



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра сопротивления материалов

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Методические указания
к выполнению расчетно-графической работы
для обучающихся по направлениям подготовки
08.03.01 Строительство и 20.03.01 Техносферная безопасность

Составитель А.Г. Паушкин

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2023

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2023

УДК 539.3
ББК 30.121
Т38

Рецензент — доктор технических наук, профессор *В.И. Андреев*,
профессор кафедры сопротивления материалов НИУ МГСУ

Т38 **Техническая механика** [Электронный ресурс] : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство и 20.03.01 Техносферная безопасность / сост. А.Г. Паушкин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра сопротивления материалов. — Электрон. дан. и прогр. (7,5 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2023. — URL: <http://lib.mgsu.ru>. — Загл. с титул. экрана.

Настоящие методические указания составлены в соответствии с рабочими программами дисциплины бакалавриата «Техническая механика». Целью изучения указанных дисциплин является освоение обучающимся компетенций, позволяющих грамотно решать простейшие задачи теоретической механики (статика), сопротивления материалов и строительной механики стержневых систем. В методические указания включены следующие темы: «Растяжение и сжатие прямого стержня», «Геометрические характеристики сечений», «Плоский прямой изгиб стержня», «Статически определимые стержневые системы», «Метод сил», «Устойчивость центрально сжатого стержня». Наименования тем соответствуют утвержденным рабочим программам по указанным направлениям.

Для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство и 20.03.01 Техносферная безопасность.

Учебное электронное издание

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2023

Редактор *Л.В. Светличная*
Корректор *Я.А. Травкина*
Верстка и дизайн титульного экрана *Д.Л. Разумного*

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2010, Adobe InDesign CS6, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 07.06.2023. Объем данных 7,5 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет».
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел.: (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ.....	5
1. РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ ПРЯМОГО СТЕРЖНЯ.....	6
Задача 1.1. Расчет стержня ступенчато-постоянного сечения	6
Задача 1.2. Подбор сечения стержня при растяжении	9
Контрольные вопросы	12
2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЙ.....	13
Задача 2.1. Сечение с одной осью симметрии	13
Задача 2.2.* Несимметричное составное сечение	15
Контрольные вопросы	18
3. ПЛОСКИЙ ПРЯМОЙ ИЗГИБ СТЕРЖНЯ.....	19
Задача 3.1. Построение эпюр внутренних усилий в балках	19
Контрольные вопросы	22
4. СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ СИСТЕМЫ.....	23
Задача 4.1. Расчет рамы	23
Задача 4.2. Расчет фермы	27
Контрольные вопросы	30
5. МЕТОД СИЛ.....	31
Задача 5.1. Расчет статически неопределимой рамы методом сил	31
Контрольные вопросы	33
6. УСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТОГО СТЕРЖНЯ	34
Задача 6.1. Определение критической силы	34
Контрольные вопросы	37
Приложение 1. Сортамент прокатной стали.....	38
Приложение 2. К расчету на устойчивость	46
Библиографический список.....	48

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Методические указания включают условия задач для самостоятельного их решения в рамках выполнения расчетно-графических работ (РГР) и подготовки к мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации.

Шифр задачи состоит из нескольких чисел. Как правило, первое число — это номер строки или колонки в таблице с числовыми данными нагрузок, геометрическими размерами, физическими константами материала и др. Затем идут числа с номерами схем. Для каждой задачи приведены пронумерованные задания, которые следует выполнить в рамках решения задачи. Методическое пособие построено достаточно гибко. Число и наименование обязательных к выполнению задач и заданий в рамках одной РГР может варьироваться преподавателем в зависимости от направления подготовки, степени подготовленности студента, его способности выполнить задания повышенной сложности и других факторов. В конце каждой темы приводятся теоретические вопросы для подготовки к мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации.

Задания и вопросы со звездочкой (*) для некоторых направлений обучения являются необязательными. Они выполняются по указанию преподавателя.

Результат самостоятельной работы представляется на листах белой бумаги формата А4 с одной стороны листа. Работа должна быть выполнена аккуратным почерком карандашом или ручкой. При желании, при оформлении работы учащийся может использовать текстовые и графические редакторы. На титульном листе указываются тема задания, номер РГР, фамилия, имя, отчество учащегося, шифры задач.

Защита работы происходит в виде устного опроса и решения задач по теме, например, в форме контрольной работы. Может применяться компьютерное тестирование. На титульном листе преподавателем ставятся оценочные отметки за ее защиту и выполнение.

1. РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ ПРЯМОГО СТЕРЖНЯ

Задача 1.1. РАСЧЕТ СТЕРЖНЯ СТУПЕНЧАТО-ПОСТОЯННОГО СЕЧЕНИЯ

Для статически определимого стержня ступенчато-постоянного сечения (рис. 1.1), при геометрических размерах, осевых нагрузках и модуле упругости, указанных в табл. 1.1, требуется:

- 1) определить опорную реакцию и построить эпюру продольных сил N ;
- 2) построить эпюру нормальных напряжений σ ;
- 3) найти величины удлинений участков стержня Δl_i и удлинение всего стержня Δl от нагрузок;
- 4) определить значения осевых перемещений u_i характерных сечений стержня от нагрузки;
- 5)* найти удлинение стержня Δl_t при его нагреве с 20 до 60 °С, приняв температурный коэффициент линейного расширения $\alpha_t = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Таблица 1.1

Числовые данные к задаче 1.1

№	a , м	A , см ²	P , кН	q_1 , кН/м	q_2 , кН/м	E , МПа
1	0,8	20	12	10	20	$2,1 \cdot 10^5$
2	0,6	22	14	11	24	$2,0 \cdot 10^5$
3	1,2	24	15	12	24	$1,8 \cdot 10^5$
4	1,4	26	18	14	23	$1,9 \cdot 10^5$
5	1,3	28	20	15	22	$1,1 \cdot 10^5$
6	1,1	30	22	16	21	$1,2 \cdot 10^5$
7	1,0	32	20	17	20	$1,4 \cdot 10^5$
8	1,2	34	19	18	19	$1,6 \cdot 10^5$
9	0,8	32	18	19	18	$2,0 \cdot 10^5$
10	1,2	30	17	20	17	$1,8 \cdot 10^5$
11	1,4	28	16	21	16	$0,9 \cdot 10^5$
12	2,0	27	18	22	15	$0,8 \cdot 10^5$
13	1,6	26	19	23	14	$2,0 \cdot 10^5$
14	1,4	25	20	24	12	$1,6 \cdot 10^5$
15	1,2	24	21	26	11	$1,8 \cdot 10^5$
16	1,6	23	22	24	10	$2,1 \cdot 10^5$

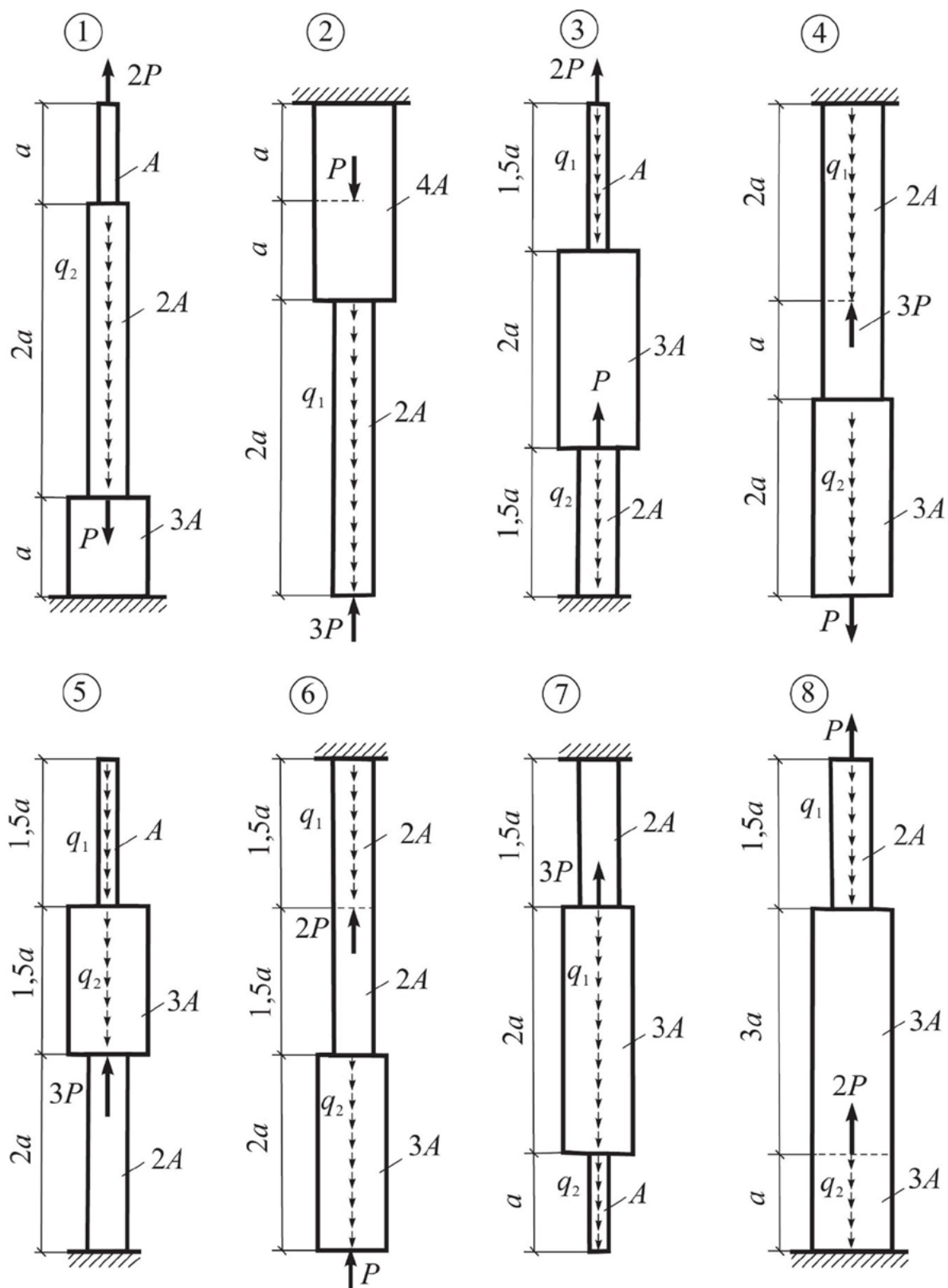


Рис. 1.1. Схемы к задаче 1.1

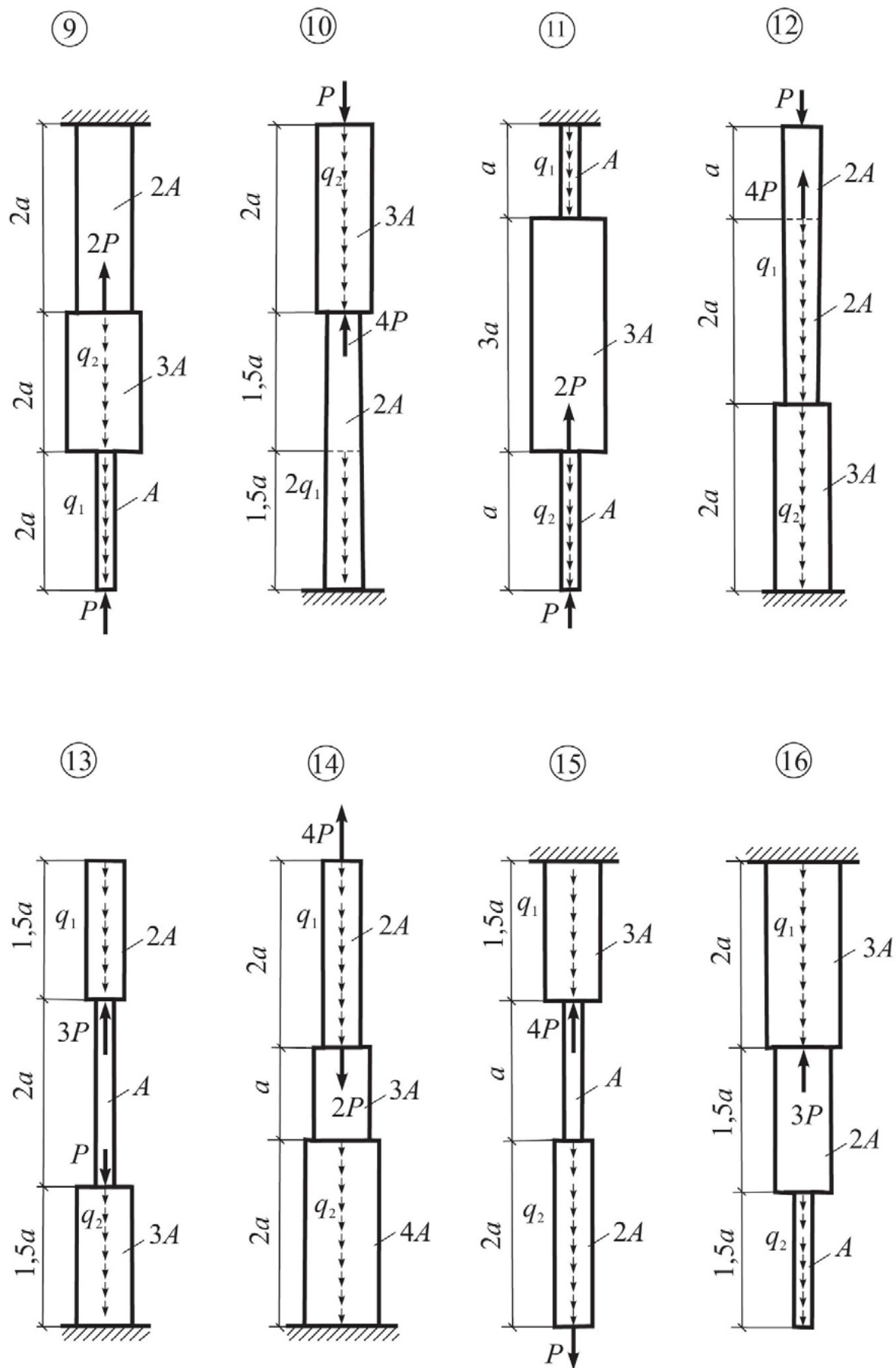


Рис. 1.1. Схемы к задаче 1.1 (продолжение)

ЗАДАЧА 1.2. ПОДБОР СЕЧЕНИЯ СТЕРЖНЯ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Расчетная схема строительной конструкции представляет собой статически определимую систему (рис. 1.2), состоящую из шарнирно закрепленного в т. С абсолютно жесткого стержня, который поддерживается невесомым стержнем AB с шарнирно закрепленными концами. Система нагружена силой P и собственным весом G жесткого стержня. Геометрические размеры и нормативные нагрузки представлены в табл. 1.2. Требуется произвести расчет по первой группе предельных состояний, полагая класс сооружения по ответственности КС-3 (коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 1,1$):

1) определить расчетное значение силы P_p , приняв коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,2$;

2) определить расчетное значение собственного веса жесткого стержня G_p , приняв нормативную нагрузку q (вес 1 п.м) в соответствии с табл. 1.2 и коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,1$;

3) определить значение расчетной продольной силы N в стержне AB ;

4) подобрать сечение стержня AB из двух стальных прокатных равнополочных уголков из стали марки С245, приняв коэффициент условий работы $\gamma_c = 0,9$, коэффициент надежности по материалу $\gamma_m = 1,025$;

5) проверить прочность найденного сечения;

6) определить удлинение Δl стержня AB , приняв модуль упругости стали $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

Проверить выполнение условия жесткости: $(\Delta l / l \leq 1/200)$.

Таблица 1.2

Числовые данные к задаче 1.2

№	a , м	b , м	h , м	P , кН	q , кН/м
1	1,0	1,6	1,5	400	10
2	1,1	1,5	1,6	410	20
3	1,2	1,4	1,7	420	14
4	1,3	1,3	1,8	430	16
5	1,4	1,2	1,9	440	10
6	1,5	1,1	1,5	450	12
7	1,6	1,2	1,7	460	14
8	1,7	1,3	1,3	470	16
9	1,8	1,4	1,9	480	18
10	1,7	1,5	2,0	500	20
11	1,6	1,6	1,9	510	18
12	1,5	1,1	2,0	520	16
13	1,4	1,2	2,2	430	14
14	1,3	1,3	2,0	440	12
15	1,2	1,4	2,1	450	10
16	1,1	1,5	2,0	480	12

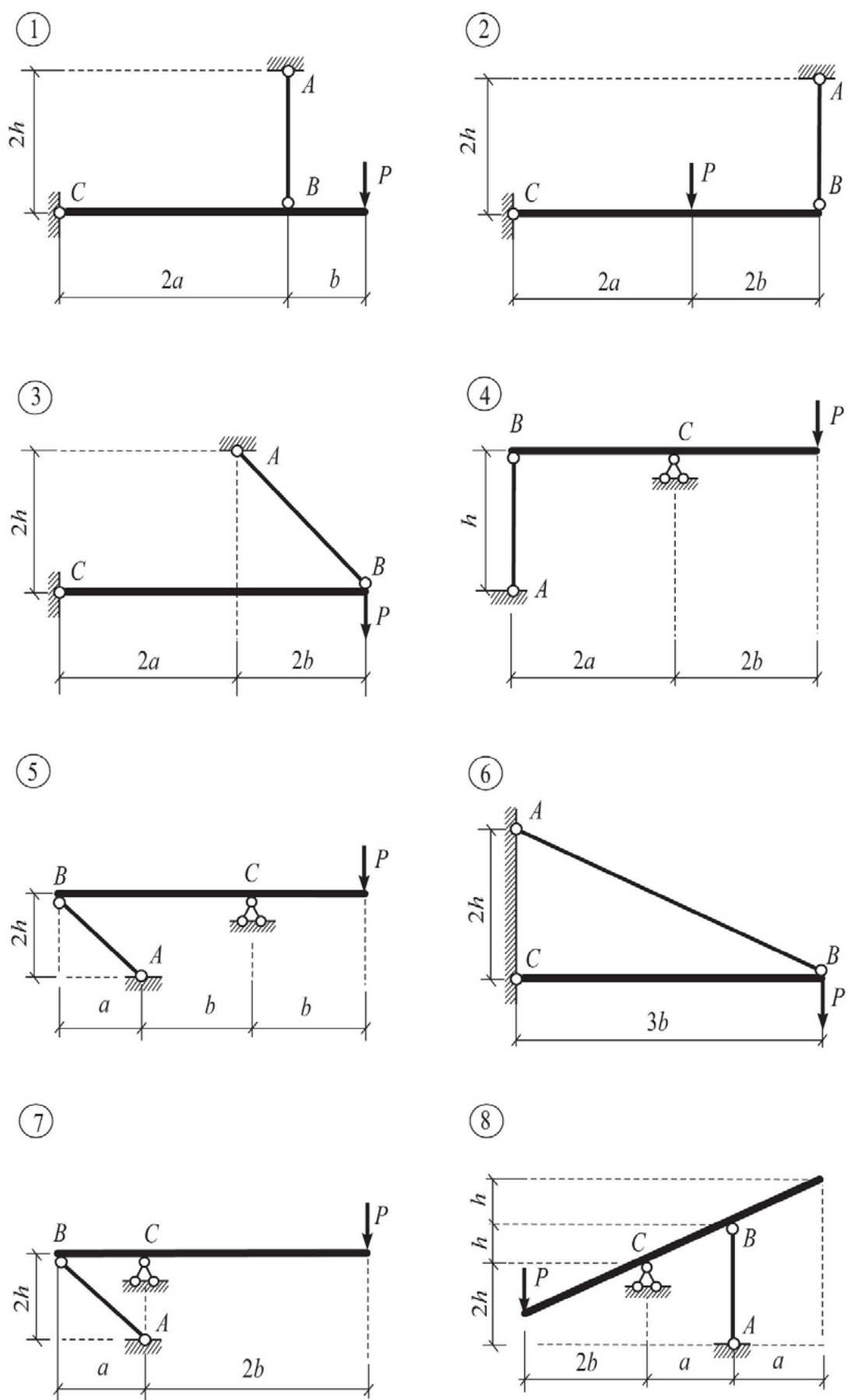


Рис. 1.2. Схемы к задаче 1.2

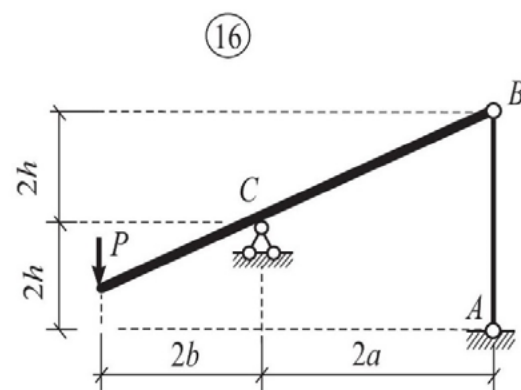
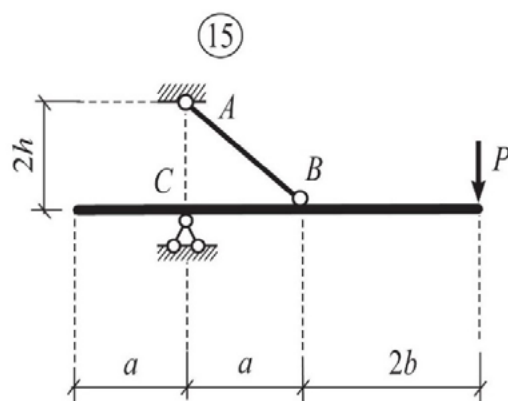
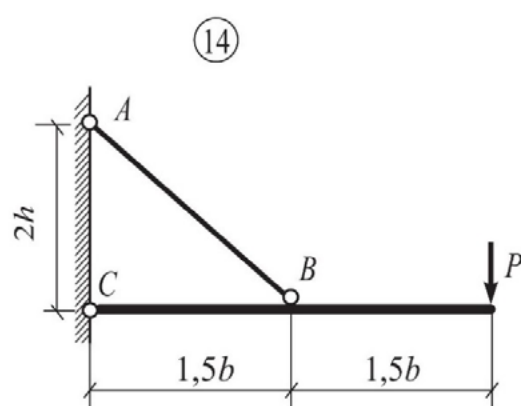
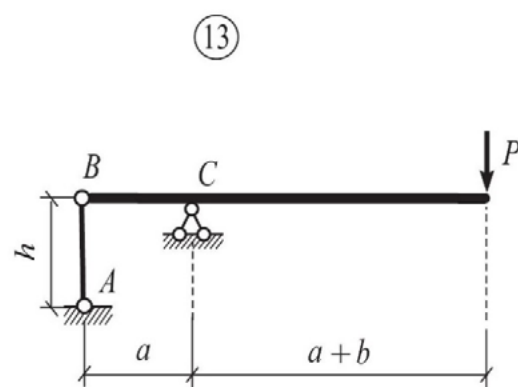
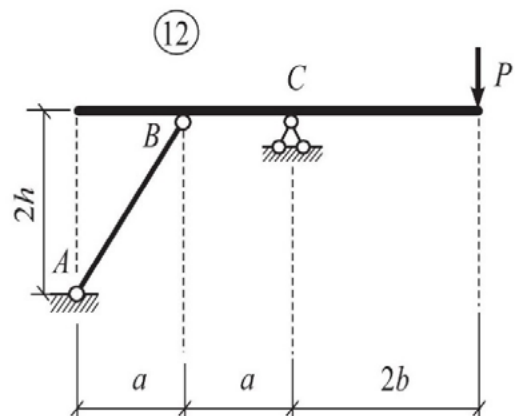
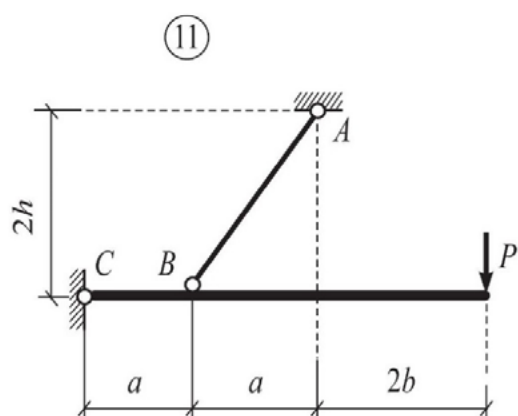
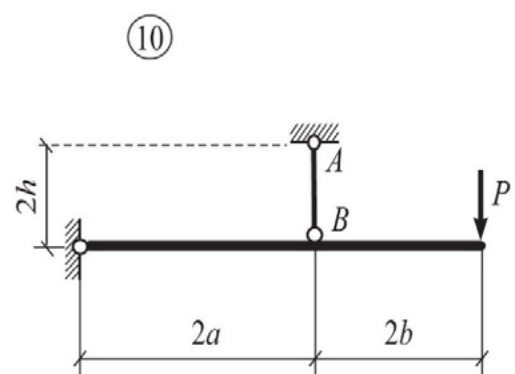
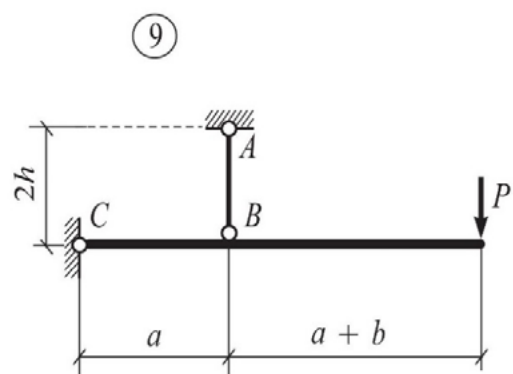


Рис. 1.2. Схемы к задаче 1.2 (продолжение)

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. При каких нагрузках прямой стержень работает на растяжение и сжатие?
2. Какие внутренние усилия возникают в поперечном сечении стержня?
3. Какова дифференциальная зависимость между продольной силой N и распределенной нагрузкой q и следствия из нее?
4. Как определяется продольная сила N в поперечном сечении прямого стержня?
5. Каково правило знаков продольной силы N ?
6. Какие напряжения возникают в поперечном сечении стержня и как их определить?
7. Какие напряжения возникают в наклонном сечении прямого стержня и как их определить?
8. Какова размерность напряжения?
9. Что такое абсолютная и относительная продольные деформации?
10. Что такое коэффициент Пуассона?
11. Какова зависимость между нормальными напряжениями и относительной продольной деформацией (закон Гука)?
12. Что такое модуль упругости E , какова его размерность?
13. Как определить абсолютную продольную деформацию Δl ?
14. Что такое жесткость при растяжении и сжатии и какова ее размерность?
15. Каковы особенности работы пластичного материала при растяжении (на примере диаграммы напряжений при испытании образца из малоуглеродистой стали)?
16. Каковы особенности работы хрупких материалов при растяжении и сжатии?
17. В чем состоят отличия работы пластичных и хрупких материалов при растяжении и сжатии?
18. Какова сущность метода предельных состояний в строительных нормах? Сколько и какие предельные состояния рассматриваются?
19. Каково условие прочности по строительным нормам для стальных стержней (метод расчета по предельным состояниям)?
20. Каково условие прочности в методе расчета по допускаемым напряжениям?

2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЙ

Задача 2.1. Сечение с одной осью симметрии

Для сечений, имеющих одну ось симметрии (рис. 2.1), при геометрическом размере a , указанном в столбце табл. 2.1, требуется:

- 1) определить положение центра тяжести сечения;
- 2) вычислить моменты инерции относительно двух взаимно перпендикулярных центральных осей, одна из которых является осью симметрии;
- 3) установить положение главных центральных осей инерции;
- 4) вычислить главные радиусы инерции;
- 5) определить моменты сопротивления сечения для нижних, верхних, правых и левых волокон.

Таблица 2.1

Числовые данные к задаче 2.1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
a , см	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

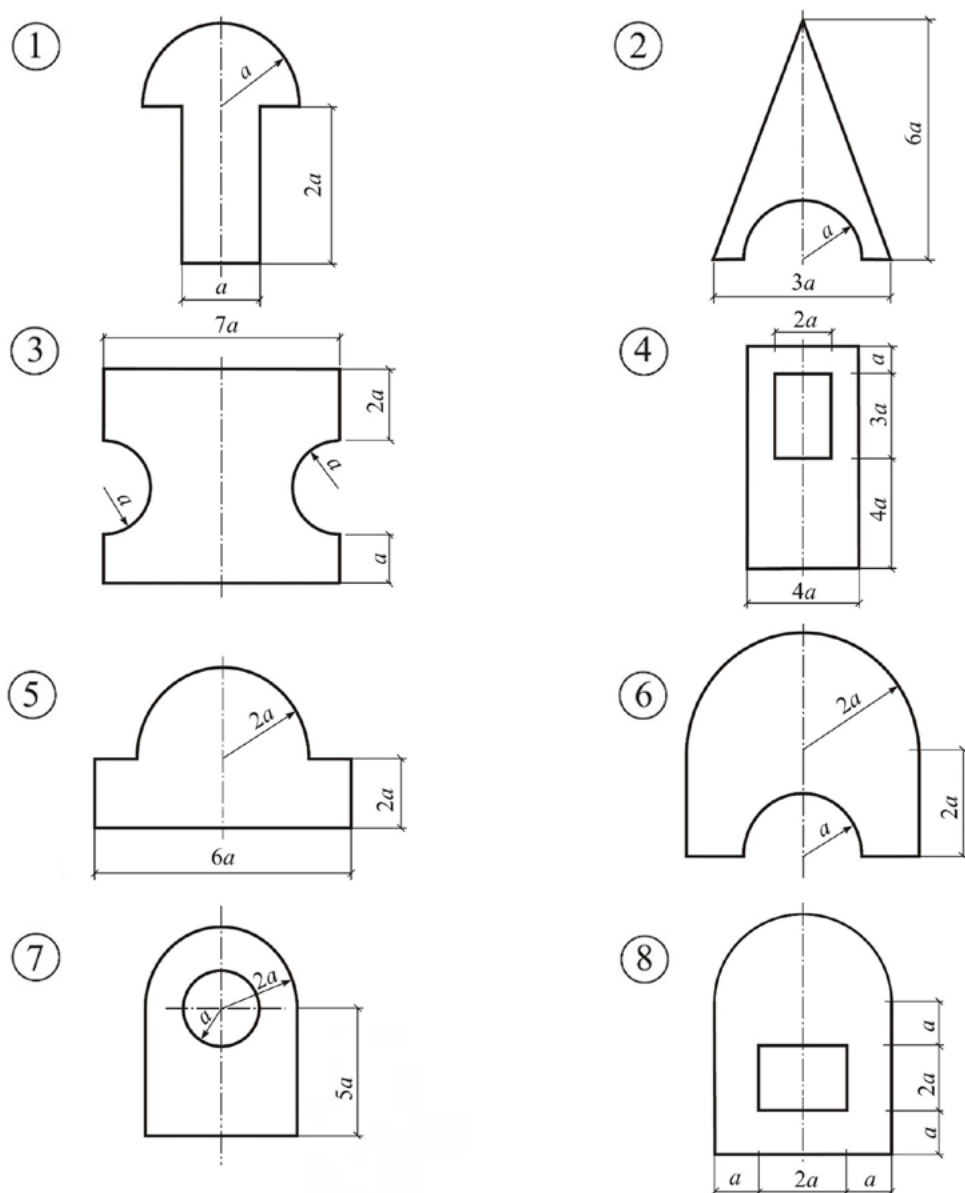


Рис. 2.1. Схемы к задаче 2.1

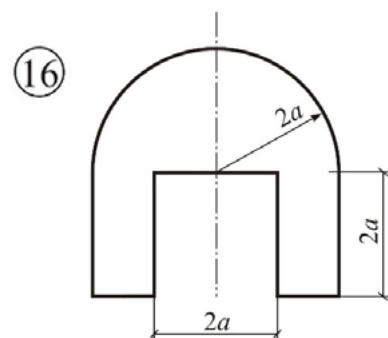
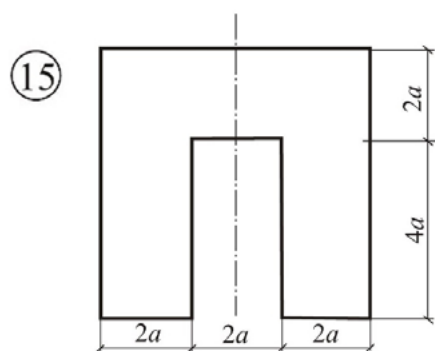
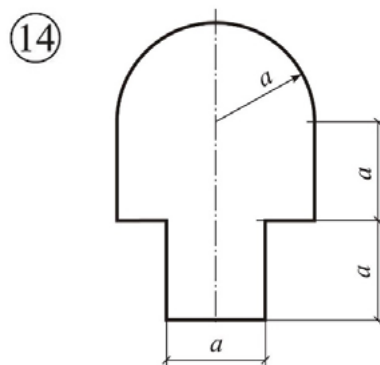
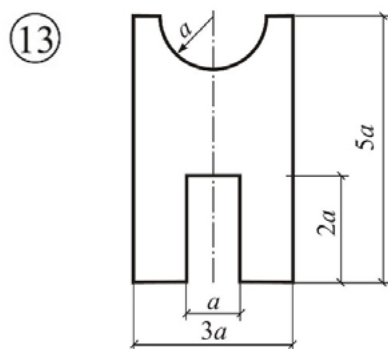
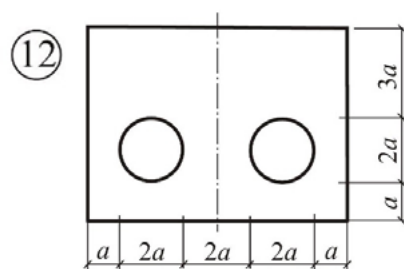
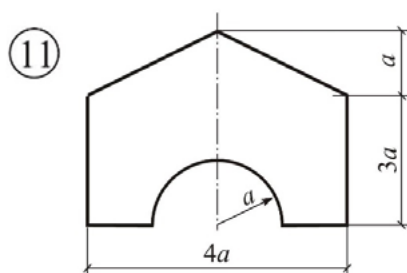
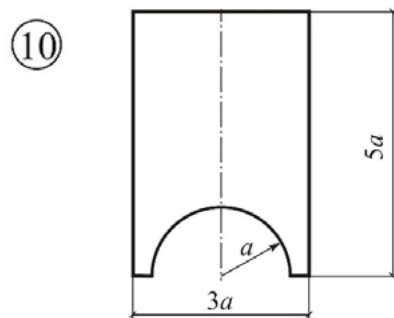
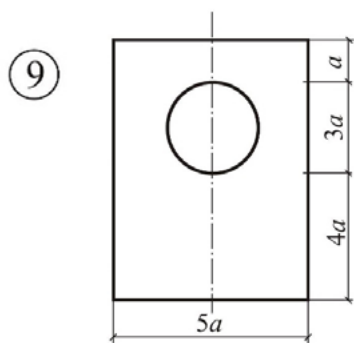


Рис. 2.1. Схемы к задаче 2.1 (продолжение)

ЗАДАЧА 2.2.* НЕСИММЕТРИЧНОЕ СОСТАВНОЕ СЕЧЕНИЕ

Для несимметричного составного сечения (рис. 2.2) при геометрических параметрах, указанных в табл. 2.2, требуется:

- 1) определить положение центра тяжести;
- 2) вычислить осевые и центробежный моменты инерции относительно центральных осей;
- 3) определить положение главных центральных осей инерции и величины главных моментов инерции.

Таблица 2.2

Числовые данные к задаче 2.2

№	Двутавр, ГОСТ 8239-89	Швеллер, ГОСТ 8240-97	Равнополочный уголок, ГОСТ 8509-93	Неравнополочный уголок, ГОСТ 8510-86	Лист, $b \times \delta$, мм
1	10	8У	80×6	$90 \times 56 \times 6$	100×10
2	12	8У	100×7	$90 \times 56 \times 8$	120×10
3	12	10У	100×10	$100 \times 63 \times 8$	170×12
4	14	10У	100×12	$100 \times 63 \times 10$	140×12
5	14	12У	125×8	$125 \times 80 \times 7$	140×14
6	16	14У	125×10	$140 \times 90 \times 8$	200×10
7	16	16У	125×16	$140 \times 90 \times 10$	150×10
8	18	18У	140×10	$160 \times 100 \times 10$	150×12
9	18	18аУ	140×12	$160 \times 100 \times 12$	200×12
10	20	14У	160×10	$160 \times 100 \times 14$	200×10
11	20	20У	160×12	$180 \times 110 \times 10$	250×12
12	22	22У	160×18	$180 \times 110 \times 12$	250×14
13	22	24У	180×11	$200 \times 125 \times 11$	260×16
14	24	27У	180×12	$200 \times 125 \times 12$	280×10
15	27	24У	220×14	$200 \times 125 \times 14$	300×10
16	27	33У	250×16	$200 \times 125 \times 16$	300×12

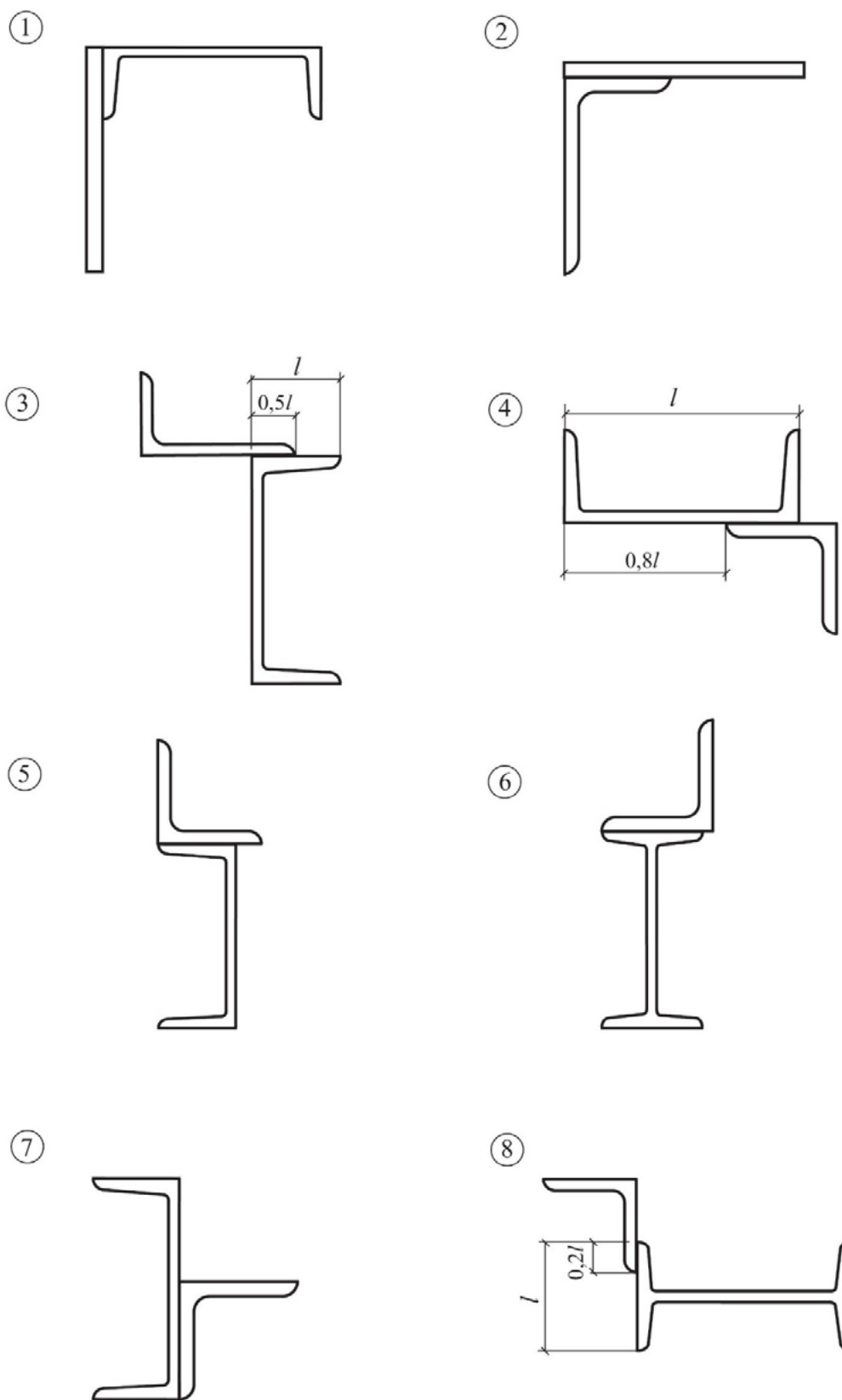


Рис. 2.2. Схемы к задаче 2.2

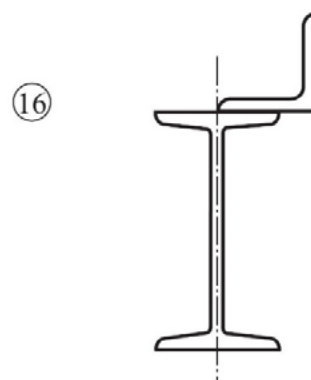
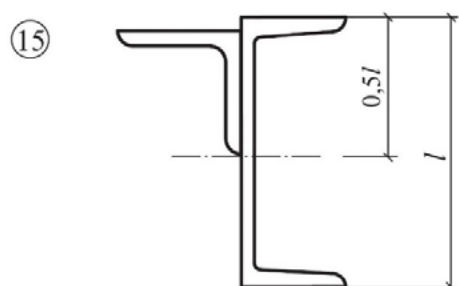
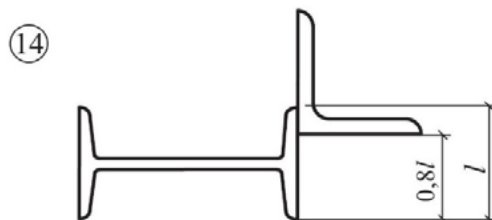
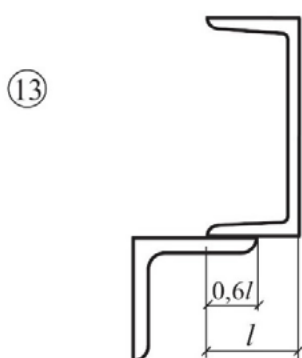
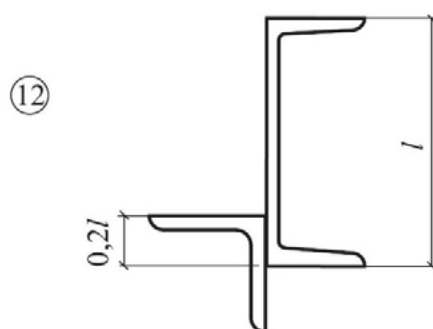
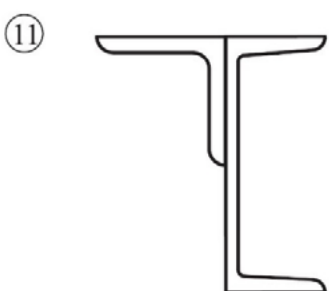
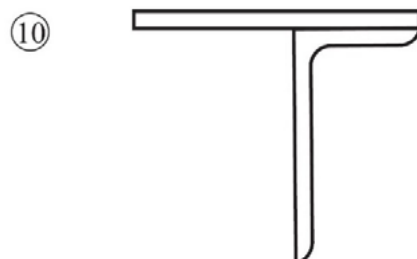
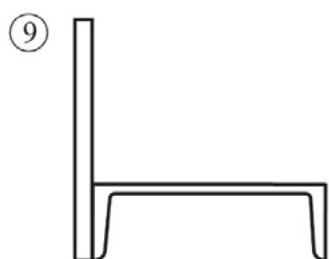


Рис. 2.2 Схемы к задаче 2.2 (продолжение)

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое геометрические характеристики сечений?
2. Какие геометрические характеристики сечений необходимы для решения задач прочности?
3. Как определить статический момент сечения?
4. Что такое центр тяжести сечения и как его найти?
5. Каковы формулы для определения моментов инерции прямоугольного, круглого и треугольного сечения относительно их центральных осей?
6. Как изменяются осевые и центробежный момент инерции при параллельном переносе осей?
7. Как изменяются осевые и центробежный момент инерции при повороте осей?
8. Что такое главные оси инерции и главные моменты инерции?
9. Каков порядок действий для определения главных центральных осей инерции?
10. Каковы формулы для определения главных моментов инерции и главных осей инерции?

3. ПЛОСКИЙ ПРЯМОЙ ИЗГИБ СТЕРЖНЯ

Задача 3.1. ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ В БАЛКАХ

Для балок, представленных на рис. 3.1, по строке табл. 3.1.1 с нагрузками и геометрическими размерами по строке табл. 3.1.2 требуется:

- 1) определить опорные реакции;
- 2) построить эпюры внутренних усилий Q и M .

Таблица 3.1.1

Таблица 3.1.2

Числовые данные к задаче 3.1

Данные размеров к задаче 3.1

№	№ балки		
1	1	11	21
2	2	12	22
3	3	13	23
4	4	14	24
5	5	15	25
6	6	16	26
7	7	17	27
8	8	18	28
9	9	19	29
10	10	20	30
11	1	12	22
12	2	13	24
13	3	14	21
14	4	15	22
15	5	16	23
16	6	17	24
17	7	18	25
18	8	19	26
19	9	20	27
20	10	11	28
21	1	13	29
22	2	14	30
23	3	15	27
24	4	16	25
25	5	17	22
26	6	18	23
27	7	19	24
28	8	20	25
29	9	15	26
30	10	19	27
31	1	18	28
32	2	17	29

№	a , м	b , м	c , м	P , кН	q , кН/м	M , кН·м
1	3,0	2,0	1,0	32	10	25
2	2,8	2,4	1,5	30	12	28
3	2,6	2,0	1,2	28	16	26
4	3,0	2,0	1,2	26	18	30
5	2,6	1,6	1,4	24	20	32
6	3,3	3,0	1,2	29	22	44
7	2,6	1,8	1,5	19	24	28
8	3,0	2,0	1,6	26	26	50
9	3,4	2,0	1,0	18	28	26
10	3,2	3,0	1,4	22	30	28
11	2,6	2,2	1,0	25	12	20
12	3,0	2,5	1,2	24	16	42
13	2,8	2,3	1,2	22	18	44
14	3,0	2,4	1,4	28	22	38
15	3,2	2,0	1,0	27	42	34
16	2,3	1,8	1,5	30	24	25
17	3,4	2,3	1,4	23	26	40
18	3,6	2,1	1,6	27	18	34
19	3,0	2,0	1,0	20	16	25
20	2,6	2,2	1,5	17	25	28
21	2,8	2,2	1,2	22	20	26
22	3,1	2,0	1,2	28	14	30
23	2,9	2,2	1,4	24	20	32
24	3,2	2,8	1,2	19	22	44
25	2,8	2,0	1,5	22	22	28
26	3,2	2,4	1,2	18	25	50
27	3,1	2,2	1,0	20	28	26
28	3,0	2,5	1,4	22	26	28
29	2,8	2,3	1,0	25	28	20
30	3,1	2,4	1,2	24	24	42
31	2,9	2,4	1,2	22	16	44
32	3,2	2,5	1,4	24	14	38

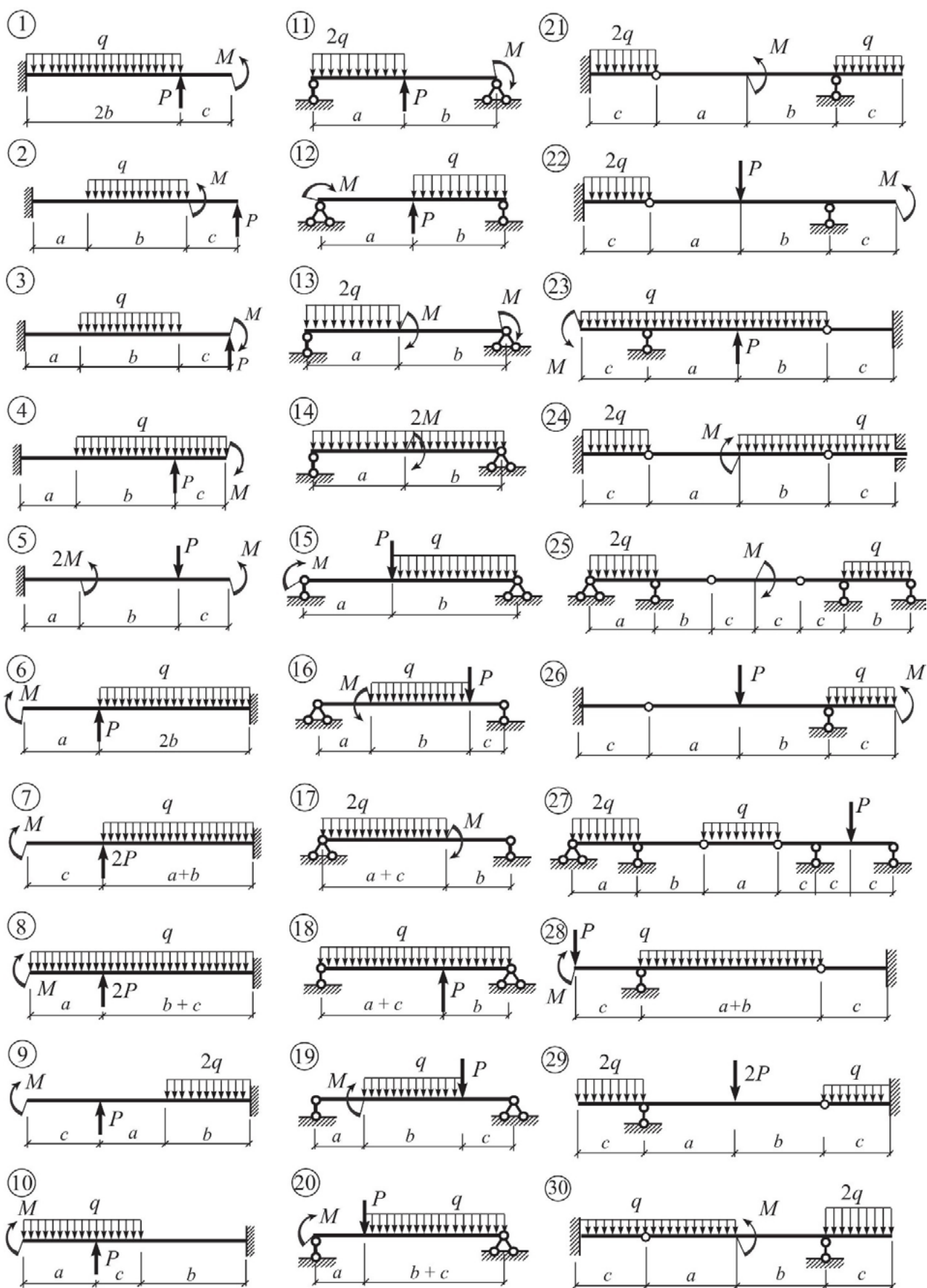


Рис. 3.1. Схемы балок к задаче 3.1

Задача 3.2. Напряжения при изгибе

Для одной из балок, представленных на рис. 3.2, с нагрузками и геометрическими размерами по строке табл. 3.2 требуется:

- 1) считая представленные в табл. 3.2 нагрузки нормативными, определить их расчетные значения, приняв следующие коэффициенты надежности по нагрузкам:
 - для сосредоточенной силы и момента — $\gamma_f = 1,1$;
 - для распределенной нагрузки — $\gamma_f = 1,3$;
 - для класса сооружения по ответственности КС-3 принять $\gamma_n = 1,1$;
- 2) построить эпюры Q и M от расчетных нагрузок;
- 3) подобрать сечение балки из стального двутавра (марка стали С245), приняв коэффициент условий работы $\gamma_c = 0,9$ и коэффициент надежности по материалу $\gamma_m = 1,025$;
- 4) построить эпюры наибольших нормальных σ и касательных τ напряжений в поперечном сечении подобранного в п. 3 двутавра и проверить условия прочности по нормальным и касательным напряжениям;
- 5) подобрать сечение балки в виде прямоугольника, приняв отношение его высоты к ширине равным 2 (материал и коэффициенты принять в соответствии с п. 3);
- 6) построить эпюры наибольших нормальных σ и касательных τ напряжений в подобранном в п. 5 прямоугольном сечении и проверить условия прочности по нормальным и касательным напряжениям;
- 7) подобрать сечение балки в виде круга (материал и коэффициенты принять в соответствии с п. 3);
- 8) построить эпюры наибольших нормальных σ и касательных τ напряжений в подобранном в п. 7 круглом сечении и проверить условия прочности по нормальным и касательным напряжениям;
- 9) определить, какое из трех сечений является наиболее экономичным (по количеству материала);
- 10) *для стального двутавра в сечении, где M и Q одновременно достигают больших значений, найти главные напряжения на уровне соединения полки со стенкой и проверить прочность по главным напряжениям по третьей теории прочности.

Таблица 3.2

Числовые данные к задаче 3.2

№	a , м	b , м	c , м	q , кН/м	P , кН	M , кН·м
1	3,0	2,0	1,0	20	30	25
2	2,5	2,4	1,5	17	25	28
3	2,6	2,2	1,2	22	42	26
4	3,0	2,0	1,2	18	34	30
5	2,6	2,2	1,4	24	20	32
6	3,0	2,8	1,2	19	32	44
7	2,6	2,0	1,5	14	28	28
8	3,0	2,8	1,2	16	25	50
9	3,4	3,0	1,0	18	28	26
10	3,0	3,0	1,4	12	36	28
11	2,6	2,2	1,0	25	39	20
12	3,0	2,5	1,2	24	24	42
13	2,8	2,3	1,2	22	26	44
14	3,0	2,5	1,4	24	30	38
15	2,6	2,0	1,0	26	40	32
16	2,4	1,9	1,4	30	38	25

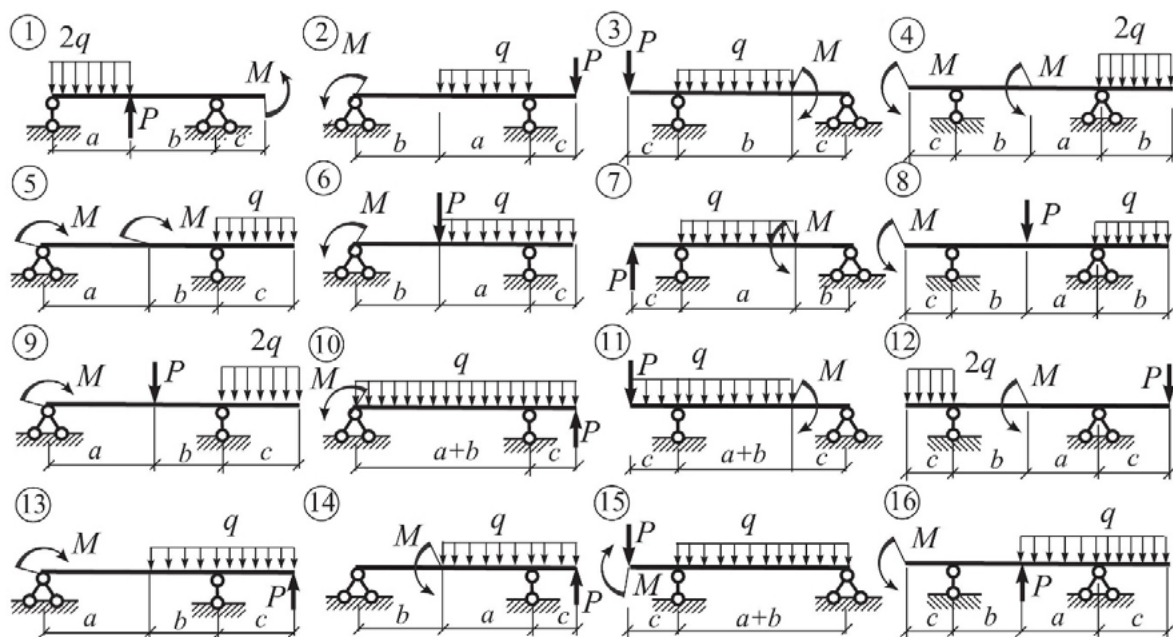


Рис. 3.2. Схемы балок к задаче 3.2

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие усилия возникают в балке при плоском поперечном изгибе?
2. Какие существуют дифференциальные зависимости между поперечной силой Q , изгибающим моментом M и распределенной поперечной нагрузкой q ?
3. Каковы следствия из дифференциальных зависимостей между Q , M и q ?
4. Как определяется поперечная сила Q в поперечном сечении балки и каково для нее правило знаков?
5. Как определяется изгибающий момент M в поперечном сечении балки и каково для него правило знаков?
6. С какой стороны строится эпюра изгибающих моментов в балке при строительном проектировании и чем это объясняется?
7. Какие существуют визуальные способы проверки правильности эпюр внутренних усилий в балках?
8. Какие напряжения возникают в поперечном сечении балки?
9. Что такое момент сопротивления сечения W ?
10. Сколько моментов сопротивления можно найти для сечений с одной и двумя осями симметрии?
11. Каковы формулы для определения моментов сопротивления прямоугольного и круглого сечения?
12. Какие формулы существуют для определения нормальных напряжений в балках?
13. Какой вид имеют эпюры нормальных напряжений в балке для сечения с одной и двумя осями симметрии?
14. Какой вид имеет формула Д.И. Журавского для определения касательных напряжений в балках?
15. Каково условие прочности для стальных балок по строительным нормам для нормальных и касательных напряжений (метод предельных состояний)?
16. Каково условие прочности по методу допускаемых напряжений для нормальных и касательных напряжений?
17. Что такое опасное сечение, по которому подбирается балка?
18. Каков порядок подбора сечений стальной балки по строительным нормам (двутавр, прямоугольник, круг)?
19. *Как определить главные напряжения в балках при поперечном изгибе?

4. СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Задача 4.1. РАСЧЕТ РАМЫ

Для рам (по указанию преподавателя) из трех серий, представленных на рис. 4.1.1, 4.1.2 и 4.1.3, с числовыми данными табл. 4.1:

1) выполнить кинематический анализ стержневой системы;
 2) определить опорные реакции и построить эпюры N , Q и M ;
 3) определить линейные и угловое перемещения в точке K рамы, приняв для рам из серий № 1 и 2 (рис. 4.1.1 и 4.1.2) жесткости EJ всех стержней одинаковыми, а для рам серии № 3 (рис. 4.1.3) жесткость горизонтальных стержней (ригелей) принять $EJ_p = 2EJ$, а вертикальных (стоек) $EJ_{ст} = EJ$. Вычисления следует проводить со следующими данными: $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, $J = 8 \cdot 10^4$ см⁴;

4*) для рамы серии № 2 (рис. 4.1.2) найти линейные перемещения т. K при температуре на наружном контуре рамы $t_n = -20$ °С, а на внутреннем контуре $t_v = +18$ °С, приняв температурный коэффициент линейного расширения $\alpha_t = 1,2 \cdot 10^{-5}$ 1/°С, высоту поперечного сечения всех стержней $h_c = 0,1l$.

Таблица 4.1

Числовые данные к задаче 4.1

№	a , м	b , м	c , м	q , кН/м	P , кН	M , кН·м
1	3,0	2,0	1,0	20	30	25
2	2,5	2,4	1,5	17	25	28
3	2,6	2,2	1,2	22	42	26
4	3,0	2,0	1,2	18	34	30
5	2,6	2,2	1,4	24	20	32
6	3,0	2,8	1,2	19	32	44
7	2,6	2,0	1,5	14	28	28
8	3,0	2,8	1,2	16	25	50
9	3,4	3,0	1,0	18	28	26
10	3,0	3,0	1,4	12	36	28
11	2,6	2,2	1,0	25	39	20
12	3,0	2,5	1,2	24	24	42
13	2,8	2,3	1,2	22	26	44
14	3,0	2,5	1,4	24	30	38
15	2,6	2,0	1,0	26	40	32
16	2,4	1,9	1,4	30	38	25

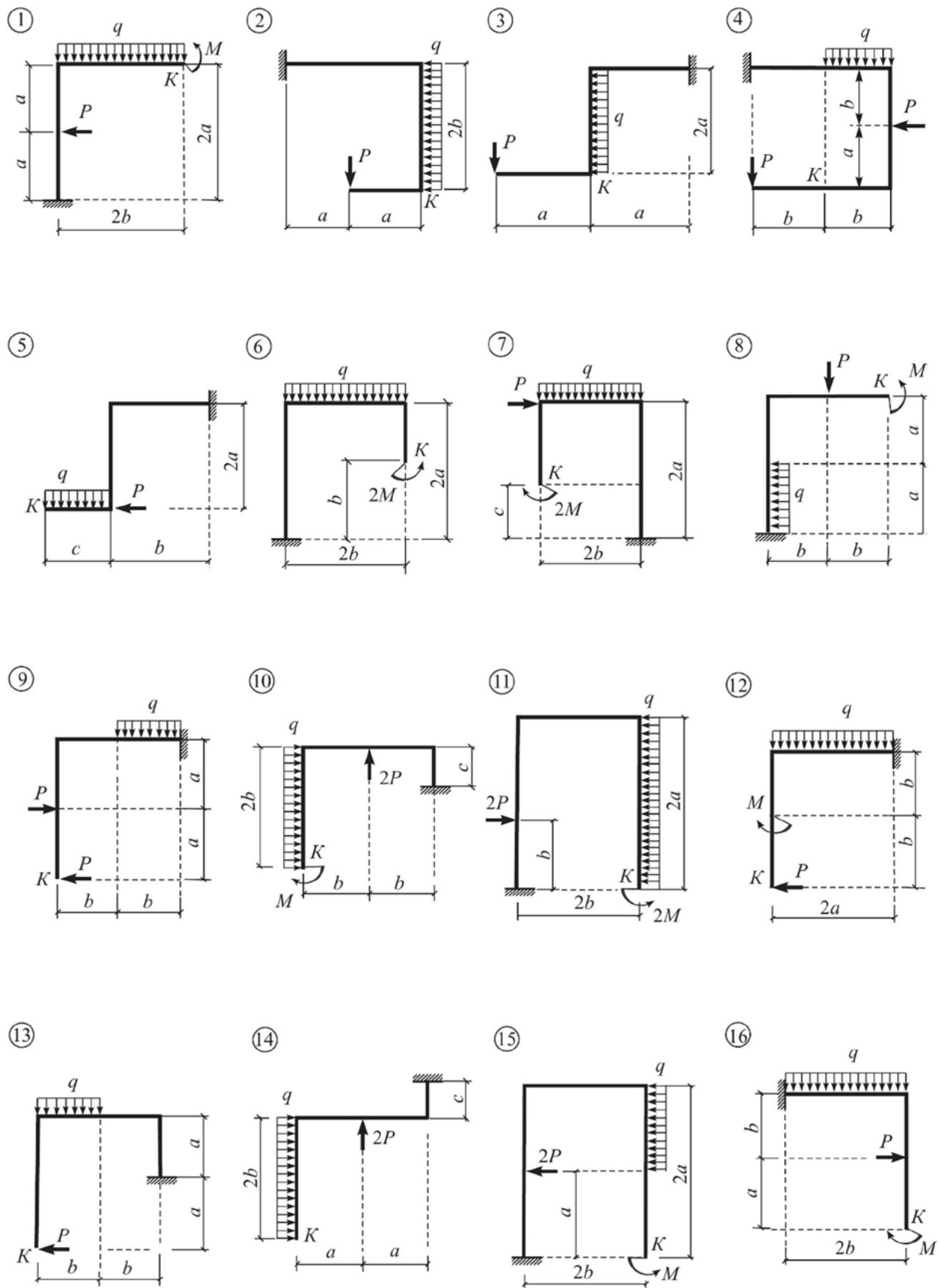


Рис. 4.1.1. Схемы рам к задаче 4.1 (серия № 1)

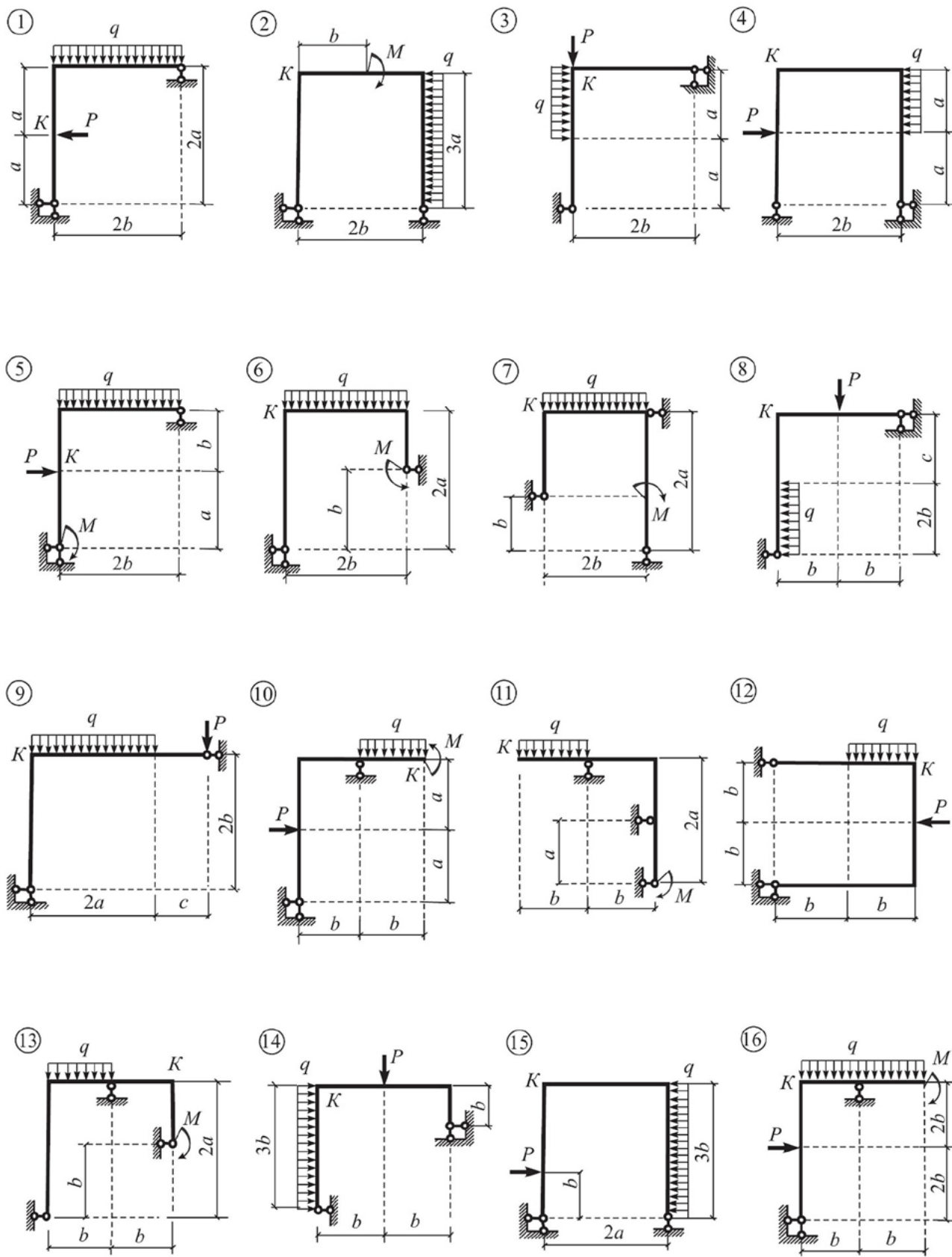


Рис. 4.1.2. Схемы рам к задаче 4.1 (серия № 2)

ЗАДАЧА 4.2. РАСЧЕТ ФЕРМЫ

Для статически определимой фермы (рис. 4.2) с размерами и действующими расчетными нагрузками по строке табл. 4.2 требуется:

- 1) выполнить кинематический анализ стержневой системы;
- 2) определить опорные реакции;
- 3) определить продольные силы в пяти стержнях, отмеченных на рис. 4.2.

Таблица 4.2

Числовые данные к задаче 4.2

№	d , м	φ , град.	P , кН
1	4	60	10
2	5	45	12
3	4	60	14
4	5	60	10
5	4	60	8
6	6	45	12
7	4	60	12
8	6	45	20
9	5	60	19
10	5	45	18
11	4	60	13
12	3	45	12
13	4	60	7
14	5	45	10
15	6	60	8
16	7	45	12

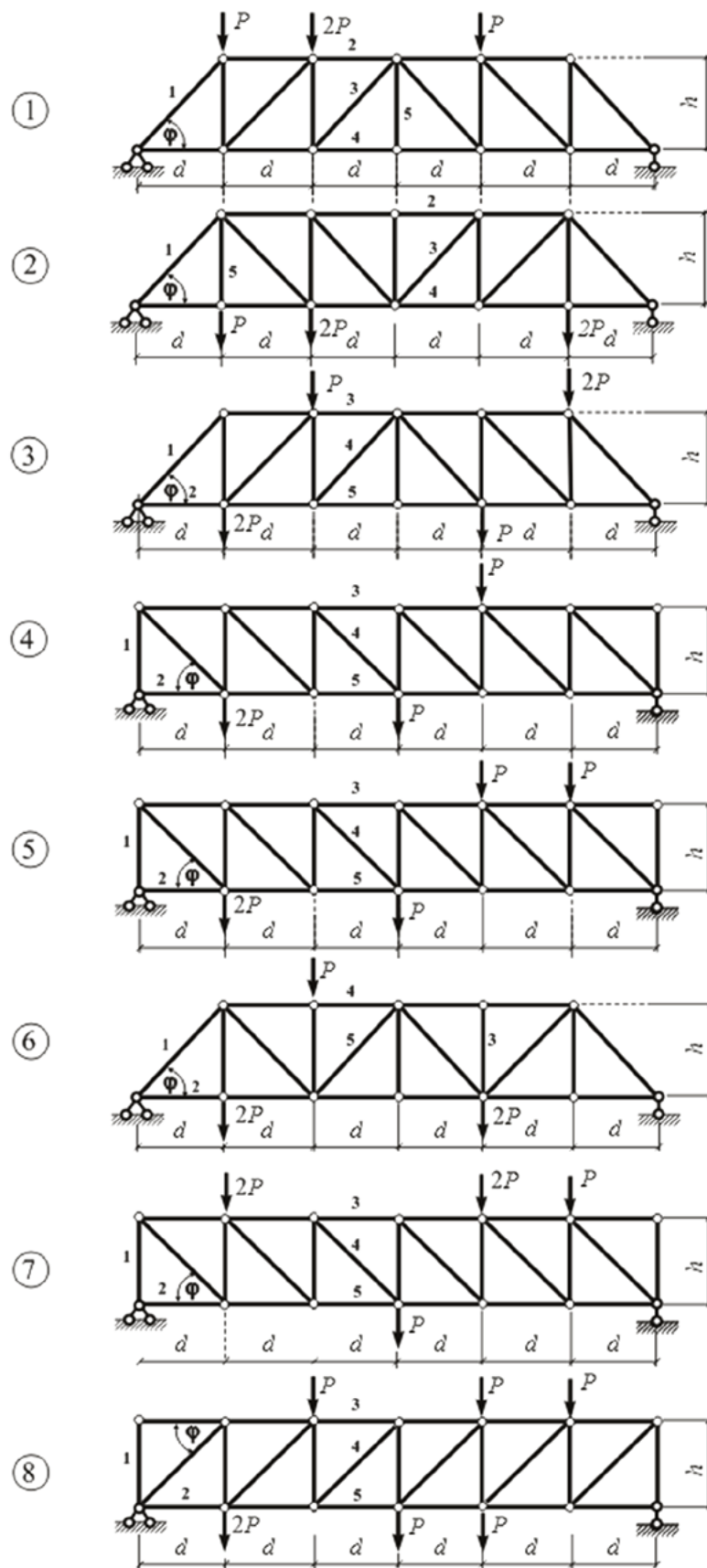


Рис. 4.2. Схемы к задаче 4.2

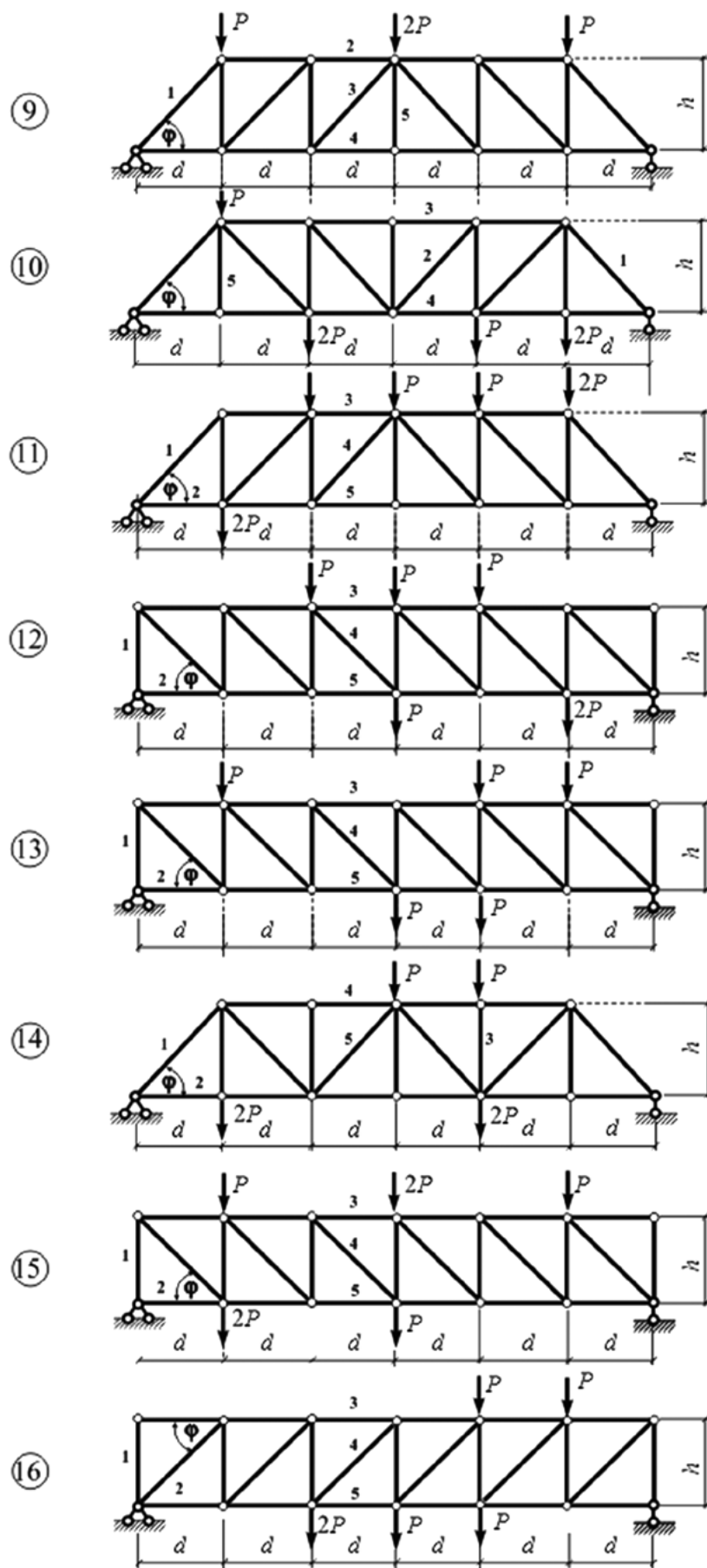


Рис. 4.2. Схемы к задаче 4.2 (продолжение)

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие стержневые системы называют статически определимыми?
2. Что такое геометрически неизменяемые, изменяемые и мгновенно изменяемые системы?
3. Что такое число степеней свободы и как оно определяется?
4. Каков порядок проведения кинематического анализа стержневой системы?
5. Каковы принципы формирования геометрически неизменяемой стержневой системы?
6. Каковы свойства мгновенно изменяемых стержневых систем и почему их нельзя использовать в строительном проектировании?
7. Какие внутренние усилия возникают в плоской раме и каково их правило знаков?
8. Каковы способы построения эпюр внутренних усилий в рамах?
9. В чем состоит проверка равновесия узлов в рамах?
10. Какие внутренние усилия возникают в плоских фермах и какие способы их определения существуют?
11. Что такое ферма и как она должна быть загружена, чтобы не учитывать изгибающие моменты и поперечные силы?
12. Каков порядок определения перемещений плоской стержневой системы методом Мора?
13. В каких случаях можно пренебречь членами формулы Мора, зависящими от продольной N и поперечной Q сил?
14. Какие члены формулы Мора следует учитывать при определении перемещений в фермах?
15. Как формулируется правило А.К. Верещагина?
16. Какой вид имеет формула «перемножения трапеций» и формула Симпсона?
17. Что такое условие жесткости и к какому виду предельного состояния оно относится?
18. В строительном проектировании определение перемещений производится от воздействия нормативных или расчетных нагрузок?

5. МЕТОД СИЛ

ЗАДАЧА 5.1. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ РАМЫ МЕТОДОМ СИЛ

Для статически неопределимой рамы (рис. 5.1) с размерами и действующими расчетными нагрузками по строке табл. 5.1 требуется:

- 1) определить ее степень статической неопределимости;
- 2) рассчитать раму методом сил;
- 3) построить окончательные эпюры N , Q и M в статически неопределимой раме;
- 4) выполнить статическую и кинематическую проверки результатов расчета;
- 5)* определить одно из линейных перемещений в точке K рамы (горизонтальное или вертикальное).

Указания к задаче

1. При расчете учесть соотношение жесткостей горизонтальных EJ_p (ригелей) и вертикальных $EJ_{ст}$ (стоек) в соответствии с табл. 5.1.
2. Результат расчета перемещений представить, не раскрывая значения жесткостей.

Таблица 5.1

Числовые данные к задаче 5.1

№	a , м	b , м	c , м	q , кН/м	P , кН	M , кН·м	$\frac{EJ_p}{EJ_{ст}}$
1	3,0	2,0	1,0	20	30	25	1,5
2	2,5	2,4	1,5	17	25	28	2
3	2,6	2,2	1,2	22	42	26	1,5
4	3,0	2,0	1,2	18	34	30	3
5	2,6	2,2	1,4	24	20	32	1,5
6	3,0	2,8	1,2	19	32	44	2,5
7	2,6	2,0	1,5	14	28	28	3
8	3,0	2,8	1,2	16	25	50	1,5
9	3,4	3,0	1,0	18	28	26	2
10	3,0	3,0	1,4	12	36	28	3
11	2,6	2,2	1,0	25	39	20	1,5
12	3,0	2,5	1,2	24	24	42	1,5
13	2,8	2,3	1,2	22	26	44	1,5
14	3,0	2,5	1,4	24	30	38	1,5
15	2,6	2,0	1,0	26	40	32	2
16	2,4	1,9	1,4	30	38	25	2

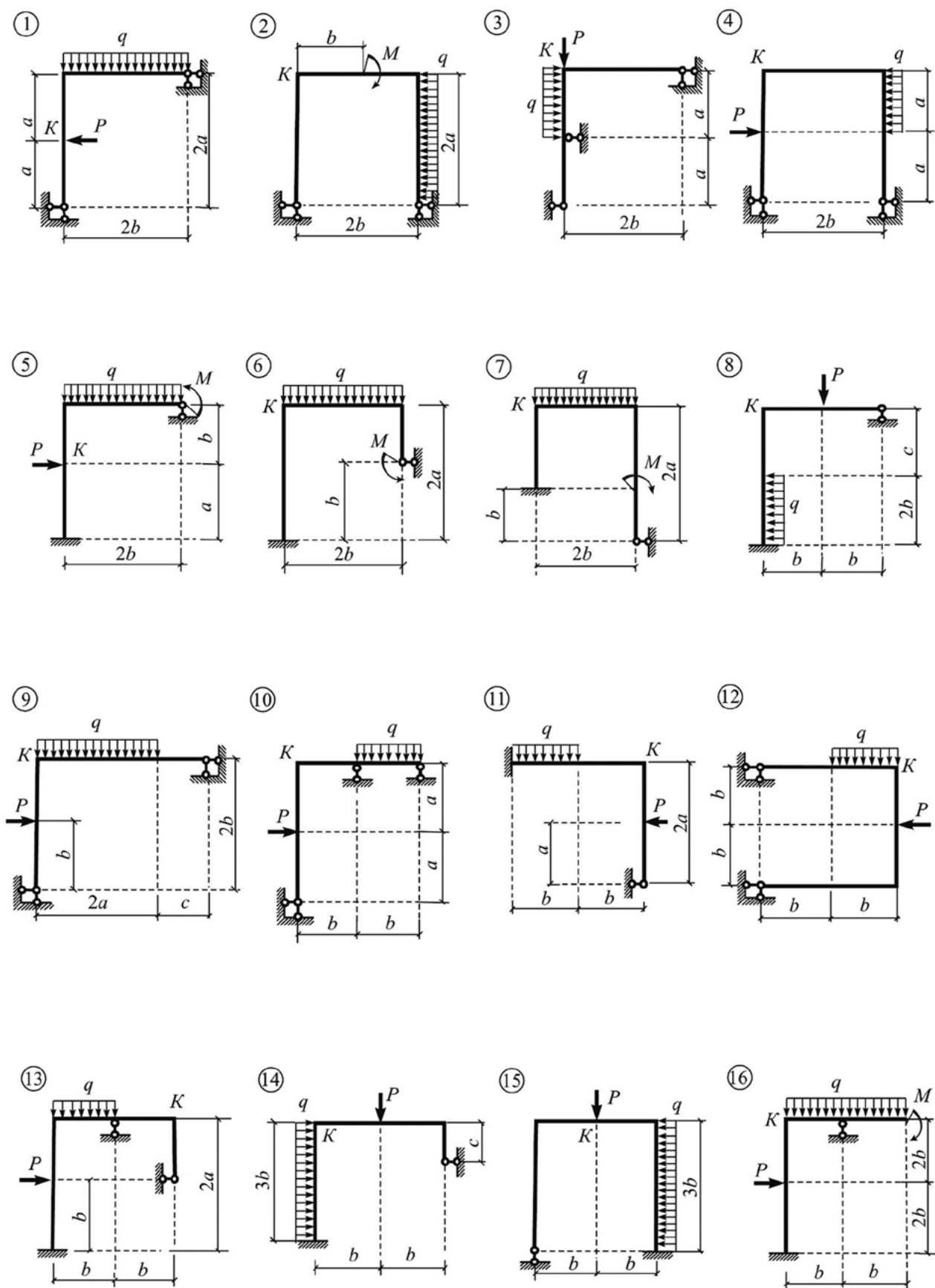


Рис. 5.1. Схемы к задаче 5.1

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое статически неопределимая стержневая система?
2. Чему равна степень статической неопределимости плоской стержневой системы и как она связана с ее степенью свободы?
3. Что такое основная система метода сил и какие особенности она имеет?
4. Как записываются канонические уравнения метода сил?
5. Какой смысл имеют коэффициенты системы канонических уравнений?
6. Какой смысл имеет каждая строка системы канонических уравнений?
7. Как определяются коэффициенты и грузовые члены канонических уравнений?
8. Какие способы построения окончательной эпюры моментов существуют?
9. Как построить окончательные эпюры поперечных и продольных сил?
10. Как выполняется кинематическая проверка окончательной эпюры изгибающих моментов?
11. Как выполняется статическая проверка результатов расчета стержневой системы?
12. Как определяются перемещения в статически неопределимой стержневой системе?

6. УСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТОГО СТЕРЖНЯ

Задача 6.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ СИЛЫ

Для стального центрально сжатого стержня симметричного поперечного сечения (рис. 6.1.1) с различными условиями закрепления в разных плоскостях (рис. 6.1.2) с числовыми данными по строке табл. 6.1 требуется:

- 1) определить геометрические характеристики поперечного сечения;
- 2) найти гибкости в главных плоскостях;
- 3) определить значение критической силы $P_{кр}$, приняв модуль упругости стали $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, предел текучести $\sigma_T = 245$ МПа, предел пропорциональности $\sigma_{пл} = 195$ МПа;
- 4)* определить значение расчетной допускаемой силы $P_{доп}$ по строительным нормам (с использованием коэффициента устойчивости φ при центральном сжатии), приняв расчетное сопротивление стали $R = 240$ МПа, коэффициент условий работы $\gamma_c = 0,9$.

Таблица 6.1

Числовые данные к задаче 6.1

№	Длина l , м	Двутавр, ГОСТ 8239-89	Швеллер, ГОСТ 8240-97	Равнополочный уголок, ГОСТ 8509-93	Неравнополочный уголок, ГОСТ 8510-86	Лист $b \times \delta$, мм
1	7,2	18	18У	70×8	$70 \times 45 \times 5$	200×10
2	7,6	20	18аУ	75×8	$75 \times 50 \times 8$	210×10
3	8,6	22	20У	80×6	$80 \times 60 \times 8$	220×10
4	9,2	24	20У	90×9	$90 \times 56 \times 8$	240×10
5	10,1	27	27У	10×10	$100 \times 63 \times 10$	250×10
6	10,9	30	30У	100×14	$110 \times 70 \times 8$	270×10
7	11,4	33	33У	125×8	$125 \times 80 \times 10$	280×10
8	11,8	36	36У	140×10	$140 \times 90 \times 10$	300×10
9	12,2	40	40У	160×14	$160 \times 100 \times 10$	350×10
10	13,7	45	36У	180×11	$180 \times 110 \times 12$	370×10
11	14,6	50	40У	200×12	$200 \times 125 \times 12$	380×10
12	12,2	55	40У	220×14	$200 \times 125 \times 16$	400×10

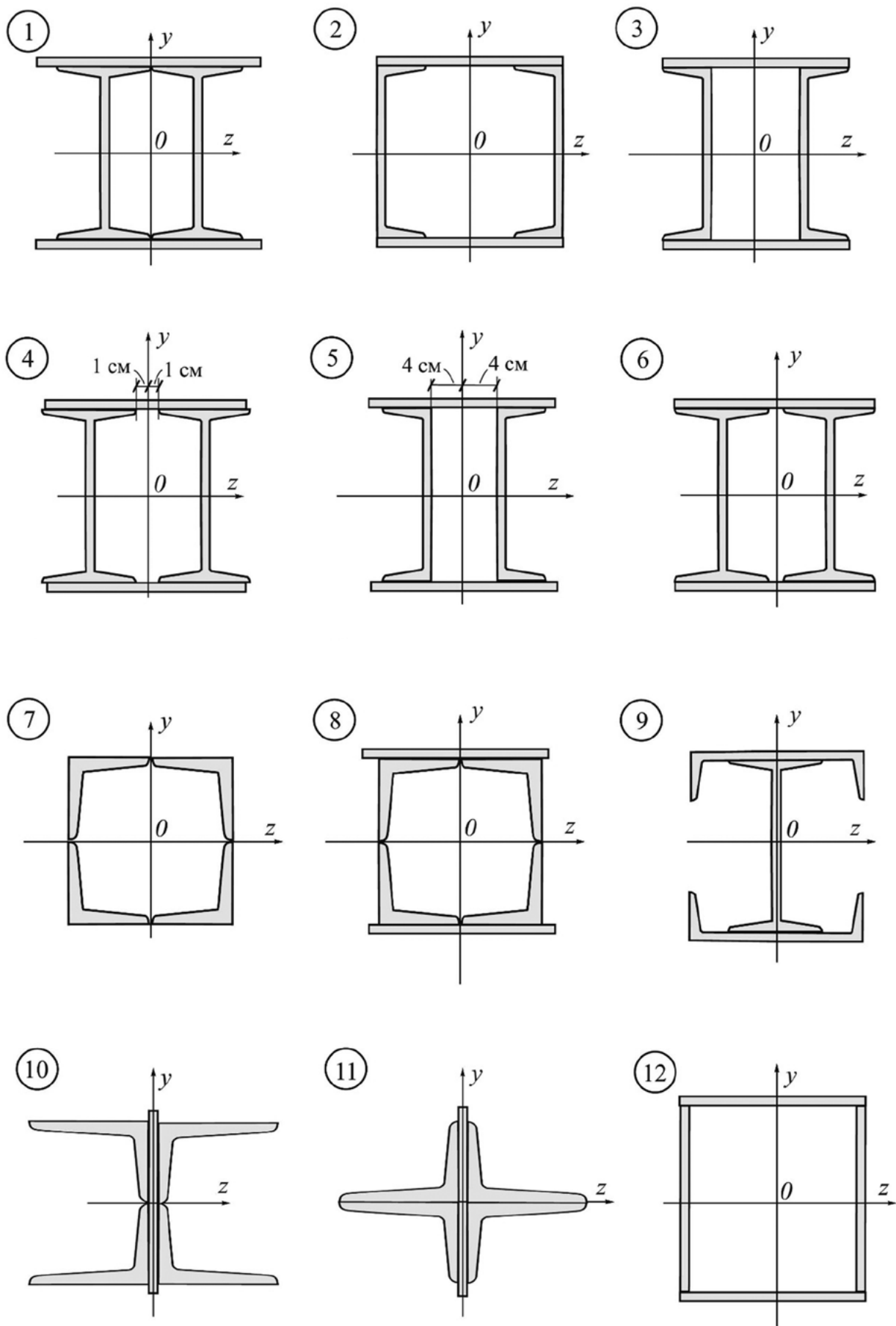


Рис. 6.1.1. Схемы поперечных сечений к задаче 6.1

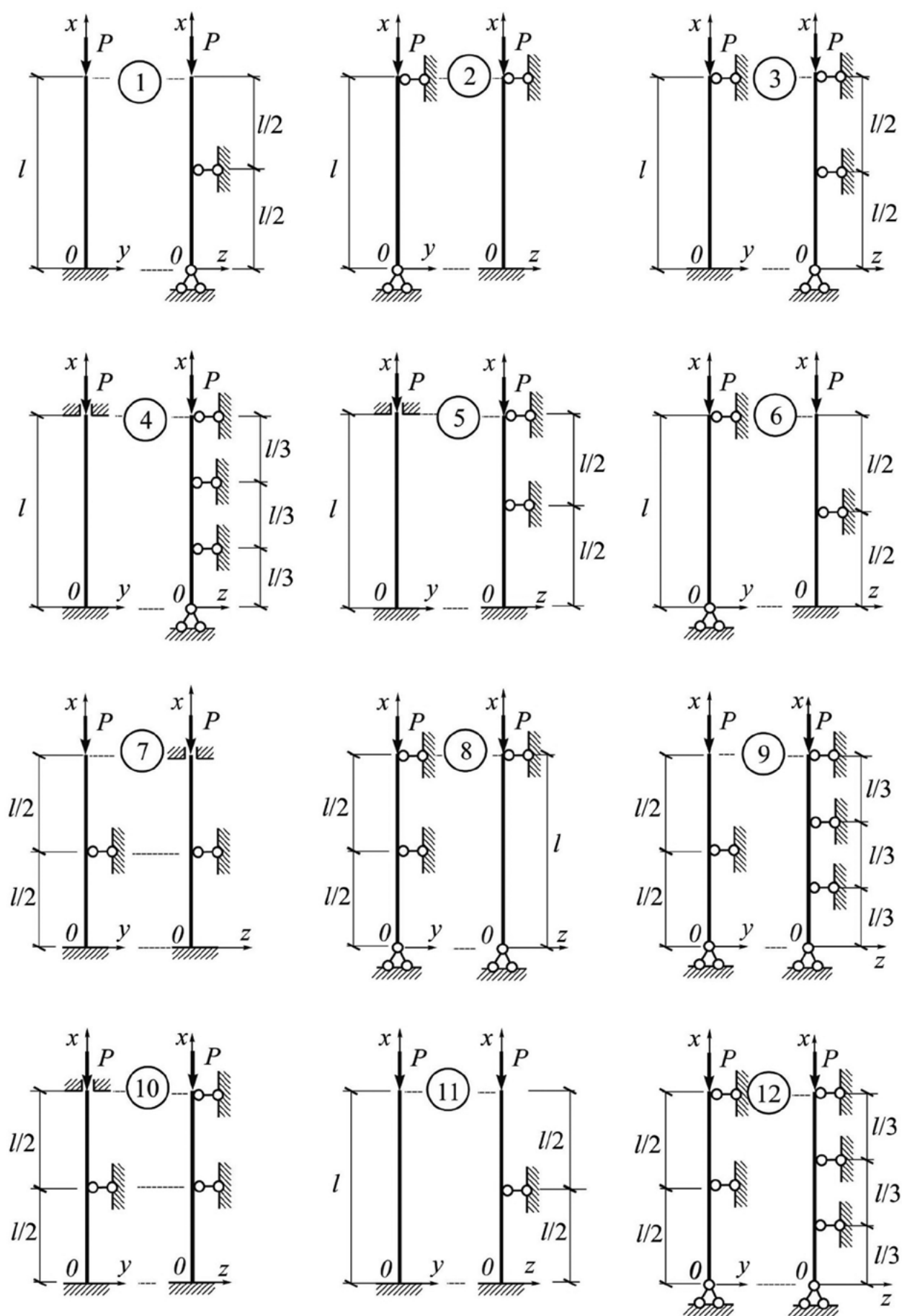


Рис. 6.1.2. Схемы стержней к задаче 6.1

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

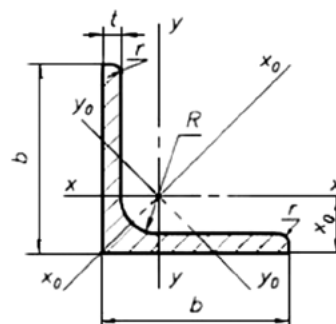
1. Что такое продольный изгиб? В каком случае он возникает?
2. Что такое критическая сила?
3. Что такое коэффициент приведения длины μ , от чего он зависит?
4. Что такое гибкость стержня λ ?
5. Каков вид формулы Эйлера для определения критической силы и критического напряжения?
6. Какие пределы применимости имеет формула Эйлера для стальных стержней?
7. Каковы пределы применимости формулы Эйлера для деревянных стержней?
8. Как и в каких случаях определяются критические напряжения по формуле Ф.С. Ясинского?
9. Как определяются критические напряжения для стальных стержней при малых гибкостях?
10. *Как производится расчет на устойчивость с использованием коэффициента продольного изгиба φ (строительные нормы)?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

СОРТАМЕНТ ПРОКАТНОЙ СТАЛИ

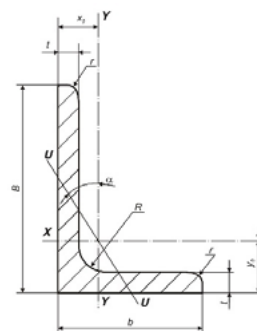
ГОСТ 8509-93
УГОЛКИ СТАЛЬНЫЕ
ГОРЯЧЕКАТАНЫЕ РАВНОПОЛОЧНЫЕ



Номер уголка	<i>b</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>	<i>F</i> , см ²	Справочные значения для осей										Масса 1 м, кг
	мм					<i>x</i> — <i>x</i>			<i>x</i> ₀ — <i>x</i> ₀		<i>y</i> ₀ — <i>y</i> ₀			<i>I</i> _{xy} , см ⁴	<i>x</i> ₀ , см	
						<i>I</i> _x , см ⁴	<i>W</i> _x , см ³	<i>i</i> _x , см	<i>I</i> _{x0} max, см ⁴	<i>i</i> _{x0} max, см	<i>I</i> _{y0} min, см ⁴	<i>W</i> _{y0} , см ³	<i>i</i> _{y0} min, см			
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	0,44	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
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

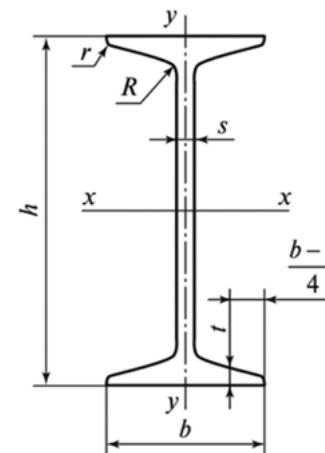
Номер уголка	b	t	R	r	F , см ²	Справочные значения для осей										Масса 1 м, кг
	мм					$x-x$			x_0-x_0		y_0-y_0			I_{xy} , см ⁴	x_0 , см	
						I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_{x0max} , см ⁴	i_{x0max} , см	I_{y0min} , см ⁴	W_{y0} , см ³	i_{y0min} , см			
8	80	5,5	9,0	3,0	8,63	52,68	9,03	2,47	83,56	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
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
		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
18	180	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
		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
20	200	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
		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
22	220	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
25	250	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	22,039	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

ГОСТ 8510-86
УГОЛКИ СТАЛЬНЫЕ
ГОРЯЧЕКАТАНЫЕ НЕРАВНОПОЛОЧНЫЕ



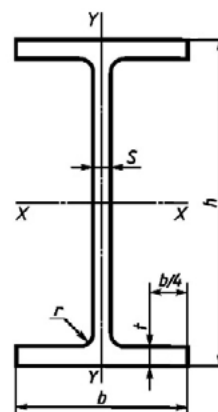
Номер уголка	мм					Площадь поперечного сечения, см ²	Справочные величины для осей									x ₀ , см	y ₀ , см	J _{xy} , см ⁴	Угол наклона на ось, уг α	Масса 1 м уголка, кг
	B	b	t	R	r		x — x			y — y			u — u							
							J _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	J _y , см ⁴	W _y , см ³	i _y , см	J _{min} , см ⁴	W _u , см ³	i _{min} , см					
2.5/1,6	25	16	3			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	3,5	1,2	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
			4			1,86	1,61	0,82	0,93	0,56	0,39	0,55	0,34	0,32	0,43	0,54	1,04	0,54	0,421	1,46
3,2/2	32	20	3			1,49	1,52	0,72	1,01	0,46	0,30	0,55	0,28	0,25	0,43	0,49	1,08	0,47	0,382	1,17
			4			1,94	1,93	0,93	1,00	0,57	0,39	0,54	0,35	0,33	0,43	0,53	1,12	0,59	0,374	1,52
4/2,5	40	25	3	4,0	1,3	1,89	3,06	1,14	1,27	0,93	0,49	0,70	0,56	0,41	0,54	0,59	1,32	0,96	0,385	1,48
			4			2,47	3,93	1,49	1,26	1,18	0,63	0,69	0,71	0,52	0,54	0,63	1,37	1,22	0,281	1,94
			5			3,03	4,73	1,82	1,25	1,41	0,77	0,68	0,86	0,64	0,53	0,66	1,41	1,44	0,374	2,37
4/3*	40	30	4			2,67	4,18	1,54	1,25	2,01	0,91	0,87	1,09	0,75	0,64	0,78	1,28	1,68	0,544	2,26
			5			3,28	5,04	1,88	1,24	2,41	1,11	0,86	1,33	0,91	0,64	0,82	1,32	2,00	0,539	2,46
4,5/2,8	45	28	3	5,0	1,7	2,14	4,41	1,45	1,48	1,32	0,61	0,79	0,72	0,52	0,61	0,64	1,47	1,38	0,382	1,68
			4			2,80	5,68	1,90	1,42	1,69	0,80	0,78	1,02	0,67	0,60	0,68	1,51	1,77	0,379	2,20
5/3,2	50	32	3	5,5	1,8	2,42	6,18	1,82	1,60	1,99	0,81	0,91	1,18	0,68	0,70	0,72	1,60	2,01	0,403	1,9
			4			3,17	7,98	2,38	1,59	2,56	1,05	0,90	1,52	0,88	0,69	0,76	1,65	2,59	0,401	2,4
5,6/3,6	56	36	4	6,0	2,0	3,58	11,37	3,01	1,78	3,70	1,34	1,02	2,19	1,13	0,78	0,84	1,82	3,74	0,406	2,81
			5			4,41	13,82	3,70	1,77	4,48	1,65	1,01	2,65	1,37	0,78	0,88	1,87	4,50	0,404	3,46
6,3/4,0	63	40	4	7,0	2,3	4,04	16,33	3,83	2,01	5,16	1,67	1,13	3,07	1,41	0,87	0,91	2,03	5,25	0,397	3,17
			5			4,98	19,91	4,72	2,00	6,26	2,05	1,12	3,73	1,72	0,86	0,95	2,08	6,41	0,396	3,91
			6			5,90	23,31	5,58	1,99	7,29	2,42	1,11	4,36	2,02	0,86	0,99	2,12	7,44	0,393	4,63
			8			7,68	29,60	7,22	1,96	9,15	3,12	1,09	5,58	2,60	0,85	1,07	2,20	9,27	0,386	6,03
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	0,567	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	50	5			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	48,98	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			8,15	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
9/5,6	90	56	5,5	9,0	3,0	7,86	65,28	10,74	2,88	19,67	4,53	1,58	11,77	3,81	1,22	1,26	2,92	20,54	0,384	6,17
			6			8,54	70,58	11,66	2,88	21,22	4,91	1,58	12,70	4,12	1,22	1,28	2,95	22,23	0,384	6,70
			8			11,18	90,87	15,24	2,85	27,08	6,39	1,56	16,29	5,32	1,21	1,36	3,04	28,33	0,380	8,77
10/6,3	100	63	6			9,58	98,29	14,52	3,20	30,58	5,27	1,79	18,20	5,27	1,38	1,42	3,23	31,50	0,393	7,53
			7			11,09	112,86	16,78	3,19	34,99	7,23	1,78	20,83	6,06	1,37	1,46	3,28	36,10	0,392	8,70
			8			12,57	126,96	19,01	3,18	39,21	8,17	1,77	23,38	6,82	1,36	1,50	3,32	40,50	0,391	9,87
			10			15,47	153,95	23,32	3,15	47,18	9,99	1,75	28,34	8,31	1,35	1,58	3,40	48,60	0,387	12,14
10/6,5*	100	65	7	10,0	3,3	11,23	114,05	16,87	3,19	38,32	7,70	1,85	22,77	6,43	1,41	1,52	3,24	38,00	0,415	8,81
			8			12,73	128,31	19,11	3,18	42,96	8,70	1,84	25,24	7,26	1,41	1,56	3,28	42,64	0,414	9,99
			10			15,67	155,52	23,45	3,15	51,68	10,64	1,82	30,60	8,83	1,40	1,64	3,37	51,18	0,410	12,30
11/7	110	70	6,5			11,45	142,42	19,11	3,53	45,61	8,42	2,00	26,94	7,05	1,53	1,58	3,55	46,80	0,402	8,98
			8			13,93	171,54	23,22	3,51	54,64	10,20	1,98	32,31	8,50	1,52	1,64	3,61	55,90	0,400	10,93
12,5/8	125	80	7	11,0	3,7	14,06	226,53	26,67	4,01	73,73	11,89	2,29	43,40	9,96	1,76	1,80	4,01	74,70	0,407	11,04
			8			15,98	225,62	30,26	4,00	80,95	13,47	2,28	48,82	11,25	1,75	1,84	4,05	84,10	0,406	12,58
			10			19,70	311,61	37,27	3,98	100,47	16,52	2,26	59,33	13,74	1,74	1,92	4,14	102,00	0,404	15,47
			12			23,36	364,79	44,07	3,95	116,84	19,46	2,24	69,47	16,11	1,72	2,00	4,22	118,00	0,400	18,34
14/9	140	90	8	12,0	4,0	18,00	363,68	38,25	4,49	119,79	17,19	2,58	70,27	14,39	1,58	2,03	4,49	121,00	0,411	14,13
			10			22,24	444,45	47,19	4,47	145,54	21,14	2,58	85,51	17,58	1,96	2,12	4,58	147,00	0,409	17,46
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	894,19	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	100	10			28,33	952,28	78,59	5,80	276,37	32,27	3,12	165,44	26,96	2,42	2,44	5,88	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	1449,02	107,31	6,45	446,36	45,98	3,58	263,84	38,27	2,75	2,79	6,50	456,00	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	39,39
			18																	

ГОСТ 8239-89 ДВУТАВРЫ СТАЛЬНЫЕ ГОРЯЧЕКАТАНЫЕ



Номер двутавра	Размеры						Площадь поперечного сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Справочные значения для осей						
	h	b	s	t	R	r			x-x				y-y		
					не более				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
					мм										
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	15,90	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
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
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
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	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7	66,50	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09
50	500	170	10,0	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	11,0	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	12,0	17,8	20,0	8,0	138,0	108,00	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54

ГОСТ 26020-83
ДВУТАВРЫ СТАЛЬНЫЕ ГОРЯЧЕКАТАНЫЕ
С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ГРАНЯМИ ПОЛОК



Номер про- филя	мм					Пло- щадь сече- ния, см ²	Линей- ная плот- ность, кг/м	Справочные величины для осей						
	h	b	s	t	r			x-x				y-y		
								I_{x^0} см ⁴	W_{x^0} см ³	S_{x^0} см ³	i_{x^0} см	I_{y^0} см ⁴	W_{y^0} см ³	i_{y^0} см
Нормальные двутавры														
10Б1	100	55	4,1	5,7	7	10,32	8,1	17,1	34,2	19,7	4,07	15,9	5,8	1,24
12Б1	117,6	64	3,8	5,1	7	11,03	8,7	257	43,8	24,9	4,83	22,4	7,0	1,42
12Б2	120	64	4,4	6,3		13,21	10,4	318	53,0	30,4	4,90	27,7	8,6	1,45
14Б1	137,4	73	3,8	5,6	7	13,39	10,5	435	63,3	35,8	5,70	36,4	10,0	1,65
14Б2	140	73	4,7	6,9		16,43	12,9	541	77,3	44,2	5,74	44,9	12,3	1,65
16Б1	157	82	4,0	5,9	9	16,18	12,7	689	87,8	49,5	6,53	54,4	13,3	1,83
16Б2	160	82	5,0	7,4		20,09	15,8	869	108,7	61,9	6,58	68,3	16,6	1,84
18Б1	177	91	4,3	6,5	9	19,58	15,4	1063	120,1	67,7	7,37	81,9	18,0	2,04
18Б2	180	91	5,3	8,0		23,95	18,8	1317	146,3	83,2	7,41	100,8	22,2	2,05
20Б1	200	100	5,6	8,5	12	28,49	22,4	1943	194,3	110,3	8,26	142,3	28,5	2,23
23Б1	230	110	5,6	9,0	12	32,91	25,8	2996	260,5	147,2	9,54	200,3	36,4	2,47
26Б1	258	120	5,8	8,5	12	35,62	28,0	4024	312,0	176,6	10,63	245,6	40,9	2,63
26Б2	261	120	6,0	10,0		39,70	31,2	4654	356,6	201,5	10,83	288,8	48,1	2,70
30Б1	296	140	5,8	8,5	15	41,92	32,9	6328	427,0	240,0	12,29	390,0	55,7	3,05
30Б2	299	140	6,0	10,0		46,67	36,6	7293	487,8	273,8	12,50	458,6	65,5	3,13
35Б1	346	155	6,2	8,5	18	49,53	38,9	10060	581,7	328,6	14,25	529,6	68,3	3,27
35Б2	349	155	6,5	10,0		55,17	43,3	11550	662,2	373,0	14,47	622,9	80,4	3,36
40Б1	392	165	7,0	9,5	21	61,25	48,1	15750	803,6	456,0	16,03	714,9	86,7	3,42
40Б2	396	165	7,5	11,5		69,72	54,7	18530	935,7	529,7	16,30	865,0	104,8	3,52
45Б1	443	180	7,8	11,0	21	76,23	59,8	24940	1125,8	639,5	18,09	1073,7	119,3	3,75
45Б2	447	180	8,4	13,0		85,96	67,5	28870	1291,9	732,9	18,32	1269,0	141,0	3,84
50Б1	492	200	8,8	12,0	21	92,98	73,0	37160	1511,0	860,4	19,99	1606,0	160,6	4,16
50Б2	496	200	9,2	14,0		102,80	80,7	42390	1709,0	970,2	20,30	1873,0	187,3	4,27
55Б1	543	220	9,5	13,5	24	113,37	89,0	55680	2051,0	1165,0	22,16	2404,0	218,6	4,61
55Б2	547	220	10,0	15,5		124,75	97,9	62790	2296,0	1302,0	22,43	2760,0	250,9	4,70
60Б1	593	230	10,5	15,5	24	135,26	106,2	78760	2656,0	1512,0	24,13	3154,0	274,3	4,83
60Б2	597	230	11,0	17,5		147,30	115,6	87640	2936,0	1669,0	24,39	3561,0	309,6	4,92
70Б1	691	260	12,0	15,5	24	164,70	129,3	125930	3645,0	2095,0	27,65	4556,0	350,5	5,26
70Б2	697	260	12,5	18,5		183,60	144,2	145912	4187	2393,0	28,19	5437,0	418,2	5,44
80Б1	791	280	13,5	17,0	26	203,20	159,5	199500	5044	2917,0	31,33	6244,0	446,0	5,54
80Б2	798	280	14,0	20,5		226,60	177,9	232200	5820	3343,0	32,01	7527,0	537,6	5,76
90Б1	898	300	15,0	18,5	30	247,10	194,0	304400	6817	3964,0	35,09	8365,0	557,6	5,82
90Б2	900	300	15,5	22,0		272,40	213,8	349200	7760	4480,0	35,80	9943,0	662,8	6,04
100Б1	990	320	16,0	21,0	30	293,82	230,6	446000	9011	5234,0	38,96	11520,0	719,9	6,26
100Б2	998	320	17,0	25,0		328,90	258,2	516400	10350	5980,0	39,62	13710,0	856,9	6,46
100Б3	1006	320	18,0	29,0		364,00	285,7	587700	11680	6736,0	40,18	15900,0	993,9	6,61
100Б4	1013	320	19,5	32,5		400,60	314,5	655400	12940	7470,0	40,45	17830,0	1114,3	6,67

Номер про- филя	мм					Пло- щадь сече- ния, см ²	Линей- ная плот- ность, кг/м	Справочные величины для осей						
	h	b	s	t	r			x—x				y—y		
								I _x , см ⁴	W _x , см ³	S _x , см ³	i _x , см	I _y , см ⁴	W _y , см ³	i _y , см
Широкополочные двутавры														
20Ш1	193	150	6,0	9,0	13	38,95	30,6	2660	275	153	8,26	507	67,6	3,61
23Ш1	226	155	6,5	10,0	14	46,08	36,2	4260	377	210	9,62	622	80,2	3,67
26Ш1	251	180	7,0	10,0	16	54,37	42,7	6225	496	276	10,70	974	108,2	4,23
26Ш2	255	180	7,5	12,0		62,73	49,2	7429	583	325	10,88	1168	129,8	4,31
30Ш1	291	200	8,0	11,0	18	68,31	53,6	10400	715	398	12,34	1470	147,0	4,64
30Ш2	295	200	8,5	13,0		77,65	61,0	12200	827	462	12,53	1737	173,7	4,73
30Ш3	299	200	9,0	15,0		87,00	68,3	14040	939	526	12,70	2004	200,4	4,80
35Ш1	338	250	9,5	12,5	20	95,67	75,1	19790	1171	651	14,38	3260	261	5,84
35Ш2	341	250	10,0	14,0		104,74	82,2	22070	1295	721	14,52	3650	292	5,90
35Ш3	345	250	10,5	16,0		116,30	91,30	25140	1458	813	14,70	4170	334	5,99
40Ш1	388	300	9,5	14,0	22	122,40	96,1	34360	1771	976	16,76	6306	420	7,18
40Ш2	392	300	11,5	16,0		141,60	111,1	39700	2025	1125	16,75	7209	481	7,14
40Ш3	396	300	12,5	18,0		157,20	123,4	44740	2260	1259	16,87	8111	541	7,18
50Ш1	484	300	11,0	15,0	26	145,70	114,4	60930	2518	1403	20,45	6762	451	6,81
50Ш2	489	300	14,5	17,5		176,60	138,7	72530	2967	1676	20,26	7900	526	6,69
50Ш3	495	300	15,5	20,5		199,20	156,4	84200	3402	1923	20,56	9250	617	6,81
50Ш4	501	300	16,5	23,5		221,70	174,1	96150	3838	2173	20,82	10600	707	6,92
60Ш1	580	320	12,0	17,0	28	181,10	142,1	107300	3701	2068	24,35	9302	581	7,17
60Ш2	587	320	16,0	20,5		225,30	176,9	131800	4490	2544	24,19	11230	702	7,06
60Ш3	596	320	18,0	24,5		261,80	205,5	156900	5273	2997	24,48	13420	839	7,16
60Ш4	603	320	20,0	28,5		298,34	234,2	182500	6055	3455	24,73	15620	976	7,23
70Ш1	683	320	13,5	19,0	30	216,40	169,9	172000	5036	2843	28,19	10400	650	6,93
70Ш2	691	320	15,0	23,0		251,70	197,6	205500	5949	3360	28,58	12590	787	7,07
70Ш3	700	320	18,0	27,5		299,80	235,4	247100	7059	4017	28,72	15070	942	7,09
70Ш4	708	320	20,5	31,5		341,60	268,1	284400	8033	4598	28,85	17270	1079	7,11
70Ш5	718	320	23,0	36,5		389,7	305,9	330600	9210	5298	29,13	20020	1251	7,17
Колонные двутавры														
20К1	195	200	6,5	10,0	13	52,82	41,5	3820	392	216	8,50	1334	133	5,03
20К2	198	200	7,0	11,5		59,70	46,9	4422	447	247	8,61	1534	153	5,07
23К1	227	240	7,0	10,5	14	66,51	52,2	6589	580	318	9,95	2421	202	6,03
23К2	230	240	8,0	12,0		75,77	59,5	7601	661	365	10,02	2766	231	6,04
26К1	255	260	8,0	12,0	16	83,08	65,2	10300	809	445	11,14	3517	271	6,51
26К2	258	260	9,0	13,5		93,19	73,2	11700	907	501	11,21	3957	304	6,52
26К3	262	260	10,0	15,5		105,90	83,1	13560	1035	576	11,32	4544	349	6,55
30К1	296	300	9,0	13,5	18	108,00	84,8	18110	1223	672	12,95	6079	405	7,50
30К2	304	300	10,0	15,5		122,70	96,3	20930	1395	771	13,06	6980	465	7,54
30К3	300	300	11,5	17,5		138,72	108,9	23910	1573	874	13,12	7881	525	7,54
35К1	343	350	10,0	15,0	20	139,70	109,7	31610	1843	1010	15,04	10720	613	8,76
35К2	348	350	11,0	17,5		160,40	125,9	37090	2132	1173	15,21	12510	715	8,83
35К3	353	350	13,0	20,0		184,10	144,5	42970	2435	1351	15,28	14300	817	8,81
40К1	393	400	11,0	16,5	22	175,80	138,0	52400	2664	1457	17,26	17610	880	10,00
40К2	400	400	13,0	20,0		210,96	165,6	64140	3207	1767	17,44	21350	1067	10,06
40К3	409	400	16,0	24,5		257,80	202,3	80040	3914	2180	17,62	26150	1307	10,07
40К4	419	400	19,0	29,5		308,60	242,2	98340	4694	2642	17,85	31500	1575	10,10
40К5	431	400	23,0	35,5		371,00	291,2	121570	5642	3217	18,10	37910	1896	10,11

ГОСТ 8240-97 ШВЕЛЛЕРЫ СТАЛЬНЫЕ ГОРЯЧЕКАТАНЫЕ

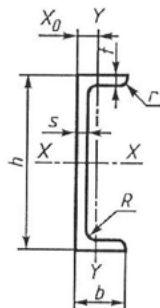


Рис. П1

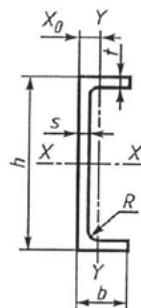


Рис. П2

Таблица П1

Швеллеры с уклоном внутренних граней полок (рис. П1)

Номер швеллера серии У	h	b	s	t	R	r	Площадь поперечного сечения F , см ²	Масса 1 м, кг	Справочные значения для осей							X_0 , см
					не более				$X-X$				$Y-Y$			
									I_x , см ⁴	W_{x_3} , см ³	i_x , см	S_x , см ³	I_y , см ⁴	W_{y_3} , см ³	i_y , см	
мм																
5У	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
6,5У	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
8У	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	23,30	12,80	4,75	1,19	1,31
10У	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
12У	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
14У	140	58	4,9	8,1	8,0	3,0	15,60	12,30	491,0	70,2	5,60	40,80	45,40	11,00	1,70	1,67
16У	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
16аУ	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
18У	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
18аУ	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
20У	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
22У	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
24У	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
27У	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
30У	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
33У	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
36У	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
40У	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

Таблица П2

Швеллеры с параллельными гранями полок (рис. П2)

Номер швел- лера серии П	h	b	s	t	R	r	Пло- щадь попе- речного сечения F , см ²	Масса 1 м, кг	Справочные значения для осей								X_0 , см
					не более				$X-X$				$Y-Y$				
									I_x , см ⁴	W_{x_y} , см ³	i_x , см	S_x , см ³	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см		
мм									I_x , см ⁴	W_{x_y} , см ³	i_x , см	S_x , см ³	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см		
5П	50	32	4,4	7,0	6,0	3,5	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,61	5,95	2,99	0,98	1,21	
6,5П	65	36	4,4	7,2	6,0	3,5	7,51	5,90	48,8	15,0	2,55	9,02	9,35	4,06	1,12	1,29	
8П	80	40	4,5	7,4	6,5	3,5	8,98	7,05	89,8	22,5	3,16	13,30	13,90	3,31	1,24	1,38	
10П	100	46	4,5	7,6	7,0	4,0	10,90	8,59	175,0	34,9	3,99	20,50	22,60	7,37	1,44	1,53	
12П	120	52	4,8	7,8	7,5	4,5	13,30	10,40	305,0	50,8	4,79	29,70	34,90	9,84	1,62	1,66	
14П	140	58	4,9	8,1	8,0	4,5	15,60	12,30	493,0	70,4	5,61	40,90	51,50	12,90	1,81	1,82	
16П	160	64	5,0	8,4	8,5	5,0	18,10	14,20	750,0	93,8	6,44	54,30	72,80	16,40	2,00	1,97	
16аП	160	68	5,0	9,0	8,5	5,0	19,50	15,30	827,0	103,0	6,51	59,50	90,50	19,60	2,15	2,19	
18П	180	70	5,1	8,7	9,0	5,0	20,70	16,30	1090,0	121,0	7,26	70,00	100,00	20,60	2,20	2,14	
18аП	180	74	5,1	9,3	9,0	5,0	22,20	17,40	1200,0	133,0	7,34	76,30	123,00	24,30	2,35	2,36	
20П	200	76	5,2	9,0	9,5	5,5	23,40	18,40	1530,0	153,0	8,08	88,00	134,00	25,20	2,39	2,30	
22П	220	82	5,4	9,5	10,0	6,0	26,70	21,00	2120,0	193,0	8,90	111,00	178,00	31,00	2,58	2,47	
24П	240	90	5,6	10,0	10,5	6,0	30,60	24,00	2910,0	243,0	9,75	139,00	248,00	39,50	2,85	2,72	
27П	270	95	6,0	10,5	11,0	6,5	35,20	27,70	4180,0	310,0	10,90	178,00	314,00	46,70	2,99	2,78	
30П	300	100	6,5	11,0	12,0	7,0	40,50	31,80	5830,0	389,0	12,00	224,00	393,00	54,80	3,12	2,83	
33П	330	105	7,0	11,7	13,0	7,5	46,50	36,50	8010,0	486,0	13,10	281,00	491,00	64,60	3,25	2,90	
36П	360	110	7,5	12,6	14,0	8,5	53,40	41,90	10850,0	603,0	14,30	350,00	611,00	76,30	3,38	2,99	
40П	400	115	8,0	13,5	15,0	9,0	61,50	48,30	15260,0	763,0	15,80	445,00	760,00	89,90	3,51	3,05	

Таблица П3

Швеллеры экономичные с параллельными гранями полок (рис. П2)

Номер швеллера серии Э	h	b	s	t	R	r	Площадь поперечного сечения F , см ²	Масса 1 м, кг	Справочные значения для осей							X_0 , см
					не более				$X-X$				$Y-Y$			
					мм				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	
5Э	50	32	4,2	7,0	6,5	2,5	6,10	4,79	22,9	9,17	1,94	5,62	6,02	3,05	0,993	1,23
6,5Э	65	36	4,2	7,2	6,5	2,5	7,41	5,82	48,9	15,05	2,57	9,02	9,42	4,13	1,127	1,32
8Э	80	40	4,2	7,4	7,5	2,5	8,82	6,92	90,0	22,50	3,19	13,31	13,93	5,38	1,257	1,41
10Э	100	46	4,2	7,6	9,0	3,0	10,79	8,47	175,9	35,17	4,04	20,55	22,68	7,47	1,450	1,56
12Э	120	52	4,5	7,8	9,5	3,0	13,09	10,24	307,0	51,17	4,84	29,75	35,12	10,03	1,638	1,70
14Э	140	58	4,6	8,1	10,0	3,0	15,41	12,15	495,7	70,81	5,67	40,96	51,76	13,13	1,833	1,86
16Э	160	64	4,7	8,4	11,0	3,5	17,85	14,01	755,5	94,43	6,50	54,41	73,17	16,70	2,024	2,02
18Э	180	70	4,8	8,7	11,5	3,5	20,40	16,01	1097,9	121,99	7,34	70,05	100,51	20,87	2,219	2,18
20Э	200	76	4,9	9,0	12,0	4,0	23,02	18,07	1537,1	153,71	8,17	88,03	134,07	25,54	2,413	2,35
22Э	220	82	5,1	9,5	13,0	4,0	26,36	20,69	2134,2	194,02	9,00	111,00	179,05	31,54	2,606	2,52
24Э	240	90	5,3	10,0	13,0	4,0	30,19	23,69	2927,0	243,92	9,85	139,08	249,03	40,07	2,872	2,78
27Э	270	95	5,8	10,5	13,0	4,5	34,87	27,37	4200,2	311,12	10,97	178,25	316,24	47,43	3,011	2,83
30Э	300	100	6,3	11,0	13,0	5,0	39,94	31,35	5837,1	389,14	12,09	224,00	395,57	55,58	3,147	2,88
33Э	330	105	6,9	11,7	13,0	5,0	46,15	36,14	8021,8	488,17	13,18	281,23	497,02	65,78	3,282	2,94
36Э	360	110	7,4	12,6	14,0	6,0	52,90	41,53	10864,5	603,58	14,33	350,05	618,92	77,76	3,420	3,04
40Э	400	115	7,9	13,5	15,5	6,0	61,11	47,97	15307,9	765,40	15,83	445,41	770,89	91,80	3,552	3,10

К РАСЧЕТУ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Таблица П2.1

Типы сечений (СП 16.13330.2017)

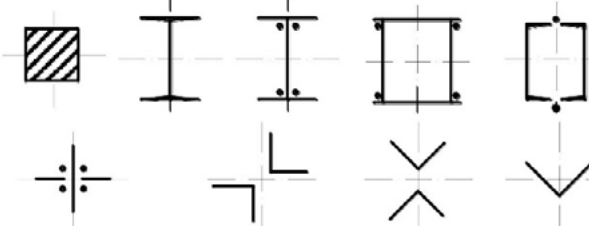
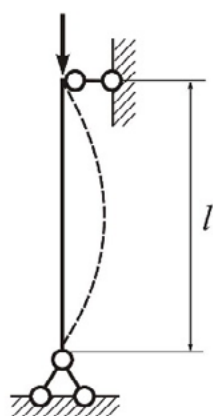
Тип сечения		Значение коэффициента	
обозначение	форма	α	β
a		0,03	0,06
b		0,04	0,09
c		0,04	0,14
Примечания 1 Для прокатных двутавров высотой свыше 500 мм при расчете на устойчивость в плоскости стенок следует принимать тип сечения a. 2 Для прокатных двутавров при расчете на устойчивость в плоскости меньшей жесткости следует принимать тип сечения c.			

Таблица П2.2

Коэффициенты φ для расчета на устойчивость (СП 16.13330.2017)

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициенты φ для типа сечения			Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициенты φ для типа сечения		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
0,4	1000	1000	984	4,6	359		329
0,6	994	986	956	4,8	330		308
0,8	981	967	929	5,0	304		289
1,0	968	948	901	5,2	281		271
1,2	953	927	872	5,4	261		255
1,4	938	905	842	5,6	242		241
1,6	920	881	811	5,8		226	
1,8	900	855	778	6,0		211	
2,0	877	826	744	6,2		198	
2,2	851	794	709	6,4		186	
2,4	821	760	672	6,6		174	
2,6	786	723	635	6,8		164	
2,8	747	683	598	7,0		155	
3,0	704	643	562	7,2		147	
3,2	660	602	527	7,4		139	
3,4	616	562	493	7,6		132	
3,6	572	524	460	7,8		125	
3,8	526	487	430	8,0		119	
4,0	475	453	402	8,5		105	
4,2	431	422	375	9,0		094	
4,4	393	392	351	9,5		084	
				10,0		076	
Примечание — Значения коэффициентов φ в таблице увеличены в 1000 раз.							

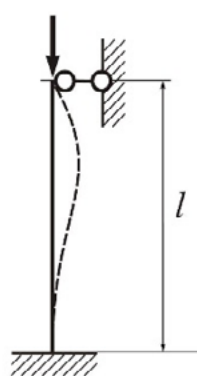
Значения коэффициентов приведения длины μ



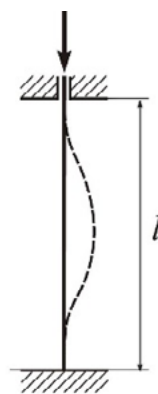
$$\mu = 1$$



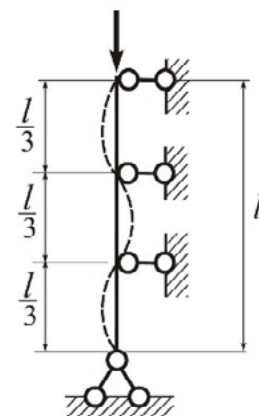
$$\mu = 2$$



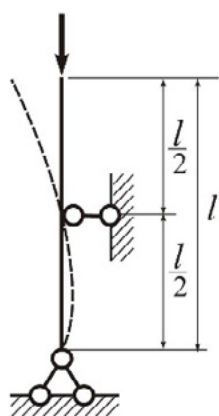
$$\mu = 0,7$$



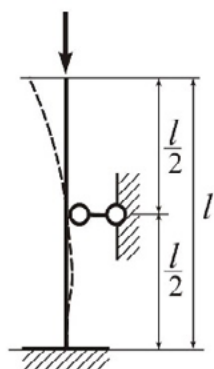
$$\mu = 0,5$$



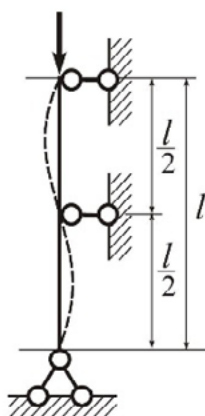
$$\mu = \frac{1}{3}$$



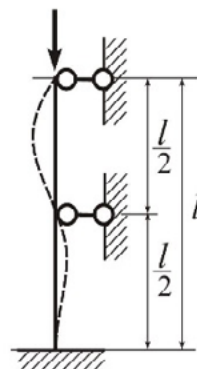
$$\mu = 1,35$$



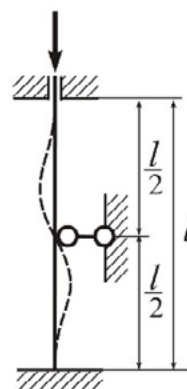
$$\mu = 1,26$$



$$\mu = 0,5$$



$$\mu = 0,44$$



$$\mu = 0,35$$

Библиографический список

1. Андреев В.И. Техническая механика : учебник для подготовки бакалавров по направлению 270800 «Строительство» / В.И. Андреев, А.Г. Паушкин, А.Н. Леонтьев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Изд-во АСВ, 2013. — 251 с. — ISBN 978-5-93093-867-8.
2. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности : учебник для вузов / Г.С. Варданян, В.И. Андреев, Н.М. Атаров, А.А. Горшков ; под ред. Г.С. Варданяна, Н.М. Атарова. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Инфра-М, 2013. — 637 с. — ISBN 978-5-16-003872-8.
3. Варданян Г.С. Сопротивление материалов (с основами строительной механики) : учебник для вузов / Г.С. Варданян, Н.М. Атаров, А.А. Горшков ; под ред. Г.С. Варданяна, Н.М. Атарова. — 2-е изд., испр. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 416 с. — ISBN 978-5-16-010220-7.
4. Атаров Н.М. Сопротивление материалов в примерах и задачах: учебное пособие для вузов / Н.М. Атаров. — 2-е изд., испр. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 407 с. — ISBN 978-5-16-003871-1.
5. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 декабря 2014 г. № 1974-ст и введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2015 г. : введен впервые : дата введения 2015-07-01 / подготовлен Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр “Строительство”» (ОАО «НИЦ “Строительство”») — Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций имени В.А. Кучеренко (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко). — Москва : Стандартинформ, 2015. — 16 с.
6. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. № 891/пр и введен в действие с 4 июня 2017 г. : введен впервые : дата введения 2017-06-04 / исполнители — ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «НИЦ “Строительство”» при участии ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова». — Москва : Минстрой России, 2019. — 95 с.
7. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 126/пр и введен в действие с 28 августа 2017 г. : введен впервые : дата введения 2017-08-28 / исполнители — АО «НИЦ “Строительство”» — ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, МГСУ, СПбГАСУ. — Москва : Минстрой России, 2017. — 151 с.
8. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 129/пр и введен в действие с 28 августа 2017 г. : введен впервые : дата введения 2017-08-28 / исполнители — АО «НИЦ “Строительство”» — ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. — Москва : Стандартинформ, 2017. — 105 с.
9. СП 128.13330.2016. Алюминиевые конструкции : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 948/пр и введен в действие с 17 июня 2017 г. : введен впервые : дата введения АО «НИЦ “Строительство”» — ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, институт ЦНИИПСК им. Мельникова, ЗАО «МЕТАКОН ЦЕНТР». — Москва : Минстрой России, 2017. — 86 с.
10. Ильяшенко А.В. Центральное растяжение и сжатие стержней в тестах : методические указания к самостоятельной работе студентов / А.В. Ильяшенко, А.Я. Астахова. — Москва : МГСУ, 2013. — 52 с.
11. Ильяшенко А.В. Геометрические характеристики поперечных сечений стержней в тестах : учебное пособие / А.В. Ильяшенко, А.Я. Астахова. — Москва : МГСУ, 2014. — 68 с. — ISBN 978-5-7264-1726-4.
12. Ильяшенко А.В. Внутренние усилия и напряжения при прямом изгибе стержней в тестах : учебное пособие / А.В. Ильяшенко, А.Я. Астахова. — Москва : МГСУ, 2014. — 82 с. — ISBN 978-5-7264-0847-7.
13. Ильяшенко А.В. Перемещение в балках и рамах при прямом изгибе в тестах : учебное пособие / А.В. Ильяшенко, А.Я. Астахова. — Москва : МГСУ, 2015. — 83 с. — ISBN: 978-5-7264-1084-5.

14. ГОСТ 8239-89. Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент : государственный стандарт Союза ССР : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27.09.89 № 2940 : введен впервые : дата введения 1990-07-01 / подготовлен Министерством черной металлургии СССР, ГОССТРОЕМ СССР, Центральным научно-исследовательским институтом строительных конструкций. — Москва : ИПК Издательство стандартов, 2001. — 4 с.

15. ГОСТ 8240-97. Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 5 апреля 2001 г. № 166-ст и введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта Российской Федерации с 1 января 2002 г. : введен впервые : дата введения 2002-01-01 / подготовлен Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 327. — Москва : Стандартиформ, 2008. — 21 с.

16. ГОСТ 8509-93. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : дата введения 1997-01-01. — URL: https://pkd-steel.by/images/gost_8509-93.pdf (дата обращения: 20.05.2023). — Текст : электронный.

17. ГОСТ 8510-86. Уголки стальные горячекатаные. Сортамент : государственный стандарт Союза ССР : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 15.10.86 № 3082 : введен впервые : дата введения 1987-07-01 / подготовлен Министерством черной металлургии СССР и Госстроем СССР. — Москва : Стандартиформ, 2012 г. — 6 с.

18. ГОСТ 26020-83. Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент : государственный стандарт Союза ССР : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 17 декабря 1983 г. : введен впервые : дата введения 01.01.86. — Москва : Стандартиформ, 2012 г. — 11 с.