	132	7,32	76,1	105	20	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9	23,4	18,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,2	2,07
20a	200	80	5,2	9,7	25,2	19,8	1670	167	8,15	95,9	139	24,2	2,35	2,28
22	220	82	5,4	9,5	26,7	21	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
22a	220	87	5,4	10	28,8	22,6	2330	212	8,99	121	187	30	2,55	2,46
24	240	90	5,6	10	30,6	24	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,6	2,42
24a	240	95	5,6	11	32,9	25,8	3180	265	9,84	151	254	37,2	2,79	2,67
27	270	95	6	11	35,2	27,7	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11	40,5	31,8	5810	387	12	224	327	43,6	2,84	2,52
33	330	105	7	12	46,5	36,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	360	110	7,5	13	53,4	41,9	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,1	2,68
40	400	115	8	14	61,5	48,3	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

## Сталь прокатная угловая равнополочная (ГОСТ 8509–93)



### Обозначения:

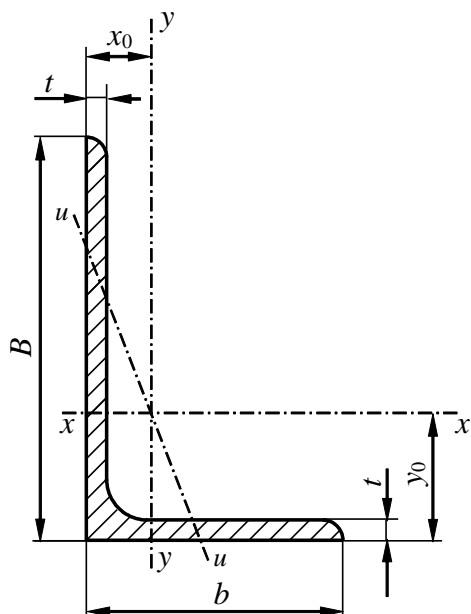
$b$  – ширина полки;  
 $t$  – толщина полки;  
 $J$  – момент инерции;  
 $i$  – радиус инерции;  
 $z_0$  – расстояние от центра тяжести до наружной грани полки

Номер уголка	$b$ , мм	$t$ , мм	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1 м уголка, кг	$J_x$ , см <sup>4</sup>	$i_x$ , см	$J_{x0max}$ , см <sup>4</sup>	$i_{x0max}$ , см	$J_{y0min}$ , см <sup>4</sup>	$i_{y0min}$ , см	$z_0$ , см
2		3	1,13	0,89	0,4	0,59	0,63	0,75	0,17	0,39	0,6
		4	1,46	1,15	0,5	0,58	0,78	0,73	0,22	0,38	0,64
2,5		3	1,43	1,12	0,81	0,75	1,29	0,95	0,34	0,49	0,73
		4	1,86	1,46	1,03	0,74	1,62	0,93	0,44	0,48	0,76
2,8		3	1,62	1,27	1,16	0,85	1,84	1,07	0,48	0,55	0,8
3		3	1,74	1,36	1,45	0,91	2,3	1,15	0,6	0,59	0,85
		4	2,27	1,78	1,84	0,8	2,92	1,13	0,77	0,58	0,89
3,2		3	1,86	1,46	1,77	0,97	2,8	1,23	0,74	0,63	0,89
		4	2,43	1,91	2,26	0,96	3,58	1,21	0,94	0,62	0,94
3,5		3	2,04	1,6	2,35	1,07	3,72	1,35	0,97	0,69	0,97
		4	2,17	2,1	3,01	1,06	4,76	1,33	1,25	0,68	1,01
		5	3,28	2,58	3,61	1,05	5,71	1,32	1,52	0,68	1,05
4		3	2,35	1,85	3,55	1,23	5,63	1,55	1,47	0,79	1,09
		4	3,08	2,42	4,58	1,22	7,26	1,53	1,9	0,78	1,13
		5	3,79	2,98	5,53	1,21	8,75	1,52	2,3	0,78	1,17
4,5		3	2,65	2,08	5,13	1,39	8,13	1,75	2,12	0,89	1,21
		4	3,48	2,73	6,63	1,38	10,52	1,74	2,74	0,89	1,26
		5	4,29	3,37	8,03	1,37	12,74	1,72	3,33	0,88	1,3
5		3	2,96	2,32	7,11	1,55	11,27	1,95	2,95	1	1,33
		4	3,89	3,05	9,21	1,54	14,63	1,94	3,8	0,99	1,38
		5	4,8	3,77	11,2	1,53	17,77	1,92	4,63	0,98	1,42
		6	5,69	4,47	13,07	1,52	20,72	1,91	5,43	0,98	1,46
5,6		4	4,38	3,44	13,1	1,73	20,79	2,18	5,41	1,11	1,52
		5	5,41	4,25	15,97	1,72	25,36	2,16	6,59	1,1	1,57
6		4	4,72	3,71	16,21	1,85	25,69	2,33	6,72	1,19	1,62
		5	5,83	4,58	19,79	1,84	31,4	2,32	8,18	1,18	1,66
		6	6,92	5,43	23,21	1,83	36,81	2,31	9,6	1,18	1,7
		8	9,04	7,1	29,55	1,81	46,77	2,27	12,34	1,17	1,78
		10	11,08	8,7	35,32	1,79	55,64	2,24	15	1,16	1,85
6,3		4	4,96	3,9	18,86	1,95	29,9	2,45	7,81	1,25	1,69
		5	6,13	4,81	23,1	1,94	36,8	2,44	9,52	1,25	1,74
		6	7,28	5,72	27,06	1,93	42,91	2,43	11,18	1,24	1,78
7		4,5	6,2	4,87	29,04	2,16	46,03	2,72	12,04	1,39	1,88
		5	6,86	5,38	31,94	2,16	50,67	2,72	13,22	1,39	1,9
		6	8,15	6,39	37,58	2,15	59,64	2,71	15,52	1,38	1,94
		7	9,42	7,39	42,98	2,14	68,19	2,69	17,77	1,37	1,99
		8	10,67	8,37	48,16	2,12	76,35	2,68	19,97	1,37	2,02

Номер уголка	b, мм	t, мм	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1 м уголка, кг	J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	i <sub>x</sub> , см	J <sub>x0max</sub> , см <sup>4</sup>	i <sub>x0max</sub> , см	J <sub>y0min</sub> , см <sup>4</sup>	i <sub>y0min</sub> , см	z <sub>0</sub> , см
7,5	75	5	7,39	5,8	39,53	2,31	62,65	2,91	16,41	1,49	2,02
		6	8,78	6,89	46,57	2,3	73,87	2,9	19,28	1,48	2,06
		7	10,15	7,96	53,34	2,29	84,61	2,89	22,07	1,47	2,1
		8	11,5	9,02	59,84	2,28	94,89	2,87	24,8	1,47	2,15
		9	12,83	10,07	66,1	2,27	104,72	2,86	27,48	1,46	2,18
8	80	5,5	8,63	6,78	52,68	2,47	83,56	3,11	21,8	1,59	2,17
		6	9,38	7,36	56,97	2,47	90,4	3,11	23,54	1,58	2,19
		7	10,85	8,51	65,31	2,45	103,6	3,09	26,97	1,58	2,23
		8	12,3	9,65	73,36	2,44	116,39	3,08	30,32	1,57	2,27
9	90	6	10,61	8,33	82,1	2,78	130	3,5	33,87	1,79	2,43
		7	12,28	9,64	94,3	2,77	149,67	3,49	38,94	1,78	2,47
		8	13,93	10,93	106,1	2,76	168,42	3,48	43,8	1,77	2,51
		9	15,6	12,2	118	2,75	186	3,46	48,6	1,77	2,55
10	100	6,5	12,82	10,06	122,1	3,09	193,46	3,89	50,73	1,99	2,68
		7	13,75	10,79	130,6	3,08	207,01	3,88	54,16	1,98	2,71
		8	15,6	12,25	147,2	3,07	233,46	3,87	60,92	1,98	2,75
		10	19,24	15,1	179	3,05	283,83	3,84	74,08	1,96	2,83
		12	22,8	17,9	208,9	3,03	330,95	3,81	86,84	1,95	2,91
		14	26,28	20,63	237,2	3	374,98	3,78	99,32	1,94	2,99
11	110	16	29,68	23,3	263,8	2,98	416,04	3,74	111,61	1,94	3,06
		7	15,15	11,89	175,6	3,4	278,54	4,29	72,68	2,19	2,96
12	120	8	17,2	13,5	198,2	3,39	314,51	4,28	81,83	2,18	3
		8	18,8	14,76	259,8	3,72	412,45	4,68	107,04	2,39	3,25
12,5	125	9	23,24	18,24	317,2	3,69	503,79	4,66	130,54	2,37	3,33
		10	27,6	21,67	371,8	3,67	590,28	4,62	153,33	2,36	3,41
		15	33,99	26,68	448,9	3,63	711,32	4,57	186,48	2,34	3,53
		8	19,69	15,46	294,4	3,87	466,76	4,87	121,98	2,49	3,36
14	140	9	22	17,3	327,5	3,86	520	4,86	135,88	2,48	3,4
		10	24,33	19,1	359,8	3,85	571,04	4,84	148,59	2,47	3,45
		12	28,89	22,68	422,2	3,82	670,02	4,82	174,43	2,46	3,53
		14	33,37	26,2	481,8	3,8	763,9	4,78	199,62	2,45	3,61
		16	37,77	29,65	538,6	3,78	852,84	4,75	224,29	2,44	3,68
15	150	9	24,72	19,41	465,7	4,34	739,42	5,47	192,03	2,79	3,78
		10	27,33	21,45	512,3	4,33	813,62	5,46	210,96	2,78	3,82
		12	32,49	25,5	602,5	4,31	956,98	5,43	248,01	2,76	3,9
15	150	10	29,33	23,02	634,8	4,65	1008,56	5,86	260,97	2,98	4,07
		12	34,89	27,39	747,5	4,63	1187,86	5,83	307,09	2,97	4,15
		15	43,08	33,82	908,4	4,59	1442,6	5,79	374,17	2,95	4,27
		18	51,09	40,11	1060	4,56	1680,92	5,74	438,24	2,93	4,38

Номер уголка	$b$ , мм	$t$ , мм	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1 м уголка, кг	$J_x$ , см <sup>4</sup>	$i_x$ , см	$J_{x0max}$ , см <sup>4</sup>	$i_{x0max}$ , см	$J_{y0min}$ , см <sup>4</sup>	$i_{y0min}$ , см	$z_0$ , см
16	160	10	31,43	24,67	774,2	4,96	1229,1	6,25	319,38	3,19	4,3
		11	34,42	27,02	844,2	4,95	1340,06	6,24	347,77	3,18	4,35
		12	37,39	28,35	912,9	4,94	1450	6,23	357,78	3,17	4,39
		14	43,57	33,97	1046	4,92	1662,13	6,2	430,81	3,16	4,47
		16	49,07	38,52	1175	4,89	1865,73	6,17	484,64	3,14	4,55
		18	54,79	43,01	1290	4,87	2061,03	6,13	537,46	3,13	4,63
		20	60,4	47,44	1419	4,85	2248,26	6,1	589,43	3,12	4,7
18	180	11	38,8	30,47	1216	5,6	1933,1	7,06	499,78	3,59	4,85
		12	42,19	33,12	1317	5,59	2092,78	7,04	540,45	3,58	4,89
20	200	12	47,1	36,97	1823	6,22	2896,16	7,84	749,4	3,99	5,37
		13	50,85	39,92	1961	6,21	3116,18	7,83	805,35	3,98	5,42
		14	54,6	42,8	2097	6,2	3333	7,81	861	3,97	5,46
		16	61,98	48,65	2363	6,17	3755,39	7,78	969,74	3,96	5,54
		20	76,54	60,08	2871	6,12	4560,42	7,72	1181,92	3,93	5,7
		25	94,29	74,02	3466	6,06	5494,04	7,63	1438,38	3,91	5,89
		30	111,54	87,56	4020	6	6351,05	7,55	1698,16	3,89	6,07
22	220	14	60,38	47,4	2814	6,83	4470,15	8,6	1158,56	4,38	5,91
		16	68,58	53,83	3175	6,8	5045,37	8,58	1305,52	4,36	6,02
25	250	16	78,4	61,55	4717	7,76	7492,1	9,78	1942,09	4,98	6,75
		18	87,72	68,86	5247	7,73	8336,69	9,75	2157,78	4,96	6,83
		20	96,96	76,11	5765	7,71	9159,73	9,72	2370,01	4,94	6,91
		22	106,12	83,31	6270	7,09	9961,6	9,69	2579,04	4,93	7
		25	119,71	93,97	7006	7,65	11125,5	9,64	2887,26	4,91	7,11
		28	133,12	104,5	7717	7,61	12243,8	9,59	3189,89	4,9	7,23
		30	141,96	111,44	8177	7,59	12964,7	9,56	3388,98	4,89	7,31

## Сталь прокатная угловая не равнополочная (ГОСТ 8510–86)



### Обозначения:

$B$  – ширина большей полки;  
 $b$  – ширина меньшей полки;  
 $t$  – толщина полки;  
 $J$  – момент инерции;  
 $i$  – радиус инерции;  
 $x_0, y_0$  – расстояние от центра до наружных граней полок

Номер уголка	$B$ , мм	$b$ , мм	$t$ , мм	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1 м уголка, кг	$J_x$ , см <sup>4</sup>	$i_x$ , см	$J_y$ , см <sup>4</sup>	$i_y$ , см	$J_u \text{ min}$ , см <sup>4</sup>	$i_u \text{ min}$ , см	$x_0$ , см	$y_0$ , см	$tg\alpha$
2,5/1,6	25	16	3	1,16	0,91	0,7	0,78	0,22	0,44	0,13	0,34	0,42	0,86	0,392
3/2*	30	20	3	1,43	1,12	1,27	0,94	0,45	0,56	0,26	0,43	0,51	1	0,427
			4	1,86	1,46	1,61	0,93	0,56	0,55	0,34	0,43	0,54	1,04	0,421
3,2/2	32	20	3	1,49	1,17	1,52	1,01	0,46	0,55	0,28	0,43	0,49	1,08	0,382
			4	1,94	1,52	1,93	1	0,57	0,54	0,35	0,43	0,53	1,12	0,374
4/2,5	40	25	3	1,89	1,48	3,06	1,27	0,93	0,7	0,56	0,54	0,59	1,32	0,385
			4	2,47	1,94	3,93	1,26	1,18	0,69	0,71	0,54	0,63	1,37	0,281
			5	3,03	2,37	4,73	1,25	1,41	0,68	0,86	0,53	0,66	1,41	0,374
4/3*	40	30	4	2,67	2,26	4,18	1,25	2,01	0,87	1,09	0,64	0,78	1,28	0,544
			5	3,28	2,46	5,04	1,24	2,41	0,86	1,33	0,64	0,82	1,32	0,539
4,5/2,8	45	28	3	2,14	1,68	4,41	1,48	1,32	0,79	0,79	0,61	0,64	1,47	0,382
			4	2,8	2,2	5,68	1,42	1,69	0,78	1,02	0,6	0,68	1,51	0,379
5/3,2	50	32	3	2,42	1,9	6,18	1,6	1,99	0,91	1,18	0,7	0,72	1,6	0,403
			4	3,17	2,4	7,98	1,59	2,56	0,9	1,52	0,69	0,76	1,65	0,401
5,6/3,6	56	36	4	3,58	2,81	11,37	1,78	3,7	1,02	2,19	0,78	0,84	1,82	0,406
			5	4,41	3,46	13,82	1,77	4,48	1,01	2,6	0,78	0,88	1,87	0,404
6,3/4,0	63	40	4	4,04	3,17	16,33	2,01	5,16	1,13	3,07	0,87	0,91	2,03	0,397
			5	4,98	3,91	19,91	2	6,26	1,12	3,73	0,86	0,95	2,08	0,396
			6	5,9	4,63	23,31	1,99	7,29	1,11	4,36	0,86	0,99	2,12	0,393
			8	7,68	6,06	29,6	1,96	9,15	1,09	5,585	0,85	1,07	2,2	0,386
6,5/5*	65	50	5	5,56	4,36	23,41	2,05	12,08	1,47	6,41	1,07	1,26	2	0,576
			6	6,6	5,18	27,46	2,04	14,12	1,46	7,52	1,07	1,3	2,04	0,575
			7	7,62	5,98	31,32	2,03	16,05	1,45	8,6	1,06	1,34	2,08	0,571
			8	8,62	6,77	35	2,02	18,88	1,44	9,65	1,06	1,37	2,12	0,57
7/4,5	70	45	5	5,59	4,39	27,76	2,23	9,05	1,27	5,34	0,98	1,05	2,28	0,406
7,5/5	75	50	5	6,11	4,79	34,81	2,39	12,47	1,43	7,24	1,09	1,17	2,39	0,436
			6	7,25	5,69	40,92	2,38	14,6	1,42	8,48	1,08	1,21	2,44	0,435
			7	8,37	6,57	46,77	2,36	16,61	1,41	9,69	1,08	1,25	2,48	0,435
			8	9,47	7,43	52,38	2,35	18,52	1,4	10,87	1,07	1,29	2,52	0,43

Номер уголка	B, мм	b, мм	t, мм	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1 м уголка, кг	I <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	i <sub>x</sub> , см	I <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	i <sub>y</sub> , см	I <sub>u min</sub> , см <sup>4</sup>	i <sub>u min</sub> , см	x <sub>o</sub> , см	y <sub>o</sub> , см	tgα
8/5	80	50	5	6,36	4,49	41,64	2,56	12,68	1,41	7,57	1	1,13	2,6	0,387
			6	7,55	5,92	48,98	2,55	14,85	1,4	8,88	1,08	1,17	2,65	0,386
8/6*	80	60	6	8,15	6,39	52,06	2,53	25,18	1,76	13,61	1,29	1,49	2,47	0,547
			7	9,42	7,39	59,61	2,52	28,74	1,75	15,58	1,29	1,53	2,52	0,546
			8	10,67	8,37	66,88	2,5	32,15	1,74	17,49	1,28	1,57	2,56	0,544
9/5,6	90	56	5,5	7,86	6,17	65,28	2,88	19,67	1,58	11,77	1,22	1,26	2,92	0,384
			6	8,54	6,7	70,58	2,88	21,22	1,58	12,7	1,22	1,28	2,95	0,384
			8	11,18	8,77	90,87	2,85	27,08	1,56	16,29	1,21	1,36	3,04	0,38
10/6,3	100	63	6	9,58	7,53	98,29	3,2	30,58	1,79	18,2	1,38	1,42	3,23	0,393
			7	11,09	8,7	112,86	3,19	34,99	1,78	20,83	1,37	1,46	3,28	0,392
			8	12,57	9,87	126,96	3,18	39,21	1,77	23,38	1,36	1,5	3,32	0,391
			10	15,47	12,14	153,95	3,15	47,18	1,75	28,34	1,35	1,58	3,4	0,387
11/7	110	70	6,5	11,45	8,98	142,42	3,53	45,61	2	26,94	1,53	1,58	3,55	0,402
			8	13,93	10,93	171,54	3,51	54,64	1,98	32,31	1,52	1,64	3,61	0,4
12,5/8	125	80	7	14,06	11,04	226,53	4,01	73,73	2,29	43,4	1,76	1,8	4,01	0,407
			8	15,98	12,58	225,98	4	80,95	2,28	48,82	1,75	1,84	4,05	0,406
			10	19,7	15,47	311,61	3,98	100,47	2,26	59,33	1,74	1,92	4,14	0,404
			12	23,36	18,34	364,79	3,95	116,84	2,24	69,47	1,72	2	4,22	0,4
14/9	140	90	8	18	14,13	363,68	4,49	119,79	2,58	70,27	1,58	2,03	4,49	0,411
			10	22,24	17,46	444,45	4,47	145,54	2,58	85,51	1,96	2,12	4,58	0,409
16/10	160	100	9	22,87	17,96	605,97	5,15	186,03	2,85	110,4	2,2	2,24	5,19	0,391
			10	25,28	19,85	666,59	5,13	204,09	2,84	121,16	2,19	2,28	5,23	0,39
			12	30,04	23,58	784,22	5,11	238,75	2,82	142,14	2,18	2,36	5,32	0,388
			14	34,72	27,26	897,19	5,08	271,6	2,8	162,49	2,16	2,43	5,4	0,385
18/11	180	110	10	28,33	22,2	952,28	5,8	276,37	3,12	165,44	2,42	2,44	5,88	0,376
			12	33,69	26,4	1122,6	5,77	324,09	3,1	194,28	2,4	2,52	5,97	0,374
20/12,5	200	125	11	34,87	27,37	1449	6,45	446,36	3,58	263,84	2,75	2,79	6,5	0,392
			12	37,89	29,74	1568,2	6,43	481,93	3,57	285,04	2,74	2,83	6,54	0,392
			14	43,87	34,43	1800,8	6,41	550,77	3,54	326,54	2,73	2,91	6,62	0,39
			16	49,77	39,07	2026,1	6,38	616,66	3,52	366,99	2,72	2,99	6,71	0,388

*Учебное издание*

**Мишенков** Герман Васильевич  
**Самсонов** Юрий Петрович  
**Смирнов** Анатолий Иванович  
**Стрельникова** Наталья Леонидовна  
**Цой** Валерьян Эдуардович  
**Щугорев** Владимир Николаевич

**ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Редактор издательства	Компьютерная верстка			
Темплан издания НИУ МЭИ 2019	Подписано в печать			
Формат 60X84/16	Физ. печ. л. 1,5	Изд. №	Заказ	Тираж

Оригинал – макет подготовлен в Издательстве МЭИ,  
111250, Москва, ул. Красноказарменная, д. 14

Отпечатано в типографии Издательства МЭИ, 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д. 13