

Сибирский государственный университет путей сообщения

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Часть I

3-е издание, переработанное и дополненное

Новосибирск

2019

УКД 539.8 (076.1)

ББК 30.121я73

С 232

Сборник задач по сопротивлению материалов. Ч. I/

С232 Агуленко В.Н., Круглов А.И., Маслов Е.Б., Тихомиров В.М., Шабанов А.П., Шушунов В.В. 3-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2019, – 76 с.

ISBN 978-5-00148-002-0

Разработан преподавателями кафедры «Строительная механика» СГУПС. Содержит условия и расчетные схемы задач, указания по выбору исходных данных, правила выполнения и оформления заданий, а также физико-механические характеристики некоторых конструкционных материалов, таблицы сортиментов стального проката и библиографический список.

Предназначен для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Сопротивление материалов», обучающихся по всем направлениям специалитета и бакалавриата.

УКД 539.8 (076.1)

ББК 30.121я73

Рассмотрен и рекомендован к изданию на заседании кафедры «Строительная механика».

Ответственный редактор
д-р техн. наук, *В.М. Тихомиров*

Рецензент
доцент кафедры «Теоретическая механика» СГУПС,
канд. техн. наук *В.Б. Зиновьев*

ISBN 978-5-00148-002-0

Предисловие

В сборнике содержатся многовариантные задачи по первой части курса «Сопротивление материалов», предназначенные для самостоятельной работы студентов. Набор задач, номер варианта (расчетной схемы) и сроки выполнения сообщает студентам преподаватель. Значения (исходные данные) для своего варианта студент выбирает сам по таблицам, которые прилагаются к каждой задаче. При выборе данных студент использует начальную букву своего имени и буквы фамилии. Короткая фамилия для получения нужного набора ключевых букв повторяется, а длинная обрывается. Выбор исходных данных оформляется в виде таблицы, которая располагается на первом листе при оформлении решения задачи. Ниже дается пример выбора исходных данных к задаче 1 для студента С. Ивлева.

С.	И	в	л	е	в	С.	И	в	л	е	в
a , см	b , см	c , см	P_1 , кН	P_2 , кН	P_3 , кН	A , см ²	не используются				
90	60	40	80	70	40	15					

Исходные данные (размеры, величина нагрузки) наносятся на чертеж (расчетную схему) в числовом виде. Для удобства решения обозначения, приведенные в условии можно изменять. Например, в задаче 1 для обозначения длины участков вместо a , b , c можно ввести логически более удобные обозначения l_1 , l_2 , l_3 .

Приведена общая информация: латинский и греческий алфавит, перечень обозначений основных величин и их размерность, единицы измерения механических величин в Международной системе единиц (СИ), которая используется при решении задач.

В приложении содержатся справочные данные по физико-механическим характеристикам материалов и таблицы сортамента стального проката, необходимые для решения задач.

В прил. А и Б содержатся справочные данные по физико-механическим характеристикам материалов и таблицы сортамента стального проката, необходимые для решения задач.

В библиотеке университета имеется обширный набор учебно-методической литературы, которая поможет в освоении учебного материала и при решении задач. Список рекомендуемой литературы приведен в конце этого сборника.

Общие правила выполнения и оформления заданий

1. Номера задач, их варианты, сроки выполнения и защиты заданий выдает преподаватель.

2. Решение каждой задачи необходимо начинать с новой страницы. В начале первой страницы помещается: номер задачи, вариант и таблица исходных данных.

3. Расчеты оформляются чернилами от руки. Чертежи выполняются по линейке с указанием необходимых для расчета размеров, соблюдая масштаб.

4. Часть чертежей по указанию преподавателя выполняется на чертежной или миллиметровой бумаге.

5. Физико-механические характеристики материалов, необходимые для решения задач, студент выбирает самостоятельно, руководствуясь условием задачи и приложениями, приведенными в конце сборника.

6. Каждый этап решения задачи должен быть озаглавлен.

7. При оформлении вычислений сначала записывается формула, затем в нее подставляются исходные и расчетные данные, переведенные в единицы измерения системы СИ, и определяется результат с обязательным указанием его размерности. Промежуточные вычисления приводятся лишь при сложных преобразованиях. Все значения округляются до 3 значащей цифры.

8. Решение задач заканчивается ответом (выводом).

Латинский алфавит		
Буква		Название
прописная	строчная	
A	a	а
B	b	бэ
C	c	цэ
D	d	дэ
E	e	э
F	f	эф
G	g	же
H	h	аш
I	i	и
J	j	йот/жи
K	k	ка
L	l	эл
M	m	эм
N	n	эн
O	o	о
P	p	пэ
Q	q	ку
R	r	эр
S	s	эс
T	t	тэ
U	u	у
V	v	вэ
W	w	дубль-вэ
X	x	икс
Y	y	игрек
Z	z	зет/зета

Греческий алфавит		
Буква		Название
прописная	строчная	
Α	α	альфа
Β	β	бета
Γ	γ	гамма
Δ	δ	дельта
Ε	ε	эпсилон
Ζ	ζ	дзета
Η	η	эта
Θ	θ	тэта
Ι	ι	йота
Κ	κ	каппа
Λ	λ	лямбда
Μ	μ	мю
Ν	ν	ню
Ξ	ξ	кси
Ο	ο	омикрон
Π	π	пи
Ρ	ρ	ро
Σ	σ	сигма
Τ	τ	тау
Υ	υ	ипсилон
Φ	φ	фи
Χ	χ	хи
Ψ	ψ	пси
Ω	ω	омега

Обозначение величин и их единицы измерения

	Обозначение	Наименование величины	Единицы международной системы (СИ)
Геометрические характеристики	b, h, d, l	Линейные размеры	м
	A	Площадь	м ²
	S_z, S_y	Статические моменты площади относительно осей z и y	м ³
	J_z, J_y	Осевые моменты инерции сечения относительно осей z и y	м ⁴
	J_p	Полярный момент инерции сечения	м ⁴
	J_{zy}	Центробежный момент инерции сечения относительно осей z, y	м ⁴
	W_z	Момент сопротивления сечения относительно оси z	м ³
	W_p	Полярный момент сопротивления сечения	м ³
Нагрузки	P, F	Сосредоточенная сила	Н (ньютон)
	q	Интенсивность нагрузки, распределенной по линии	Н/м
	p	Интенсивность нагрузки, распределенной по площади	Н/м ² , Па (паскаль)
	m	Сосредоточенный момент (пара сил)	Н·м
Внутренние усилия	N	Продольная сила	Н
	Q_z, Q_y	Поперечные силы, действующие вдоль осей z и y	Н
	M_z, M_y	Изгибающие моменты относительно осей z и y	Н·м
	$M_{кр}$	Крутящий момент	Н·м
Напряжения	σ	Нормальное напряжение	Па
	τ	Касательное напряжение	Па
	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Главные напряжения – объемное напряженное состояние	Па
	$\sigma_{max}, \sigma_{min}$	Главные напряжения – плоское напряженное состояние	Па
Механические характеристики материалов	γ	Удельный вес материала	Н/м ³
	α	Температурный коэффициент линейного расширения	1/град
	E	Модуль упругости (модуль Юнга)	Па
	G	Модуль сдвига	Па
	ν	Коэффициент Пуассона	–
	$\sigma_{пц}$	Предел пропорциональности	Па
	$\sigma_T (\sigma_v)$	Предел текучести	Па
	$\sigma_B (\sigma_u)$	Предел прочности (временное сопротивление)	Па
Расчетные сопротивления	R_y	Расчетное сопротивление на растяжение по пределу текучести	Па
	R_s	Расчетное сопротивление на сдвиг (срез)	Па
	R_p	Расчетное сопротивление на смятие	Па
	$R_{пс}$	Расчетное сопротивление сварного шва на срез	Па
	R_b	Расчетное сопротивление бетона на сжатие	Па
	$[\sigma]$	Допускаемое нормальное напряжение	Па
	$[\tau]$	Допускаемое касательное напряжение	Па
Деформации	Δl	Изменение длины (удлинение), абсолютная деформация	м
	ε	Относительная линейная деформация	–
	γ	Угловая деформация (угол сдвига),	рад (радиан)
	φ	Угол поворота (закручивания) сечения	рад (радиан)
	θ	Относительный угол закручивания	рад/м
	δ	Перемещение точки (сечения)	м
	u	Перемещение по оси x	м
	v	Перемещение по оси y	м
	w	Перемещение по оси z	м

Программа теоретического курса «Сопротивление материалов». Часть I

1. Основные гипотезы и допущения, принятые в курсе «Сопротивление материалов».
2. Механические свойства материалов – деформативность, упругость, пластичность, изотропность, анизотропность и однородность.
3. Внутренние усилия и порядок их определения в поперечном сечении стержня. Классификация простых деформаций стержня: растяжение/сжатие, сдвиг, кручение и изгиб.
4. Механические характеристики материалов: характеристики упругости, прочности и пластичности. Диаграммы растяжения/сжатия пластичных и хрупких материалов.
5. Растяжение/сжатие стержней. Определение продольной силы. Нормальные напряжения, действующие в поперечном сечении стержня. Абсолютная и относительная деформации. Закон Гука, зависимость поперечных относительных деформаций от продольных, коэффициент Пуассона.
6. Методы расчета на прочность стержней – расчет по допускаемым напряжениям и предельному состоянию. Условия прочности для пластичных и хрупких материалов.
7. Учет собственного веса при расчете стержней, испытывающих растяжение/сжатие.
8. Расчет статически неопределимых систем (СНС), элементы которых испытывают деформацию растяжение/сжатие.
9. Усилия в СНС от изменения температуры и неточности изготовления элементов.
10. Напряженное состояние (НС) в точке тела. Анализ линейного НС (одноосное растяжение/сжатие).
11. Анализ плоского НС (двуосное растяжение/сжатие): напряжения по наклонным площадкам, главные площадки и главные напряжения, экстремальные касательные напряжения.
12. Деформированное состояние в точке тела. Обобщенный и объемный законы Гука.
13. Деформация сдвига. Анализ НС и закон Гука при чистом сдвиге. Модуль сдвига G и его связь с модулем упругости E .
14. Практические расчеты на сдвиг: расчет болтовых, заклепочных и сварных соединений.

15. Геометрические характеристики плоских сечений: статические моменты; осевые, центробежный и полярный моменты инерции (МИ).

16. Моменты инерции сечений. Расчет МИ относительно параллельных и повернутых осей. Главные оси и главные моменты инерции.

17. Кручение стержней. Внутреннее усилие – крутящий момент $M_{кр}$. Определение касательных напряжений, действующих в стержнях (валах) круглого поперечного сечения. Определение угла закручивания сечения. Условия прочности и жесткости вала.

18. Прямой плоский поперечный изгиб балок. Внутренние усилия: изгибающий момент M и поперечная сила Q , правила их определения и построения эпюр M и Q . Дифференциальные зависимости при изгибе.

19. Определение нормальных напряжений, действующих в поперечном сечении балки при чистом изгибе.

20. Расчет балок на прочность: понятие момента сопротивления балки; условие прочности по нормальным напряжениям; подбор размеров поперечного сечения; определение грузоподъемности.

21. Определение касательных напряжений, действующих в поперечном сечении балки при плоском изгибе. Проверка прочности балки по касательным напряжениям.

22. Анализ напряженного состояния балки.

23. Расчет составных балок: клееных, сварных и клепанных.

1. Растяжение/сжатие стержня

1.1. Определение продольных сил, напряжений и деформаций

В учебнике [1] – глава 2, §§ 2,1 ÷ 2,4; в пособии [2] – стр. 10, 11.

Задача 1. Стальной стержень переменного поперечного сечения нагружен тремя силами P_1 , P_2 и P_3 .

Требуется:

1. Изобразить расчетную схему стержня, соблюдая масштаб линейных размеров. На схеме указать значения нагрузок и длины участков. Если имеются значения сил, помеченные звездочками (*), то необходимо изобразить расчетную схему снова, изменив направление этих сил на противоположное.

2. На каждом участке стержня определить значение продольной силы и построить эпюру N .

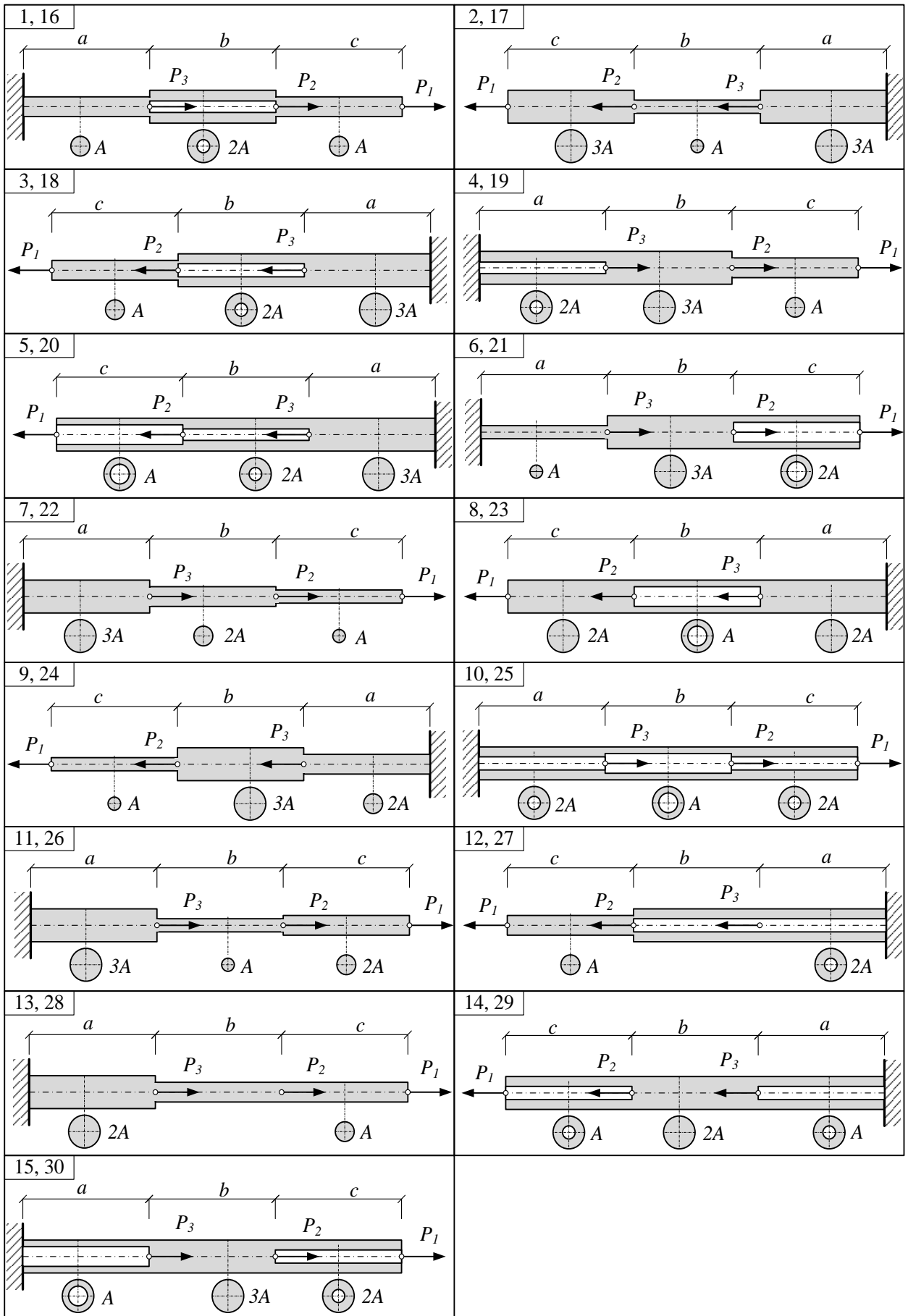
3. Определить нормальные напряжения, действующие в поперечных сечениях и построить эпюру σ .

4. Вычислить абсолютную деформацию каждого участка и изменение длины всего стержня. Принять модуль упругости стали $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

5. Построить эпюру перемещений сечений.

Алфавит	a , см	b , см	c , см	P_1 , кН	P_2 , кН	P_3 , кН	A , см ²
<i>а б в</i>	40	40	40	50	60*	40	10
<i>г д е ё</i>	50	50	50	60	70	50*	11
<i>ж з и й</i>	60	60	60	70	80*	60	12
<i>к л м</i>	70	70	70	80	90	70*	13
<i>н о п</i>	80	80	80	90	100*	80	14
<i>р с т</i>	90	90	90	100	110	90*	15
<i>у ф х</i>	100	100	100	110	120*	100	16
<i>ц ч ш щ</i>	105	105	105	120	130	110*	17
<i>ъ ы ь</i>	110	110	110	130	140*	120	18
<i>э ю я</i>	115	115	115	140	150	130*	19

Варианты расчетных схем



1.2. Расчет внутренних усилий, напряжений и перемещений в стержневых системах

В учебнике [1] – глава 2, §§ 2.1-2.4; в пособии [2]– стр. 14, 15.

Задача 2. Абсолютно жесткий рычаг прикреплен к основанию шарнирно-неподвижной опорой и стальным стержнем переменного сечения. Заданы нагрузки, длины участков и площади поперечных сечений стержней.

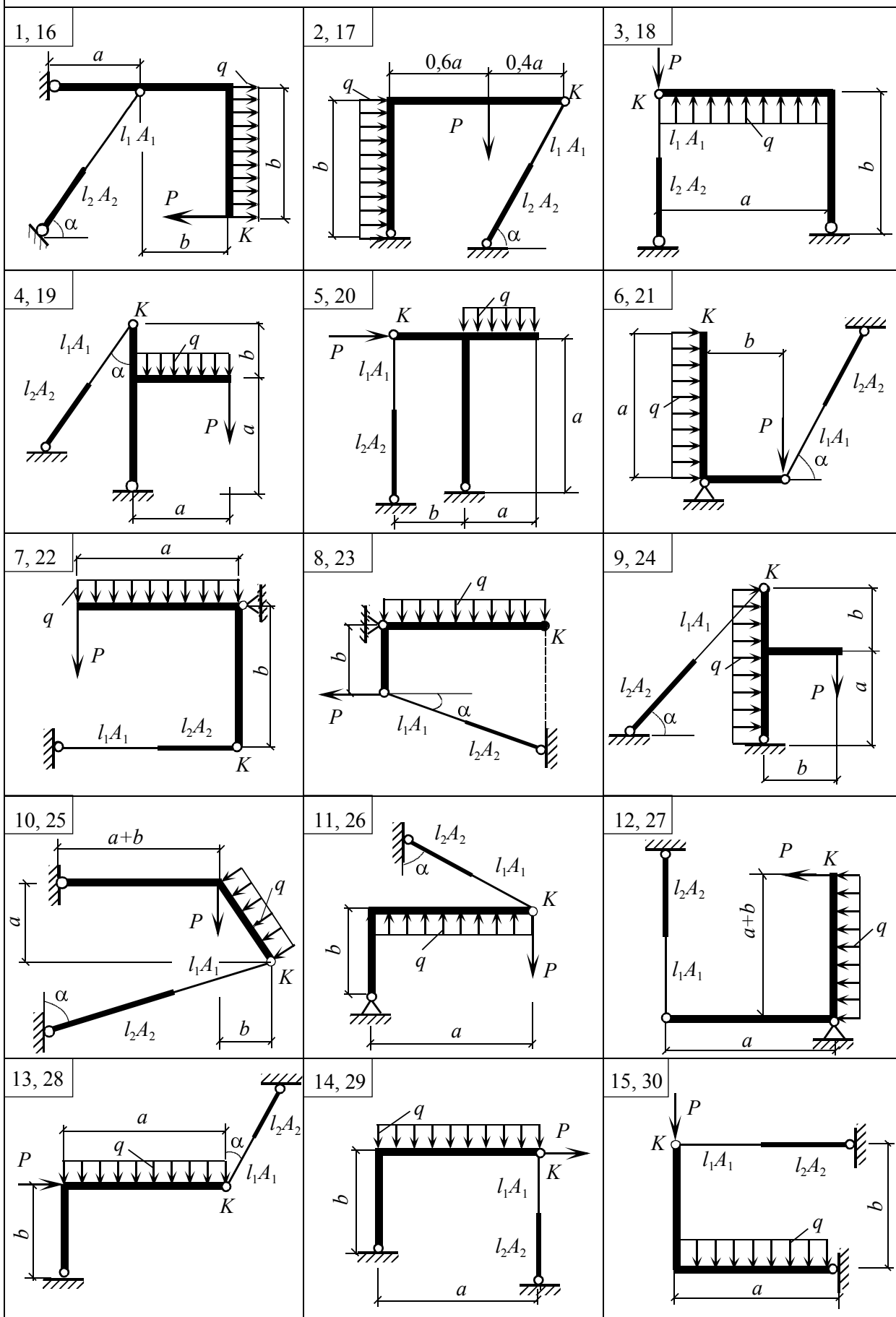
Требуется:

1. Вычислить продольные силы и нормальные напряжения в поперечных сечениях стержней.

2. Определить вертикальное и горизонтальное перемещения точки K , пренебрегая деформацией рычага.

Алфавит	P , кН	q , кН/м	a , м	b	l_1 , м	l_2 , м	A_1 , см ²	A_2/A_1	α , град
<i>а б в</i>	40	10	0,80	$0,5a$	0,6	1,5	10	2,0	20
<i>г д е ё</i>	50	14	0,90	$0,5a$	0,7	1,4	12	2,2	25
<i>ж з и й</i>	60	18	1,00	$0,6a$	0,8	1,3	14	2,4	30
<i>к л м</i>	70	20	1,05	$0,6a$	0,9	1,2	16	2,6	35
<i>н о п</i>	80	22	1,10	$0,7a$	1,0	1,1	18	2,8	40
<i>р с т</i>	90	24	1,15	$0,8a$	1,1	1,0	20	3,0	45
<i>у ф х</i>	100	26	1,20	$0,75a$	1,2	0,9	22	3,2	50
<i>ц ч ш щ</i>	95	28	1,25	$0,65a$	1,3	0,8	24	3,4	55
<i>ъ ы ь</i>	85	30	1,30	$0,55a$	1,4	0,7	26	3,6	60
<i>э ю я</i>	75	32	1,35	$0,45a$	1,5	0,6	28	3,8	65

Варианты расчетных схем



1.3. Расчет стержневых систем на прочность

В учебнике [1] – глава 2, §§ 2.1÷2.4; в пособии [2]– стр. 18, 19.

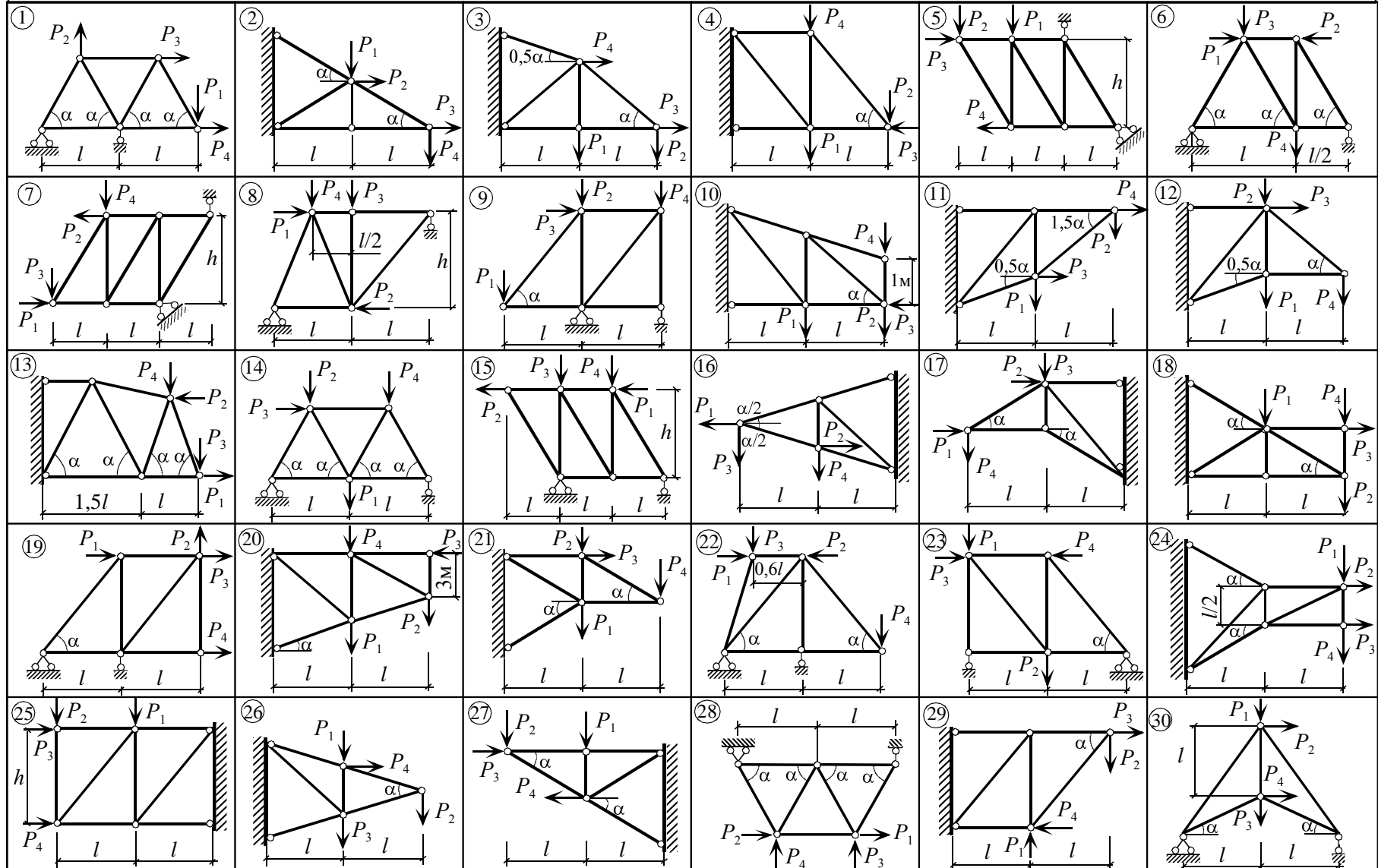
Задача 3. Стержневая система (ферма) нагружена двумя силами. Заданы геометрические размеры фермы, значения сил и марка стали прокатных профилей.

Требуется:

1. Определить продольную силу в каждом элементе фермы.
2. Из условия прочности подобрать размеры поперечных сечений стержней, пользуясь таблицами сортамента прокатных профилей.
3. Определить вес отдельных стержней и всей фермы. Результаты расчетов оформить в виде таблицы.

Алфавит	P_1/P_2 , кН	P_3/P_4 , кН	l , м	h , м	α , град	Марка стали	Тип сечения
<i>а б в</i>	0/100	800/0	2,0	1,8	35	ВСтЗкп	Два равнополочных уголка
<i>г д е ё</i>	0/200	0/700	2,5	2,0	37	16Д	Два равнополочных уголка
<i>ж з и й</i>	300/0	600/0	2,8	2,2	40	ВСтЗкп	Два равнополочных уголка
<i>к л м</i>	400/0	0/500	3,0	2,4	42	16Д	Швеллер
<i>н о п</i>	0/500	400/0	3,5	2,6	45	20	Швеллер
<i>р с т</i>	600/0	0/300	4,0	2,8	48	18сп	Два неравнополочных уголка
<i>у ф х</i>	0/700	200/0	3,2	3,0	49	16Д	Два неравнополочных уголка
<i>ц ч ш щ</i>	800/0	0/100	2,4	3,2	50	18Гсп	Два неравнополочных уголка
<i>ъ ы ь</i>	0/900	90/0	2,6	3,4	45	20	Швеллер
<i>э ю я</i>	1000/0	0/80	3,0	3,6	40	18Гсп	Швеллер

Варианты расчетных схем



1.4. Учет собственного веса стержня

В учебнике [1] – глава 2, § 2.5; в пособии [2]– стр. 22, 23

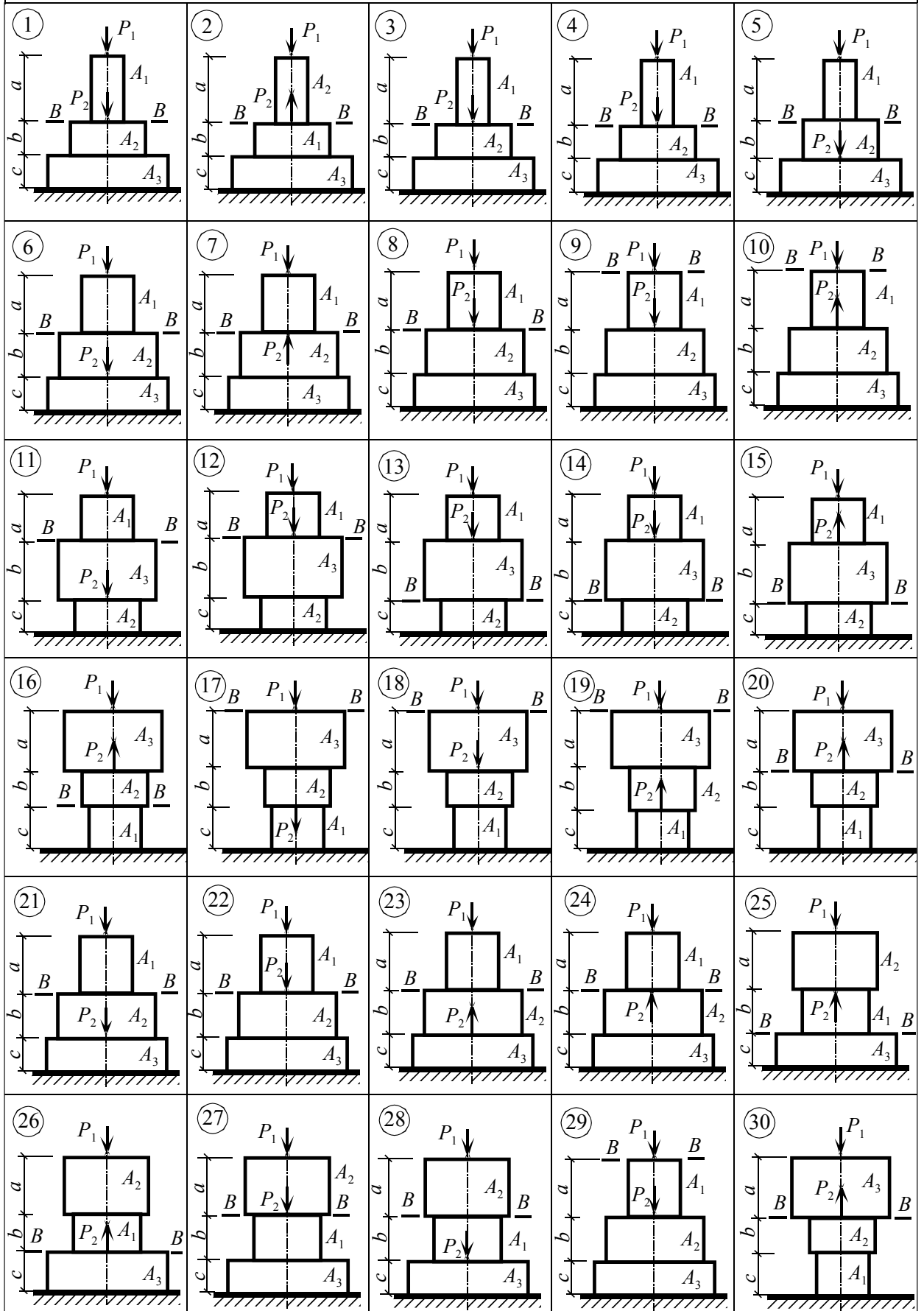
Задача 4. Колонна из бетона запроектирована в виде ступенчатого стержня. Заданы значения сил, удельный вес $\gamma = 25 \text{ кН/м}^3$, модуль упругости $E = 2,7 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ и расчетное сопротивление бетона на сжатие $R = 5 \text{ МПа}$.

Требуется:

1. Определить продольные силы на участках от действия сосредоточенных сил P_1, P_2 и собственного веса. Построить эпюру N .
2. Вычислить нормальные напряжения и построить эпюру напряжений.
3. Проверить прочность колонны и определить фактический коэффициент запаса прочности.
4. Запроектировать колонну рационального сечения, определив из условия прочности минимальную площадь поперечного сечения на каждом участке ($A_{1\min}, A_{2\min}$ и $A_{3\min}$).
5. Для колонны рационального сечения построить эпюры продольных сил, нормальных напряжений и определить перемещение сечения $B-B$.

Алфавит	$a, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$c, \text{ м}$	$A_1, \text{ м}^2$	$A_2, \text{ м}^2$	$A_3, \text{ м}^2$	$P_1, \text{ кН}$	$P_2, \text{ кН}$
<i>а б в</i>	2,0	2,5	3,0	1,2	2,1	4,0	120	0
<i>г д е ё</i>	2,5	2,8	3,5	1,4	2,3	4,2	130	70
<i>ж з и й</i>	3,0	3,0	3,8	1,6	2,5	4,4	140	60
<i>к л м</i>	3,5	3,2	4,0	1,8	2,7	4,6	150	50
<i>н о п</i>	4,0	3,5	3,9	2,0	3,0	4,8	160	40
<i>р с т</i>	3,8	3,4	3,7	1,9	3,1	5,0	170	30
<i>у ф х</i>	3,6	3,1	3,5	1,7	3,3	4,9	180	20
<i>ц ч ш щ</i>	3,4	2,9	3,3	1,5	3,5	4,7	190	25
<i>ъ ы ь</i>	3,2	2,7	3,1	1,3	3,4	4,5	200	35
<i>э ю я</i>	3,0	2,4	2,9	1,1	3,2	4,3	210	45

Варианты расчетных схем



2. СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫЕ СИСТЕМЫ

2.1. Расчет статически неопределимого стержня переменного сечения

В учебнике [1] – глава 2, § 2.9; в пособии [2]– стр. 26-28

Задача 5. Стержень, составленный из алюминиевых и стальных частей, жестко закреплен по концам и нагружен двумя сосредоточенными силами P_1 и P_2 . Для стали модуль упругости $E_{ст} = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, расчетное сопротивление $R_{ст} = 220$ МПа; для алюминиевого сплава – $E_{ал} = 0,7 \cdot 10^5$ МПа; $R_{ал} = 110$ МПа.

Требуется:

1. Изобразить расчетную схему стержня, соблюдая масштаб длин. Если имеются значения сил, помеченные звездочками (*), то направление этих сил необходимо изменить на противоположное. На схеме указать числовые значения нагрузок и длину участков стержня.

2. Определить степень статической неопределимости.

3. Раскрыть статическую неопределимость системы – определить неизвестные реакции опор, рассмотрев три стороны задачи: статическую, геометрическую и физическую.

4. Вычислить продольные силы и построить эпюру N .

5. Из условия прочности определить площади поперечных сечений стержня, соблюдая заданное между ними соотношение.

6. Найти нормальные напряжения в поперечных сечениях на каждом участке и построить эпюру σ .

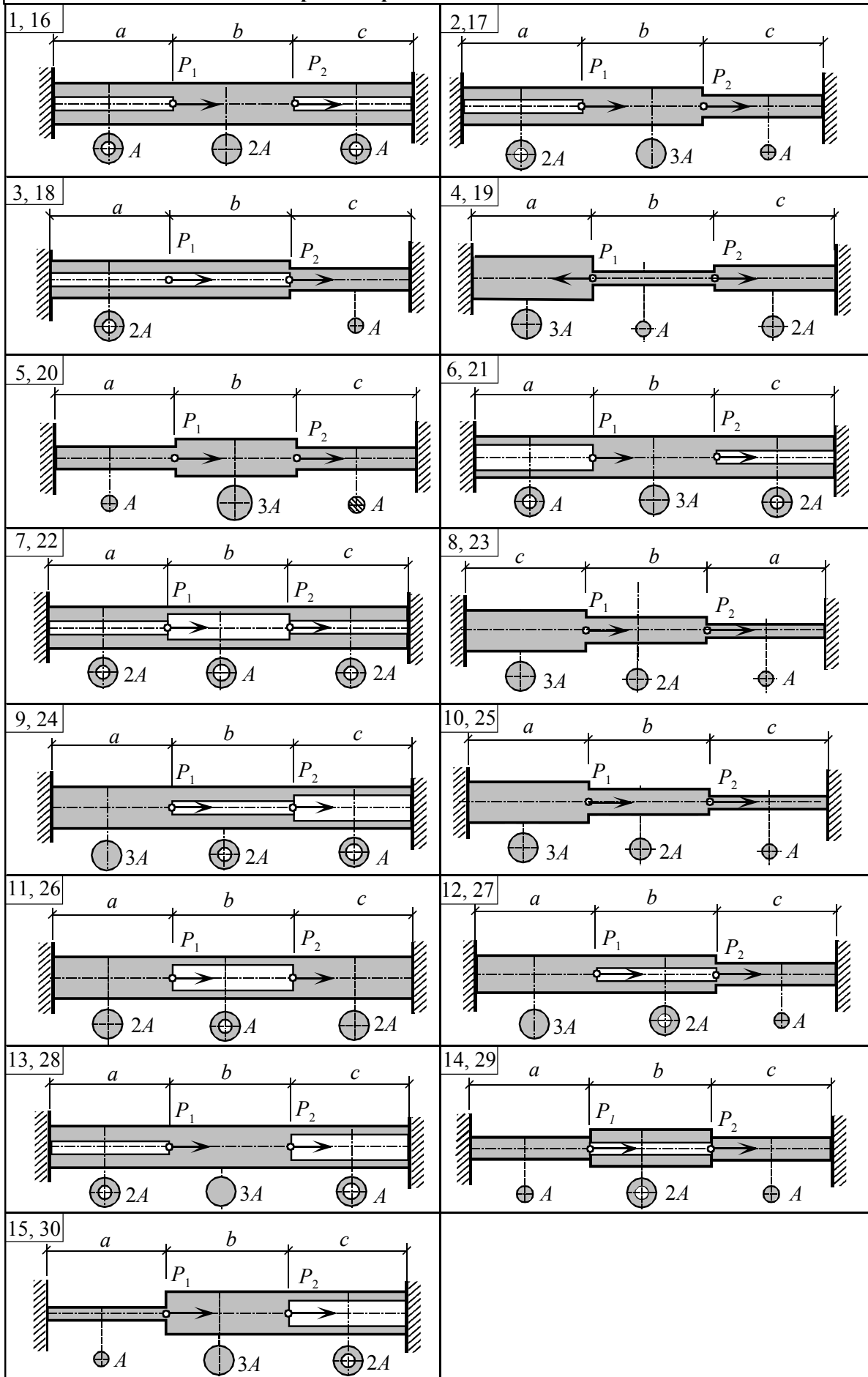
7. Вычислить изменение длины каждого участка и построить эпюру перемещений сечений.

8. Вычислить продольные силы N_t и напряжения σ_t (без учета внешних сил) при повышении температуры на 20^0C . Построить эпюры N_t и σ_t .

9. Построить эпюру нормальных напряжений от совместного действия сил и температуры.

Алфавит	Материал <i>a/b/c</i>	<i>a</i> , см	<i>b</i> , см	<i>c</i> , см	P_1 , кН	P_2 , кН
<i>a б в</i>	ст/ст/ал	40	40	40	200	200*
<i>г д е ё</i>	ст/ал/ст	45	45	45	180*	180
<i>ж з и й</i>	ст/ал/ст	50	50	50	160	160*
<i>к л м</i>	ал/ст/ст	55	55	55	150*	150
<i>н о п</i>	ал/ст/ст	60	60	60	140	140*
<i>р с т</i>	ал/ал/ст	65	65	65	130*	130
<i>у ф х</i>	ал/ал/ст	70	70	70	120	120*
<i>ц ч ш щ</i>	ал/ст/ал	75	75	75	110*	110
<i>ъ ы ь</i>	ст/ал/ал	80	80	80	120	120*
<i>э ю я</i>	ст/ал/ал	85	85	85	140*	140

Варианты расчетных схем



2.2. Расчет статически неопределимой стержневой системы

В учебнике [1] – глава 2, § 2.9; в пособии [2]– стр. 31-33

Задача 6. Абсолютно жесткий стержень (балка), расположенный горизонтально, прикреплен к основанию шарнирно неподвижной опорой и двумя стержнями: стальным, длиной l_1 , и алюминиевым, длиной l_2 , с заданным соотношением площадей поперечного сечения $A_{ст}/A_{ал}$. Для стального стержня модуль упругости $E_{ст} = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, расчетное сопротивление $R_{ст} = 220$ МПа; для алюминиевого – $E_{ал} = 0,7 \cdot 10^5$ МПа; $R_{ст} = 110$ МПа.

Задача 6 состоит из трех отдельных частей.

Задача 6.1. Требуется из условия прочности определить значение допускаемой нагрузки P , считая, что алюминиевый стержень отсутствует, а горизонтальная балка удерживается только стальным стержнем.

Задача 6.2. Для конструкции с двумя стержнями (стальным и алюминиевым), нагруженной силой P , значение которой задано, требуется:

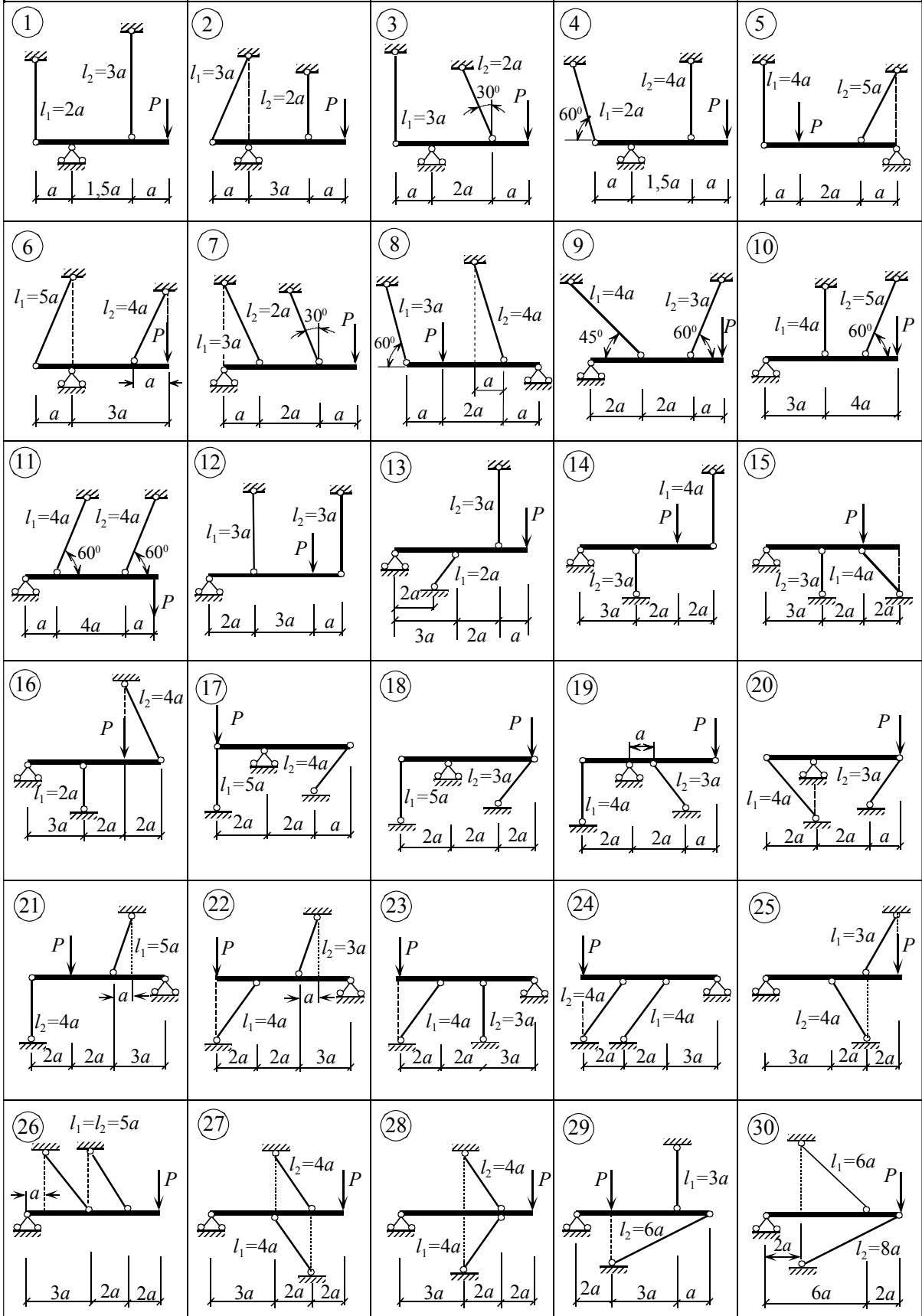
1. Раскрыть статическую неопределимость системы – определить опорные реакции.
2. Определить нормальные напряжения в стержнях и проверить прочность конструкции.

Задача 6.3. Для конструкции с двумя стержнями (стальным и алюминиевым) требуется:

1. Раскрыть статическую неопределимость системы, рассмотрев три стороны задачи, статическую, геометрическую и физическую.
2. Из условий прочности стержней определить допускаемое значение силы P .
3. Определить вертикальное перемещение точки, в которую приложена сила P .

К задачам 6.1, 6.2, 6.3				К задаче 6.2
Алфавит	a , м	$A_{ст}$, см ²	$A_{ал} / A_{ст}$	P , кН
<i>а б в</i>	0,4	6,0	1,0	30,0
<i>г д е ё</i>	0,5	7,0	1,1	35,0
<i>ж з и й</i>	0,6	8,0	1,2	40,0
<i>к л м</i>	0,7	9,0	1,3	50,0
<i>н о п</i>	0,8	10,0	1,4	60,0
<i>р с т</i>	1,0	12,0	1,5	70,0
<i>у ф х</i>	1,2	14,0	1,6	80,0
<i>ц ч ш щ</i>	1,1	15,0	1,7	90,0
<i>э ю я</i>	0,9	16,0	1,8	100,0

Варианты расчетных схем



2.3. Расчет статически неопределимой системы с неточно изготовленными элементами

В учебнике [1] – глава 2, § 2.9; в пособии [2] – стр. 31-33

Задача 7. Абсолютно жесткая балка, расположенная горизонтально, прикреплена к основанию шарнирно неподвижной опорой и стержнями, изготовленными из стали и алюминиевого сплава с заданным соотношением площадей поперечного сечения, нагружена системой нагрузок. Для стали принять модуль упругости $E_{ст} = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, расчетное сопротивление $R_{ст} = 270$ МПа; для алюминиевого сплава – $E_{ал} = 0,7 \cdot 10^5$ МПа, $R_{ал} = 120$ МПа.

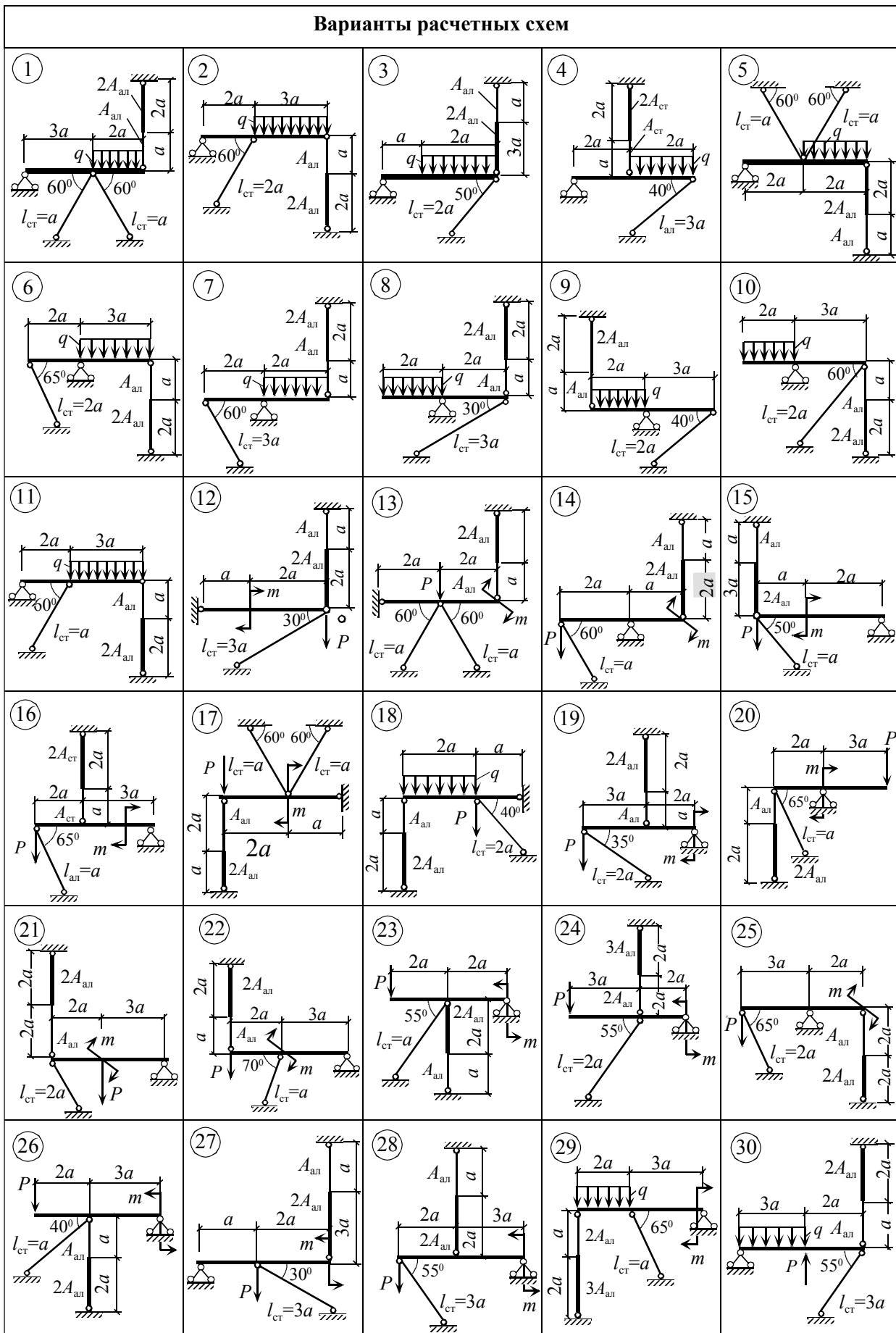
Требуется:

1. Раскрыть статическую неопределимость системы – определить опорные реакции.
2. Соблюдая заданное соотношение площадей рассчитать площади поперечного сечения стержней: $A_{ст}$ и $A_{ал}$.
3. Определить монтажные напряжения, возникающие при сборке конструкции с неточно изготовленными стержнями.
4. Проверить прочность конструкции при совместном действии внешней нагрузки и монтажных усилий.

Алфавит	a , м	$A_{ал} / A_{ст}$	P , кН	q , кН/м	m , кН·м	Неточность изготовления стержней
<i>а б в</i>	0,4	1,1	30,0	15,0	30,0	$- 0,001l_{ст}$
<i>г д е ё</i>	0,5	1,2	35,0	16,0	35,0	$0,004l_{ст}$
<i>ж з и й</i>	0,6	1,3	40,0	18,0	40,0	$- 0,006l_{ст}$
<i>к л м</i>	0,7	1,4	50,0	20,0	50,0	$- 0,008l_{ст}$
<i>н о п</i>	0,8	1,5	60,0	24,0	60,0	$- 0,001l_{ал}$
<i>р с т</i>	1,0	1,6	70,0	26,0	70,0	$0,002l_{ал}$
<i>у ф х</i>	1,2	1,7	80,0	30,0	80,0	$- 0,003l_{ал}$
<i>ц ч ш щ</i>	1,1	1,8	90,0	36,0	90,0	$0,005l_{ал}$
<i>э ю я</i>	0,9	2,0	100,0	40,0	100,0	$- 0,006l_{ал}$

Примечание: положительное значение неточности изготовления означает, что длина стержня больше проектной, отрицательная – меньше.

Варианты расчетных схем

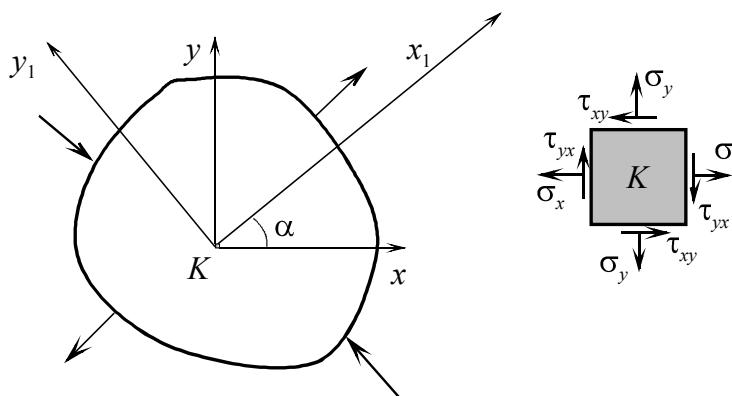


3. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ В ТОЧКЕ ТЕЛА

3.1. Анализ плоского напряженного состояния в точке тела

В учебнике [1] – глава 3, § 3.1-3.4; в пособии [2]– стр. 35-37

Задача 8. Пластина, нагруженная в плоскости xOy , находится в плоском напряженном состоянии. В точке K пластины известны напряжения σ_x , σ_y и τ_{yx} .



Требуется:

1. Изобразить элемент с площадками, для которых оси x и y являются нормальными и показать заданные напряжения (для напряжений, отмеченных звездочкой (*)) изменить направление на противоположное).
2. Вычислить напряжения на площадках, перпендикулярных осям x_1 и y_1 . Ось x_1 составляет с осью x угол α (положительное направление – против хода часовой стрелки). Изобразить элемент и показать напряжения σ_{x_1} , σ_{y_1} , $\tau_{x_1y_1}$ и $\tau_{y_1x_1}$.
3. Вычислить главные напряжения σ_{\max} , σ_{\min}
4. Определить положение главных площадок и показать главные напряжения σ_{\max} , σ_{\min} .
5. Вычислить экстремальные касательные напряжения τ_{\max} , τ_{\min} и указать площадки, на которых они действуют.
6. Для исследуемого напряженного состояния построить круг Мора, показав все напряжения и площадки (см. п. 2, 3, 4 и 5).

Алфавит	σ_x , МПа	σ_y , МПа	τ_{yx} , МПа	α , град
<i>а б в</i>	50	30	30*	30
<i>г д е ё</i>	60	40*	40	-35
<i>ж з и й</i>	70*	50	50*	40
<i>к л м</i>	80	60*	60	-45
<i>н о п</i>	90	70	70*	-50
<i>р с т</i>	100*	80*	70	-55
<i>у ф х</i>	90*	70*	60*	-50
<i>ц ч ш щ</i>	80*	60	50	45
<i>ъ ы ь</i>	70*	50*	40*	40*
<i>э ю я</i>	60*	40	30	35

3.2. Анализ напряженного состояния пластины

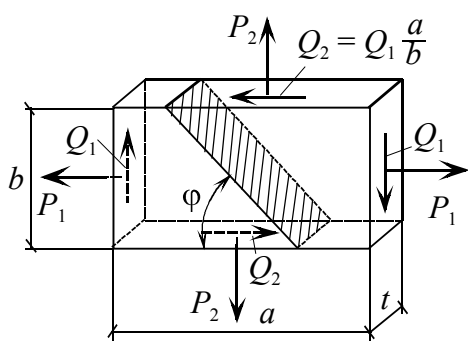
В учебнике [1] – глава 3, § 3.1-3.4; в пособии [2]– стр. 35-37

Задача 9. Пластина толщиной t нагружена силами P_1 , P_2 , Q_1 и Q_2 , действующими по ее граням.

Требуется:

1. Изобразить пластину с нагрузками, соблюдая масштаб. Изменить

направление действия сил, отмеченных в таблице звездочкой (*), на противоположное. Указать величину нагрузок.



2. Вычислить нормальные и касательные напряжения в сечениях, параллельных граням пластины, считая, что напряжения равномерно распределены по граням.

3. Вычислить нормальные и касательные напряжения, действующие в наклонном сечении, положение которого определяется углом φ .

4. Определить главные напряжения и положение главных площадок, показав их на элементе, вырезанном в окрестности исследуемой точки.

5. Вычислить максимальное и минимальное касательные напряжения и показать площадки, на которых они действуют.

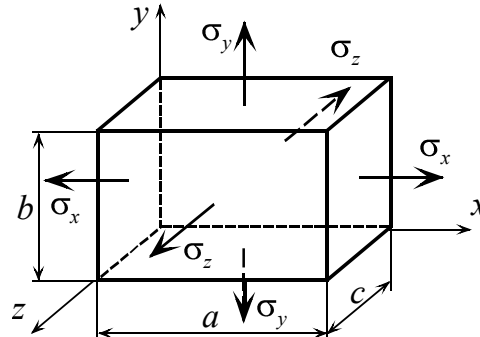
6. Выполнить пп. 3, 4, 5 графически, используя круг Мора, и сравнить результат с аналитическим расчетом.

Алфавит	a , см	b , см	t , см	P_1 , кН	P_2 ,кН	Q_1 , кН	φ , град
<i>а б в</i>	12	10	1,0	450	100	300*	30
<i>г д е ё</i>	14	12	1,25	475	125*	325	35
<i>ж з и й</i>	16	14	1,50	500*	150	350	40
<i>к л м</i>	18	16	1,75	525	160	375*	45
<i>н о п</i>	20	18	2,0	550	170*	400	50
<i>р с т</i>	19	20	2,25	575*	180	425	55
<i>у ф х</i>	17	18	2,5	600	140	450*	60
<i>ц ч ш щ</i>	15	16	2,75	625	130*	475	65
<i>ъ ы ь</i>	13	14	2,5	650*	110	500	70
<i>э ю я</i>	11	12	2,0	675	90	525*	75

3.3. Анализ деформированного состояния параллелепипеда

В учебнике [1] – глава 3, § 3.1-3.4; в пособии [2]– стр. 38-39

Задача 10. На гранях прямоугольного параллелепипеда с размерами $a \times b \times c$ действуют равномерно распределенные нормальные напряжения $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$.



Требуется определить:

1. Относительные деформации по направлению осей x, y, z и удлинение ребер параллелепипеда.
2. Относительное и абсолютное изменение объема.
3. Удельную и полную потенциальную энергию упругой деформации параллелепипеда.

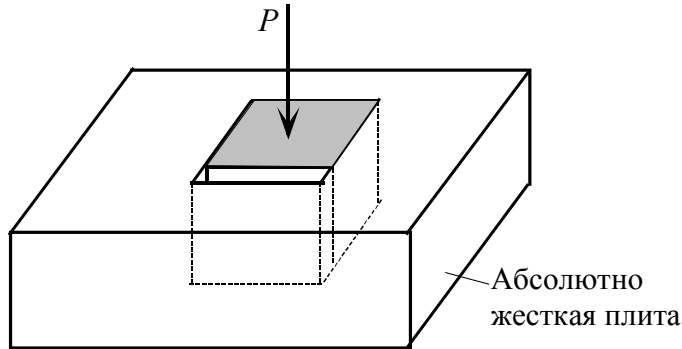
Принять: модуль упругости материала $E = 1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,35$.

Алфавит	$a, \text{ см}$	$b, \text{ см}$	$c, \text{ см}$	$\sigma_x, \text{ МПа}$	$\sigma_y, \text{ МПа}$	$\sigma_z, \text{ МПа}$
<i>а б в</i>	4	10	14	40	120	30
<i>г д е ё</i>	5	9	13	-45	-115	-35
<i>ж з и й</i>	6	8	12	50	110	40
<i>к л м</i>	7	7	11	-55	-105	-45
<i>н о п</i>	8	6	10	60	100	50
<i>р с т</i>	9	5	9	-65	-95	-55
<i>у ф х</i>	10	4	8	70	90	60
<i>ц ч ш щ</i>	11	6	7	65	-85	-65
<i>ъ ы ь</i>	12	8	6	-60	80	70
<i>э ю я</i>	4	10	5	55	-75	-75

3.4. Напряженно-деформированное состояние параллелепипеда

В учебнике [1] – глава 3, § 3.1-3.4; в пособии [2]– стр. 38-39

Задача 11. В толстой недеформируемой плите сделан вырез, в который помещены один или два элемента в форме прямоугольного параллелепипеда. В



некоторых схемах имеются зазоры между стенками плиты и параллелепипедов. Для материала параллелепипедов принять модуль упругости $E = 2000$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,35$.

Требуется для элемента, отмеченного звездочкой (*):

1. Определить напряжения, действующие на площадках, параллельных граням. Силами трения между плитой и гранями элемента пренебречь, нагрузку считать равномерно распределенными по грани.
2. Определить главные напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.
3. Вычислить относительное изменение объема расчетного элемента.
4. Определить максимальное касательное напряжение и указать площадку, по которой оно действует.

Алфавит	P , кН	Δ , мм	a , см	c , см
<i>а б в</i>	60	0,03	1,0	2,0
<i>г д е ё</i>	25	0,04	1,2	2,1
<i>ж з и й</i>	50	0,05	1,3	2,2
<i>к л м</i>	35	0,06	1,4	2,3
<i>н о п</i>	40	0,07	1,5	2,4
<i>р с т</i>	45	0,08	1,6	2,5
<i>у ф х</i>	30	0,09	1,7	2,6
<i>ц ч ш щ</i>	55	0,10	1,8	2,7
<i>ъ ы ь</i>	20	0,11	1,9	2,8
<i>э ю я</i>	65	0,2	2,0	3,0

Варианты расчетных схем

<p>1,16</p>	<p>2,17</p>	<p>3,18</p>
<p>4,19</p>	<p>5,20</p>	<p>6,21</p>
<p>7,22</p>	<p>8,23</p>	<p>9,24</p>
<p>10,25</p>	<p>11,26</p>	<p>12,27</p>
<p>13,28</p>	<p>14,29</p>	<p>15,30</p>

4. ДЕФОРМАЦИЯ СДВИГ

4.1. Расчет заклепочного соединения

В учебнике [1] – глава 4, § 4.3; в пособии [2]– стр. 41-44

Задача 12. Стальные листы, соединенные n заклепками диаметром d , растягиваются силой P . Заданы толщина и ширина листов, характеристики прочности: для листов – расчетное сопротивление на растяжение $R_y = 240$ МПа; для заклепок – расчетное сопротивление на срез $R_s = 180$ МПа и на смятие $R_p = 300$ МПа.

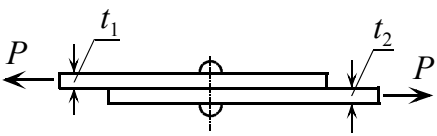
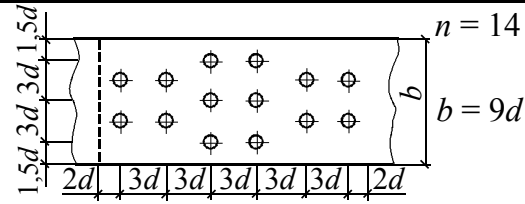
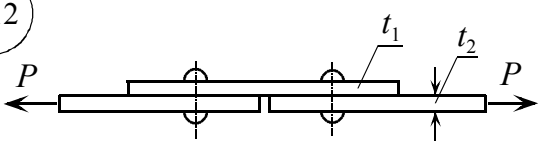
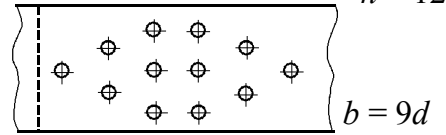
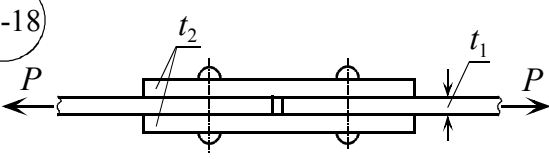
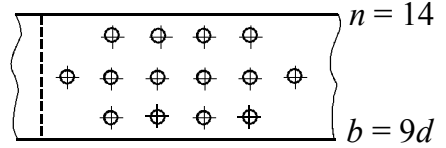
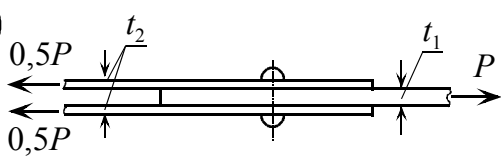
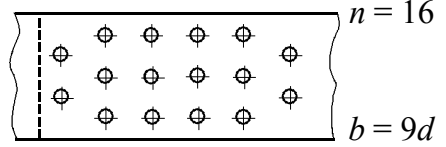
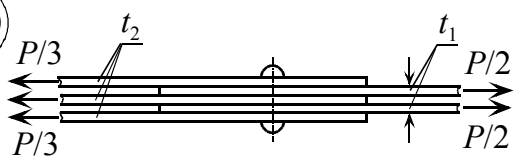
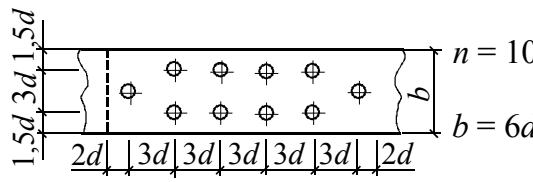
Требуется:

1. Построить эпюры продольных сил в листах.
2. Из условий прочности заклепок на срез и смятие, а также листов на растяжение, определить допускаемую величину силы P .

Алфавит	Схема расположения заклепок	d , мм	t_1 , мм	t_2 , мм
<i>а б в</i>	1, 2, 3	14	10,12,14	10,8,8
<i>г д е ё</i>	4, 5, 1, 2	15	18,16,14,16	12,10,10,8
<i>ж з и й</i>	3, 4, 5, 1	16	12,10,16,18	14,10,12,8
<i>к л м</i>	2, 3, 4	18	16,18,20	10,8,12
<i>н о п</i>	5, 1, 2	20	12,14,16	8,10,12
<i>р с т</i>	3, 4, 5	14	10,12,14	10,12,10
<i>у ф х</i>	1, 2, 3	16	16,10,12	8,10,8
<i>ц ч ш щ</i>	4, 5, 1, 2	18	12,10,14,16	8,10,12,14
<i>ъ ы ь</i>	3, 4, 5	20	16,18,20	10,8,12
<i>э ю я</i>	1, 2,3	22	18,16,14	12,10,8

Примечание:

- если в столбце указано несколько цифр, то каждая из них соответствует определенной букве алфавита;
- для вариантов соединений 7-18 число заклепок n установлено с одной стороны от стыка листов

Варианты заклепочных соединений	Схемы размещения заклепок
<p>1-6</p> 	<p>1</p> 
<p>7-12</p> 	<p>2</p> 
<p>13-18</p> 	<p>3</p> 
<p>19-24</p> 	<p>4</p> 
<p>25-30</p> 	<p>5</p> 

4.2. Расчет сварного соединения

В учебнике [1] – глава 4, § 4.3; в пособии [2]– стр. 45-47

Задача 13. Стальные элементы (листы или прокатные профили), соединенные сварными швами, растягиваются силой P . Заданы: расчетное сопротивление на растяжение стали $R_y = 220$ МПа; расчетное сопротивление шва на срез $R_w = 150$ МПа.

Требуется:

Для вариантов 1 – 6

1. При заданной нагрузке из условия прочности на растяжение подобрать номера прокатных профилей.

2. Определить длину фланговых швов, необходимую для прикрепления стержней к фасонке, принимая высоту шва равной толщине стенки прокатного профиля. Для сечений 1 и 2 учесть, что нагрузка проходит через центр тяжести уголка, поэтому предварительно из условия равновесия определить нагрузку, воспринимаемую сварными швами, расположенными у пера и обушка уголка.

Для вариантов 7–12

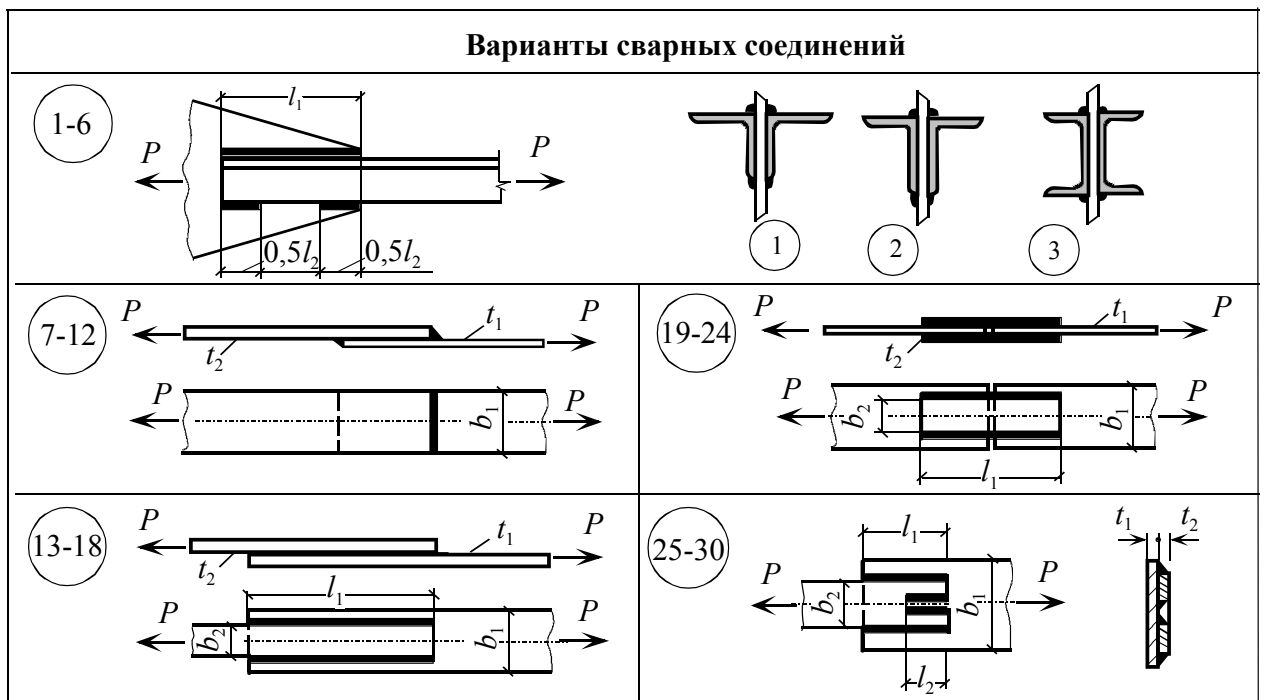
1. При заданной ширине (b_1) и толщине листов (t_1 и t_2), соединенных торцевыми швами, из условий прочности листов и сварного шва определить допускаемую силу P . Высоту обоих швов принять одинаковой и равной минимальной толщине соединяемых листов.

Для вариантов 13–30

1. При заданных силе P и ширине листа b_1 из условия прочности определить толщину листов и накладок t_1 и t_2 . Ширину листа b_2 определить из условий размещения сварных швов: $b_2 = b_1 - 3$ см. Результат расчета толщин листов округлить до стандартного значения: 6, 8, 10 ... 28, 30 мм.

2. Определить длину фланговых и прорезных швов (вариант 25–30), обеспечивающих прочность соединения. Длина прорезных швов принять $l_2 = kl_1$.

Алфавит	Сила P , кН	Форма сечения (для вариантов 1-6)	Ширина листа в b_1 , см	Толщина листов, мм (для вариантов 7-12)		Коэффициент k (для вариантов 25-30)
				t_1	t_2	
<i>а б в</i>	400	1	20,0	10,12,14	10,8,12	0,20
<i>г д е ё</i>	500	2	22,0	18,16,14,12	14,16,18,8	0,25
<i>ж з и й</i>	600	3	24,0	10,12,14,16	10,12,14,16	0,30
<i>к л м</i>	700	1	26,0	12,19,16	18,16,14	0,35
<i>н о п</i>	800	2	28,0	18,16,14	12,10,8	0,40
<i>р с т</i>	900	3	30,0	12,10,8	8,10,12	0,35
<i>у ф х</i>	1000	1	29,0	10,12,14	14,16,8	0,30
<i>ц ч ш щ</i>	1200	2	27,0	18,16,14,12	10,12,14,8	0,25
<i>ъ ы ь</i>	1400	3	25,0	8,10,12	16,14,12	0,20
<i>э ю я</i>	1500	1	23,0	18,16,14	10,12,14	0,25



5. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЙ

5.1. Определение моментов инерции сечений, имеющих оси симметрии

В учебнике [1] – глава 5, § 5.1-5.3; в пособии [2] – стр. 50-56

Задачи 14, 15, 16. Для заданных сечений определить моменты инерции относительно главных центральных осей.

Требуется:

1. Начертить сечение в масштабе на отдельном листе. Показать основные размеры в сантиметрах.
2. Разбить сечение на простые фигуры. Показать центральные оси простых фигур и расстояния между ними.
3. Выбрать начальные оси и определить положение центра тяжести всего сечения. Показать главные центральные оси и координаты центра тяжести.
4. Определить главные центральные моменты инерции сечения.

Алфавит	Данные к задаче 15	
	a , см	b , см
$a б в$	8	a
$г д е ё$	10	$a + 3$
$ж з и й$	12	$a - 3$
$к л м$	14	$a + 4$
$н о п$	15	$a - 4$
$р с т$	16	a
$у ф х$	13	$a + 5$
$ц ч ш щ$	11	$a - 5$
$ъ ы ь$	9	$a + 2$
$э ю я$	7	$a - 2$

Алфавит	Данные к задаче 16				
	Двутавр 1 (Дв1)	Двутавр 2 (Дв2)	Швеллер 1 (Шв1)	Швеллер 2 (Шв2)	Толщина пластины, <i>t</i> , мм
<i>а б в</i>	24	18	24	18	20
<i>г д е ё</i>	24а	18а	24а	18а	22
<i>ж з и й</i>	27	20	27	20	24
<i>к л м</i>	27а	20а	30	20а	25
<i>н о п</i>	30	22	33	22	28
<i>р с т</i>	30а	22а	24	22а	30
<i>у ф х</i>	24	18	24а	18	28
<i>ц ч ш щ</i>	24а	18а	27	18а	25
<i>ъ ы ь</i>	27	20	30	20	22
<i>э ю я</i>	27а	20а	33	20а	20

Варианты сечений к задаче 14 (все размеры в см)

<p>①</p>	<p>②</p>	<p>③</p>	<p>④</p>	<p>⑤</p>
<p>⑥</p>	<p>⑦</p>	<p>⑧</p>	<p>⑨</p>	<p>⑩</p>
<p>⑪</p>	<p>⑫</p>	<p>⑬</p>	<p>⑭</p>	<p>⑮</p>
<p>⑯</p>	<p>⑰</p>	<p>⑱</p>	<p>⑲</p>	<p>⑳</p>
<p>㉑</p>	<p>㉒</p>	<p>㉓</p>	<p>㉔</p>	<p>㉕</p>
<p>㉖</p>	<p>㉗</p>	<p>㉘</p>	<p>㉙</p>	<p>㉚</p>

Варианты сечений к задаче 15

<p>①</p>	<p>②</p>	<p>③</p>	<p>④</p>	<p>⑤</p>
<p>⑥</p>	<p>⑦</p>	<p>⑧</p>	<p>⑨</p>	<p>⑩</p>
<p>⑪</p>	<p>⑫</p>	<p>⑬</p>	<p>⑭</p>	<p>⑮</p>
<p>⑯</p>	<p>⑰</p>	<p>⑱</p>	<p>⑲</p>	<p>⑳</p>
<p>㉑</p>	<p>㉒</p>	<p>㉓</p>	<p>㉔</p>	<p>㉕</p>
<p>㉖</p>	<p>㉗</p>	<p>㉘</p>	<p>㉙</p>	<p>㉚</p>

Варианты сечений к задаче 16

<p>1</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>4</p>	<p>5</p>
<p>6</p>	<p>7</p>	<p>8</p>	<p>9</p>	<p>10</p>
<p>11</p>	<p>12</p>	<p>13</p>	<p>14</p>	<p>15</p>
<p>16</p>	<p>17</p>	<p>18</p>	<p>19</p>	<p>20</p>
<p>21</p>	<p>22</p>	<p>23</p>	<p>24</p>	<p>25</p>
<p>26</p>	<p>27</p>	<p>28</p>	<p>29</p>	<p>30</p>

5.2. Приближенный расчет моментов инерции стандартного уголка

В учебнике [1] – глава 5, § 5.1-5.3; в пособии [2]– стр. 59-61

Задача 17. Дано сечение в виде стандартного неравнополочного уголка

Требуется:

1. Начертить стандартный уголок на отдельном листе в масштабе и в том положении, как он задан в таблице вариантов. Размеры взять из таблиц сортамента (радиусы закругления не учитывать) и показать их на чертеже в сантиметрах.




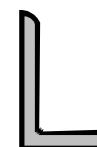
2. Определить положение центра тяжести уголка, считая, что он состоит из двух прямоугольников. Показать центральные оси простых фигур, расстояния между ними, координаты центра тяжести уголка.

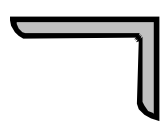
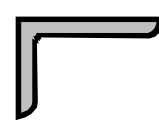
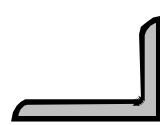
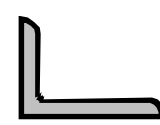
3. Вычислить осевые и центробежные моменты инерции относительно центральных осей, параллельных полкам уголка.

4. Вычислить главные центральные моменты инерции уголка.

5. Определить положение главных центральных осей. Показать главные центральные оси.

6. Сравнить полученные величины с данными сортамента.

Номера вариантов	1 - 3	4 - 6	7 - 10	11 - 14
Расположение сечений				
Размеры уголков	85×50×5 200×125×11 100×63×6	85×50×6 180×110×10 160×100×12	86×60×6 200×125×12 100×65×7	90×56×6 160×100×9 100×65×7

Номера вариантов	15 - 18	19 - 22	23 - 26	27 - 30
Расположение сечений				
Размеры уголков	86×60×7 200×125×16 100×63×10 140×90×10	86×60×8 125×80×7 100×65×8 1600×100×14	90×56×8 200×125×14 110×70×8 140×90×8	90×56×6 160×100×10 100×65×7 160×100×10

5.3. Расчет моментов инерции для сечений, не имеющих осей симметрии

В учебнике [1] – глава 5, § 5.1-5.3; в пособии [2]– стр. 59-61

Задачи 18, 19. Для сечений, составленных из прокатных профилей, вычислить моменты инерции относительно главных центральных осей.

Требуется:

1. Начертить сечение в масштабе на отдельном листе. Показать основные размеры в сантиметрах.

2. Для отдельных элементов сечения, выписать из таблиц сортамента необходимые для расчета размеры и геометрические характеристики. Показать центральные оси фигур и расстояния между ними.

3. Определить положение центра тяжести составного сечения.

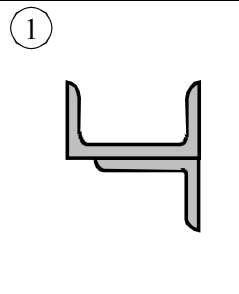
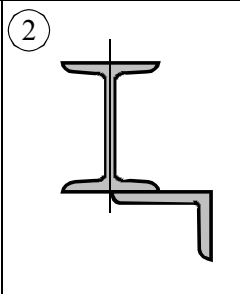
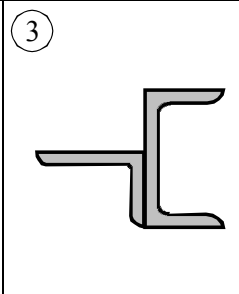
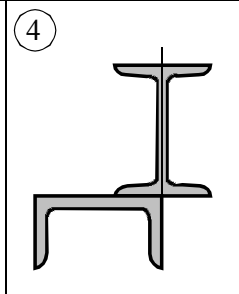
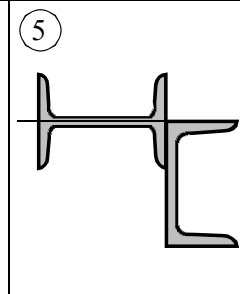
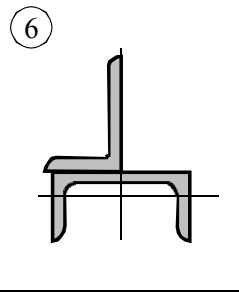
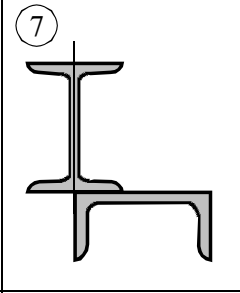
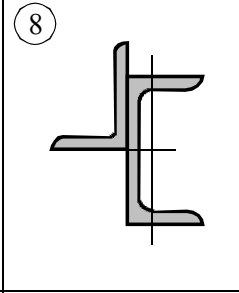
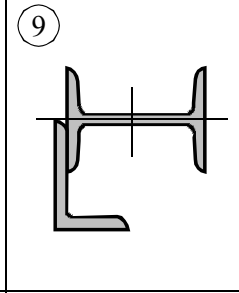
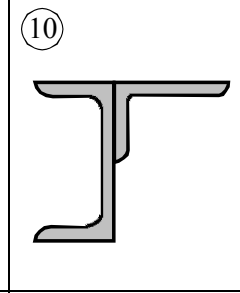
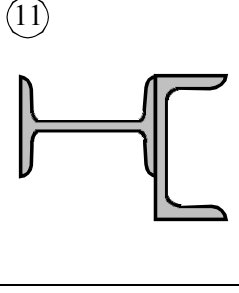
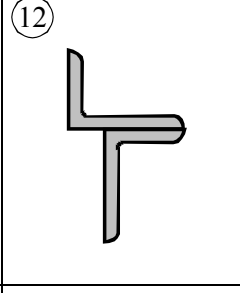
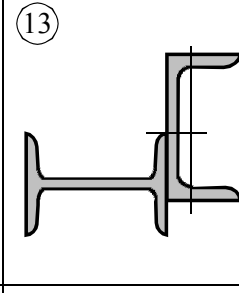
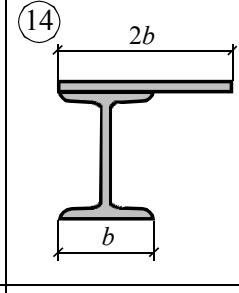
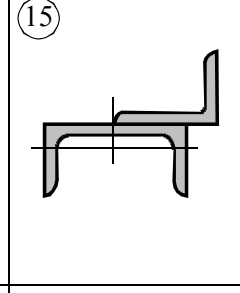
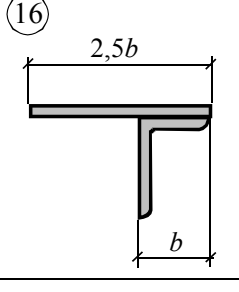
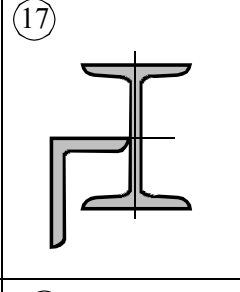
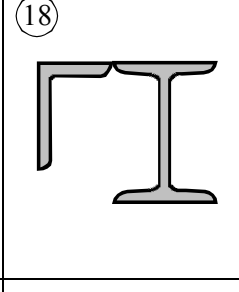
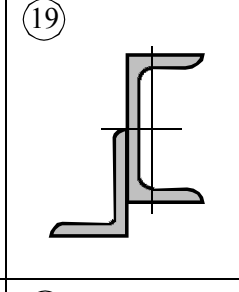
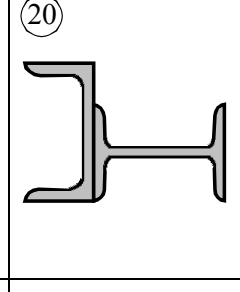
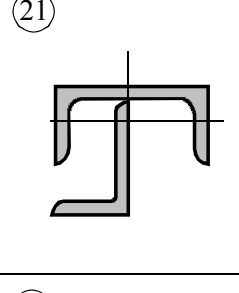
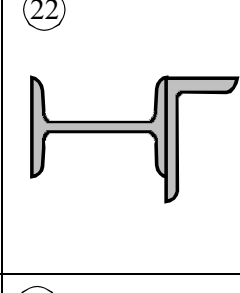
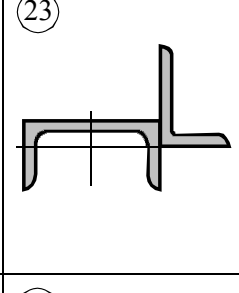
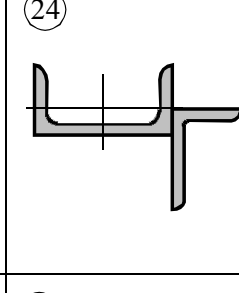
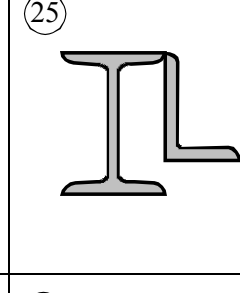
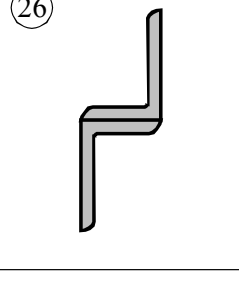
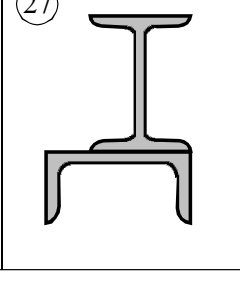
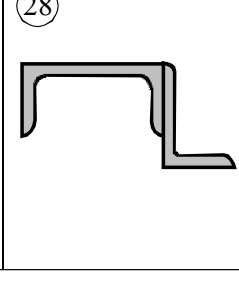
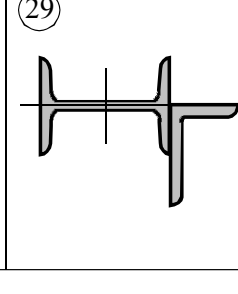
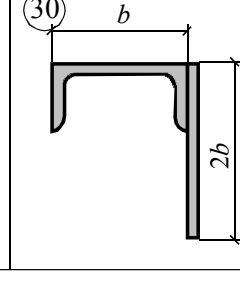
4. Вычислить моменты инерции сечения относительно центральных осей y и z .

5. Определить главные центральные моменты инерции сечения и положение главных осей. Показать главные центральные оси.

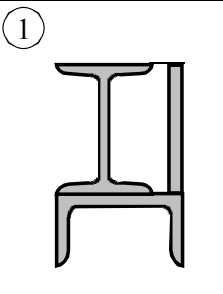
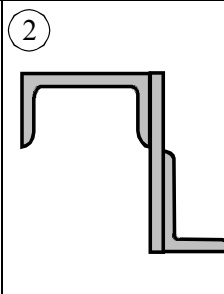
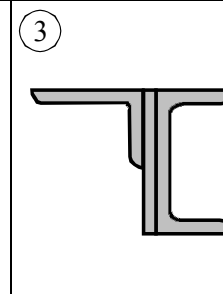
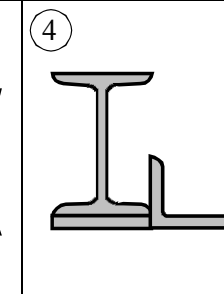
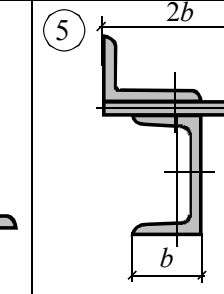
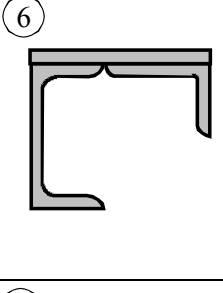
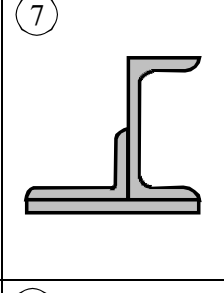
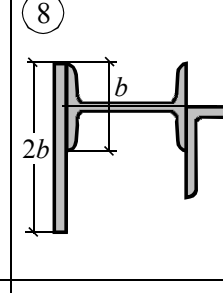
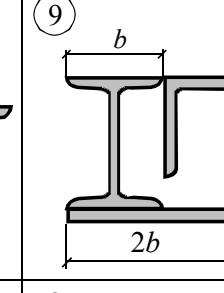
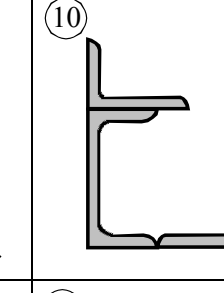
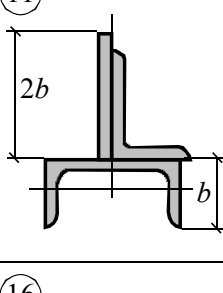
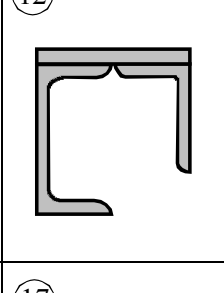
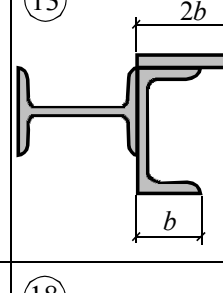
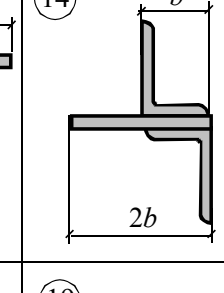
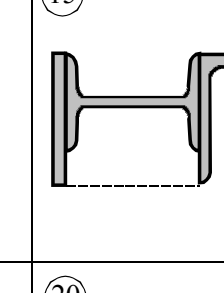
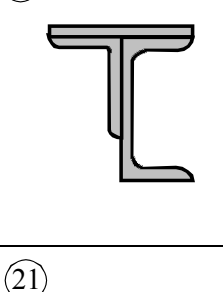
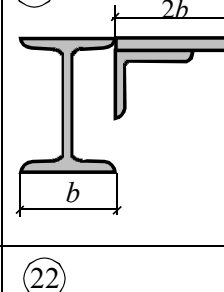
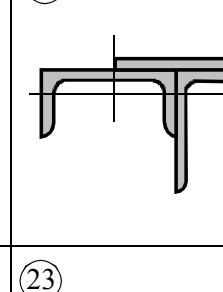
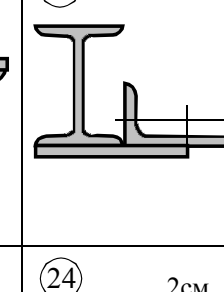
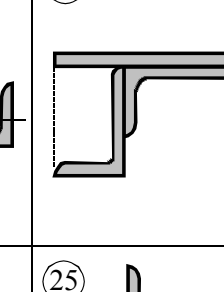
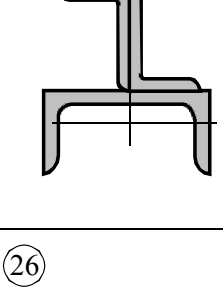
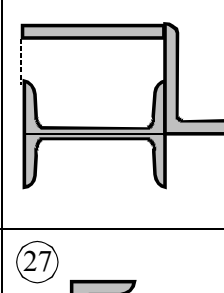
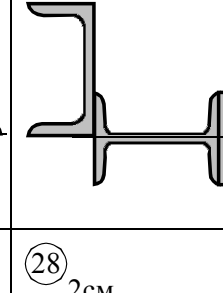
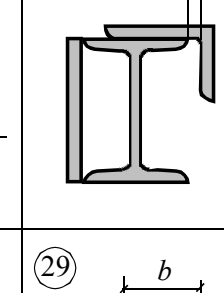
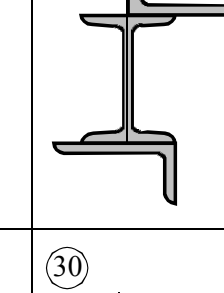
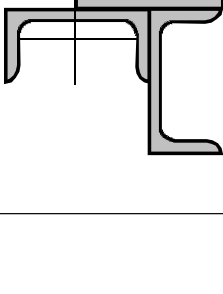
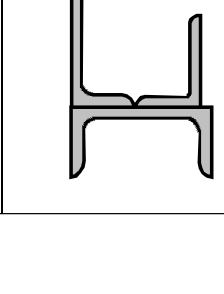
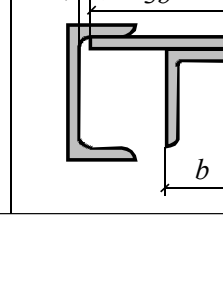
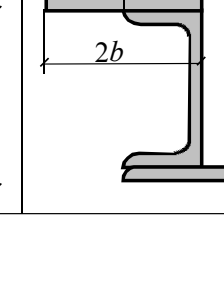
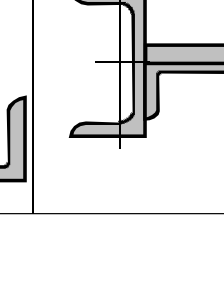
6. Построить круг Мора.

Алфавит	Номер двутавра	Уголок ($B \times b \times t$)	Номер швеллера	Толщина пластины, мм
<i>а б в</i>	16	140×90×8	40	10
<i>г д е ё</i>	18	140×90×10	36	12
<i>ж з и й</i>	20	125×80×12	33	14
<i>к л м</i>	22	160×100×9	30	15
<i>н о п</i>	24	160×100×10	27	16
<i>р с т</i>	27	160×100×12	24	18
<i>у ф х</i>	30	160×100×14	22	20
<i>ц ч ш щ</i>	33	125×80×12	20	22
<i>ъ ы ь</i>	36	180×110×10	18	24
<i>э ю я</i>	40	200×125×11	16	26

Варианты сечений к задаче-18

① 	② 	③ 	④ 	⑤ 
⑥ 	⑦ 	⑧ 	⑨ 	⑩ 
⑪ 	⑫ 	⑬ 	⑭ 	⑮ 
⑯ 	⑰ 	⑱ 	⑲ 	⑳ 
㉑ 	㉒ 	㉓ 	㉔ 	㉕ 
㉖ 	㉗ 	㉘ 	㉙ 	㉚ 

Варианты сечений к задаче 19

① 	② 	③ 	④ 	⑤ 
⑥ 	⑦ 	⑧ 	⑨ 	⑩ 
⑪ 	⑫ 	⑬ 	⑭ 	⑮ 
⑯ 	⑰ 	⑱ 	⑲ 	⑳ 
㉑ 	㉒ 	㉓ 	㉔ 	㉕ 
㉖ 	㉗ 	㉘ 	㉙ 	㉚ 

6. ПЛОСКИЙ ИЗГИБ

6.1. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов

В учебнике [1] – глава 5, § 6.1-6.5; в пособии [2]– стр. 67-75

Задачи 20 – 24. Даны расчетные схемы балок с различными вариантами закрепления и нагружения.

Требуется:

1. Начертить расчетную схему балки, соблюдая масштаб длин. Для нагрузок, значение которых в таблице данных помечены звездочкой (*) изменить направление на противоположное. Значения всех нагрузок, а также линейные размеры балки, указать на расчетной схеме.

4. Вычислить опорные реакции.

5. Разбить балку на участки. Составить уравнения для определения внутренних усилий Q и M в пределах каждого участка.

6. Вычислить значения Q и M в характерных сечениях и построить эпюры Q и M . Проверить правильность их построения.

7. Построить примерный вид изогнутой оси балки.

Алфавит	a , м	b , м	F_0 , кН	q_0 , кН/м	m_0 , кН·м
<i>а б в</i>	1,0	0,4	1,0	1,0	1,0
<i>г д е ё</i>	1,5	0,5	1,5*	1,2	2,0
<i>ж з и й</i>	2,0	0,6	2,0	1,6	3,0
<i>к л м</i>	2,5	0,8	2,5	1,5	1,0*
<i>н о п</i>	1,0	1,0	3,0	1,8	2,0*
<i>р с т</i>	1,5	0,4	1,0*	2,0	3,0*
<i>у ф х</i>	2,0	0,5	1,5	2,2	1,0
<i>ц ч ш щ</i>	2,5	0,6	2,0*	2,4	2,0
<i>ъ ы ь</i>	2,0	0,8	2,5	2,4	1,0*
<i>э ю я</i>	2,5	1,0	3,0*	3,0	2,0*

Варианты расчетных схем к задаче 20

<p>①</p>	<p>②</p>	<p>③</p>	<p>④</p>	<p>⑤</p>
<p>⑥</p>	<p>⑦</p>	<p>⑧</p>	<p>⑨</p>	<p>⑩</p>
<p>⑪</p>	<p>⑫</p>	<p>⑬</p>	<p>⑭</p>	<p>⑮</p>
<p>⑯</p>	<p>⑰</p>	<p>⑱</p>	<p>⑲</p>	<p>⑳</p>
<p>㉑</p>	<p>㉒</p>	<p>㉓</p>	<p>㉔</p>	<p>㉕</p>
<p>㉖</p>	<p>㉗</p>	<p>㉘</p>	<p>㉙</p>	<p>㉚</p>

Варианты расчетных схем к задаче 21

<p>①</p>	<p>②</p>	<p>③</p>	<p>④</p>	<p>⑤</p>
<p>⑥</p>	<p>⑦</p>	<p>⑧</p>	<p>⑨</p>	<p>⑩</p>
<p>⑪</p>	<p>⑫</p>	<p>⑬</p>	<p>⑭</p>	<p>⑮</p>
<p>⑯</p>	<p>⑰</p>	<p>⑱</p>	<p>⑲</p>	<p>⑳</p>
<p>㉑</p>	<p>㉒</p>	<p>㉓</p>	<p>㉔</p>	<p>㉕</p>
<p>㉖</p>	<p>㉗</p>	<p>㉘</p>	<p>㉙</p>	<p>㉚</p>

Варианты расчетных схем к задаче 22

<p>①</p>	<p>②</p>	<p>③</p>	<p>④</p>	<p>⑤</p>
<p>⑥</p>	<p>⑦</p>	<p>⑧</p>	<p>⑨</p>	<p>⑩</p>
<p>⑪</p>	<p>⑫</p>	<p>⑬</p>	<p>⑭</p>	<p>⑮</p>
<p>⑯</p>	<p>⑰</p>	<p>⑱</p>	<p>⑲</p>	<p>⑳</p>
<p>㉑</p>	<p>㉒</p>	<p>㉓</p>	<p>㉔</p>	<p>㉕</p>
<p>㉖</p>	<p>㉗</p>	<p>㉘</p>	<p>㉙</p>	<p>㉚</p>

Варианты расчетных схем к задаче 23

<p>1</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>4</p>	<p>5</p>
<p>6</p>	<p>7</p>	<p>8</p>	<p>9</p>	<p>10</p>
<p>11</p>	<p>12</p>	<p>13</p>	<p>14</p>	<p>15</p>
<p>16</p>	<p>17</p>	<p>18</p>	<p>19</p>	<p>20</p>
<p>21</p>	<p>22</p>	<p>23</p>	<p>24</p>	<p>25</p>
<p>26</p>	<p>27</p>	<p>28</p>	<p>29</p>	<p>30</p>

Варианты расчетных схем к задаче 24

<p>①</p>	<p>②</p>	<p>③</p>	<p>④</p>	<p>⑤</p>
<p>⑥</p>	<p>⑦</p>	<p>⑧</p>	<p>⑨</p>	<p>⑩</p>
<p>⑪</p>	<p>⑫</p>	<p>⑬</p>	<p>⑭</p>	<p>⑮</p>
<p>⑯</p>	<p>⑰</p>	<p>⑱</p>	<p>⑲</p>	<p>⑳</p>
<p>㉑</p>	<p>㉒</p>	<p>㉓</p>	<p>㉔</p>	<p>㉕</p>
<p>㉖</p>	<p>㉗</p>	<p>㉘</p>	<p>㉙</p>	<p>㉚</p>

6.2. Расчет балки на прочность – подбор размеров поперечного сечения

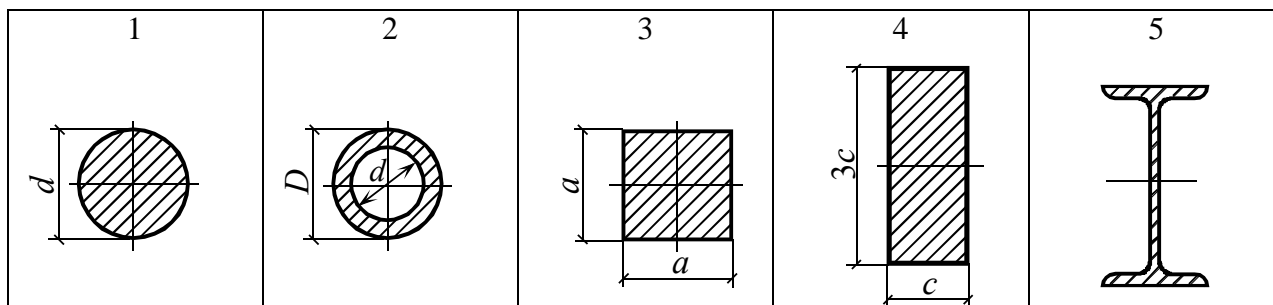
В учебнике [1] – глава 6, § 6.3; в пособии [2]– стр. 67-75

Задача 25. Дана расчетная схема балки, выбранная по варианту задачи 23.

Требуется:

1. Определить из условия прочности по нормальным напряжениям размеры поперечных сечений пяти типов, приняв расчетное сопротивление $R_y = 220$ МПа.

2. Оценить влияние формы сечения на вес балки, вычислив на сколько процентов вес каждой из балок будет превышать вес наиболее легкой из них.



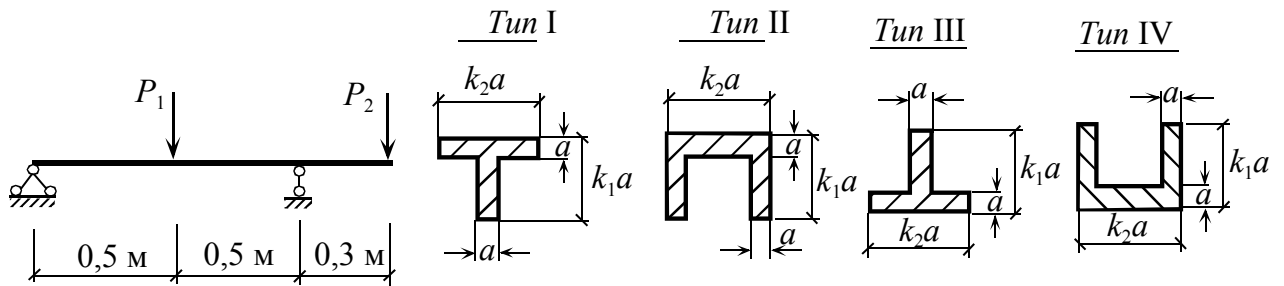
6.3. Расчет балки из серого чугуна

В учебнике [1] – глава 6, § 6.3-6.4; в пособии [2]– стр. 67-75

Задача 26. Балка, изготовленная из чугуна марки СЧ (серый чугун), нагружена двумя сосредоточенными силами.

Требуется:

1. Для данной схемы (см. рис.) построить эпюры поперечных сил Q и изгибающих моментов M .
2. Определить момент инерции сечения относительно главной центральной оси z , выразив его через параметр a .
3. Из условий прочности по нормальным напряжениям определить размеры поперечного сечения. Учесть, что расчетное сопротивление чугуна на растяжение и сжатие разное.
4. Для опасных сечений по нормальным и касательным напряжениям построить эпюры σ и τ , соответственно.



Алфавит	Тип сечения	k_1	k_2	P_1 , кН	P_2 , кН	Марка чугуна
<i>а б в</i>	I	3	3,5	100	500	Сч-15
<i>г д е ё</i>	II	3,5	4,0	120	450	Сч-20
<i>ж з и й</i>	III	4,0	4,5	150	400	Сч-25
<i>к л м</i>	IV	4,5	5,0	180	350	Сч-30
<i>н о п</i>	I	5,0	5,5	200	300	Сч-15
<i>р с т</i>	II	4,5	6,0	250	250	Сч-20
<i>у ф х</i>	III	4,0	5,5	300	200	Сч-25
<i>ц ч ш щ</i>	IV	3,5	5,0	350	150	Сч-30
<i>ъ ы ь</i>	I	3,0	4,5	400	100	Сч-15
<i>э ю я</i>	II	2,5	4,0	450	120	Сч-20

6.4. Расчет деформаций при плоском изгибе балок

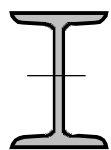
В учебнике [1] – глава 6, § 6.3-6.4; в пособии [2]– стр. 67-75

Задача 27. Дана балка по расчетной схеме, выбранной к задаче 22.

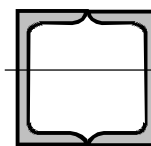
Требуется:

1. Из условия прочности по нормальным напряжениям подобрать прокатные профили для двух вариантов сечений:

а) один двутавр ;



б) два швеллера.

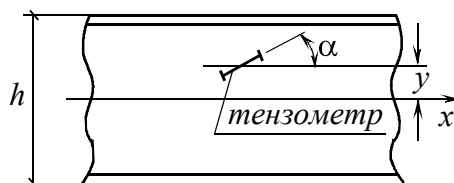


2. Проверить прочность обеих балок по касательным напряжениям.

3. Сравнить массу балок по вариантам (а) и (б).

4. Для двутавровой балки (вариант а) определить изменение показаний тензометра, установленного в сечении, расположенном посередине консоли.

Для тензометра принять: коэффициент увеличения $k = 1000$, база $l_T = 20$ мм.



Алфавит	α , град	y	Марка стали
а б в	30	$0,2h$	16Д
г д е ё	35	$0,25h$	16Д
ж з и й	40	$0,30h$	18СП
к л м	45	$0,35h$	18СП
н о п	50	$0,00h$	09Г2С
р с т	55	$-0,40h$	09Г2С
у ф х	60	$-0,35h$	10ХСНД
ц ч ш щ	50	$-0,30h$	10ХСНД
ъ ы ь	40	$0,25h$	15ХСНД
э ю я	30	$0,2h$	15ХСНД

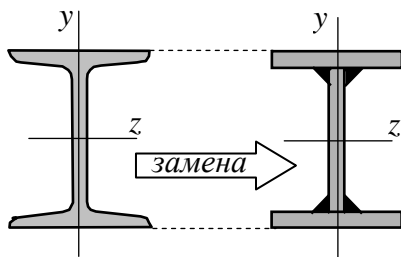
6.5. Расчет сварной балки

В учебнике [1] – глава 6, § 6.3-6.5; в пособии [2]– стр. 67-75

Задача 28. Дана балка по расчетной схеме к задаче 20. Принять следующие характеристики прочности для материала балки: расчетное сопротивление на растяжение $R_y = 200$ МПа, на сдвиг $R_s = 120$ МПа; для материала сварного шва расчетное сопротивление $R_w = 100$ МПа.

Требуется:

1. Используя условие прочности по нормальным напряжениям, подобрать сечение балки в виде стандартного двутавра.



2. Заменить стандартный двутавр сварным, набранным из листов толщиной 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 мм. При этом необходимо добиться, чтобы момент сопротивления полученного сечения отличался от стандартного не более, чем на 5 %.

3. Проверить прочность сварного двутавра по нормальным и касательным напряжениям. Увеличить толщину стенки в случае не выполнения условия по сдвигу.

4. Изобразить сечение в масштабе и построить эпюры σ и τ в сечениях, опасных по нормальным и касательным напряжениям, соответственно.

5. Определить высоту (катет) сварного шва, соединяющего полку со стенкой. В случае, если высота сплошного шва окажется меньше 3,0 мм, применить прерывистый шов высотой 5,0 мм и длиной 20 мм, определив его шаг.

6.6. Анализ напряженного состояния двутавровой балки

В учебнике [1] – глава 6, § 6.5; в пособии [2]– стр. 67-75

Задача 29. Дана балка по расчетной схеме к задаче 24.

Требуется:

1. Используя условие прочности по нормальным напряжениям и таблицу сортамента прокатных профилей, определить номер двутавра.

2. Проверить прочность выбранной двутавровой балки по касательным напряжениям.

3. Изобразить сечение в масштабе. Вычислить нормальные σ_x , касательные τ_y , главные σ_1 и σ_3 и максимальные касательные напряжения τ_{\max} в семи точках сечения и построить эпюры этих величин.

4. Для пяти точек, в которых производились расчеты напряжений:

а) показать напряжения, действующие на площадках, ориентированных по осям x , y и главным осям;

б) построить круги Мора.

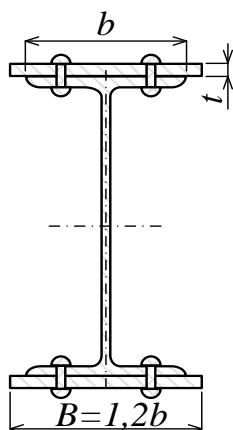
Алфавит	Марка стали
<i>а б в</i>	ВСт3кп
<i>г д е ё</i>	ВСт3кп
<i>ж з и й</i>	16Д
<i>к л м</i>	16Д
<i>н о п</i>	09Г2С
<i>р с т</i>	09Г2С
<i>у ф х</i>	10ХСНД
<i>ц ч ш щ</i>	10ХСНД
<i>ъ ы ь</i>	18Гсп
<i>э ю я</i>	18Гсп

6.7. Расчет клепанной балки

В учебнике [1] – глава 6, § 6.3-6.4; в пособии [2]– стр. 67-75

Задача 30. Для балки, рассмотренной в задаче 29.

Требуется:



1. Усилить двутавр листами, симметрично прикрепленными к полкам (см. рис). Толщину листа t взять из таблицы исходных данных. Ширину листа B назначить самостоятельно на 20% больше ширины полки двутавра.

2. Определить момент инерции и момент сопротивления усиленной балки с учетом ослаблений под заклепочные отверстия.

3. Определить во сколько раз увеличилась грузоподъемность усиленной балки по сравнению с балкой из прокатного двутавра.

4. Из условия прочности по нормальным напряжениям вычислить максимально допустимые усилия Q_{\max} и M_{\max} , которые будут действовать в сечениях усиленной балки.

5. Проверить прочность усиленной балки по нормальным напряжениям и касательным напряжениям при увеличении нагрузки.

6. Определить шаг заклепок, прикрепляющих листы к полкам, считая диаметр заклепок $d = 10$ мм, расчетные сопротивление на срез $R_s = 100$ МПа, на смятие $R_p = 250$ МПа.

Алфавит	t , мм
<i>а б в</i>	4,0
<i>г д е ё</i>	5,0
<i>ж з и й</i>	6,0
<i>к л м</i>	8,0
<i>н о п</i>	10,0
<i>р с т</i>	4,0
<i>у ф х</i>	5,0
<i>ц ч ш щ</i>	6,0
<i>ъ ы ь</i>	8,0
<i>э ю я</i>	10,0

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахметзянов М.Х., Грес П.В., Лазарев И.Б. Сопротивление материалов. Учеб. М: Высшая школа, 2007. 334 с.
2. Агуленко В.Н., Кутовой В.П., Маслов Е.Б., Тихомиров В.М., Шабанов А.П. Сопротивление материалов. Сборник задач и примеры решений. Часть I. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2013. 83 с.
3. Агуленко В.Н., Адегова Л.А., Тихомиров В.М. Сопротивление материалов. 600 вопросов и ответов. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2016. 148 с.
4. Агуленко В.Н. Сопротивление материалов. Учебное пособие. Ч. I. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2002. 104 с.
5. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. М.: Высш. шк., 1995. 560 с.
6. Грес П.В. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов. М.: Высш. шк., 2004. 135 с.
7. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. М.: Высш. шк., 1975. 734 с.
8. Краснов Л.А. Справочник для решения задач по сопротивлению материалов. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2004. 117 с.
9. Миролюбов И.Н. и др. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов. М.: Высш. шк., 2004. 399 с.
10. Сборник задач по сопротивлению материалов /Под ред. В.К. Качурина. М.: Наука, 1972. 432 с.

Физико-механические характеристики конструкционных материалов, используемые при решении задач*

Таблица А1

Физические характеристики некоторых конструкционных материалов

№ п\п	Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Модуль упругости E , МПа	Модуль сдвига G , МПа	Коэффициент Пуассона, ν	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-7}$, 1/град
1	Сталь	7800	210000	80000	0,3	120
2	Чугун серый	7200	100000	40000	0,25	100
3	Алюминий	2700	70000	27000	0,3	230
4	Медь	8500	100000	40000	0,2	165
5	Бетон тяжелый	2500	40000	16000	0,2	100
6	Бетон мелкозернистый	2000	20000	8000		70
7	Древесина (сосна): вдоль волокон поперек волокон	500 500	10000 400	—		

Таблица А2

Механические характеристики сталей

№ п/п	Марка	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	Применение
Углеродистые стали					
1	Ст0	190	310	23	Для неответственных элементов конструкций малонагруженных деталей
2	Ст1пс	200	320	35	
3	Ст2пс	210	340	32	
4	Ст3пс	220	370	26	Сварные конструкции при $t > 0^0$ С
5	Ст3Гпс	230	380	25	Гладкая арматура, сварные детали
6	A11	250	420	—	Автоматная сталь, точеные детали, крепеж
7	Ст5пс	270	500	19	Арматура периодического профиля, крепеж повышенной прочности
Низколегированные и улучшаемые стали					
8	45	360	610	19	Точеные детали, валы
9	35ГС	400	600	14	Арматура периодического профиля
10	40ХН	800	1000	11	Валя, шестерни, рычаги и другие ответственные детали
11	30ХГС	850	1100	10	Оси, ответственные сварные детали, крепеж
12	65Г	440	750	9	Пружины
13	65Г	700	900	11	Рессоры, пружины

* Значения приближенные, для учебных целей

Таблица А3

**Механические характеристики стали для строительных конструкций,
мостов, подъемно-транспортных машин и общего машиностроения**

Марка	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	R_y , МПа	R_s , МПа	R_p , МПа	Применение
ВСтЗкп	220	370	26	200	115	370	Сварные конструкции
16Д	210	310	26	220	130	400	Сварные несущие кон- струкции и мосты
20	250	420	25	230	135	450	– "–
18сп, 18Гсп	230	370	–	220	130	370	– "–
09Г2С	300	500	21	330	190	370	– "–
12Г2СМФ	600	770	14	–	–	–	– "–
16Г2АФ	440	590	18	400	230	750	То же, в суровых климати- ческих условиях
10ХСНД	400	550	19	350	200	400	– "–
15ХСНД	350	500	21	300	175	400	– "–

Таблица А4

Механические характеристики алюминиевых сплавов

№ п/п	Марка	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	R_y , МПа	R_s , МПа	R_p , МПа	Применение
1	Д1Т	220	380	12	–	–	–	В различных областях современной техники
2	Д16Т	260	400	10	–	–	–	
3	Д19Т	300	400	10	–	–	–	
4	В95М	–	250	10	–	–	–	
5	В95Т1	400	500	6	–	–	–	Малонагруженные эле- менты
6	АД1М	–	250	12	25	15	40	
7	АМцМ	–	170	20	40	25	65	Несущие элементы кле- паных и сварных кон- струкций
8	АД31Т1	220	240	11	150	90	225	
9	АМг2П	100	230	10	150	90	240	
10	1915Т	–	–	–	200	120	320	Клепаные несущие кон- струкции
11	1925Т	–	–	–	175	105	280	

Таблица А5

Расчетное сопротивление срезу и растяжению для алюминиевых болтов и заклепок

Материал болта или заклепок	Болт АМ 5ц	Болт АВТ1	Заклепка АД1Н	Заклепка АМг2Н	Заклепка АМг5пМ	Заклепка АВТ
Расчетное сопротив- ление срезу R_{bs} , МПа	80	85	35	70	100	100
Расчетное сопротив- ление растяжению R_{bt} , МПа	125	160	–	–	–	–

Таблица А6

**Механические характеристики литья из углеродистой
и низколегированной стали и алюминия**

№ п/п	Марка	Материал (Термообработка)	σ_T , МПа	σ_{δ} , МПа	δ , %	R_y , МПа	R_s , МПа	R_p , МПа
1	15Л	Сталь (Норм. + отп.)	200	400	24	150	90	230
2м	25Л	То же	240	450	19	180	110	270
3м	35Л	»	280	500	15	210	130	320
4	45Л	»	320	550	12	250	150	370
5м	20ГЛ	»	280	550	18	210	130	350
6м	20ФЛ	»	300	500	18	220	130	315
7м	35ХН2МЛ	»	–	–	–	400	240	440
8	30ХНМЛ	»	550	700	20	–	–	–
9	АЛ8	Алюминий	–	–	–	140	80	–

Таблица А7

Механические характеристики чугунного литья, МПа

Марка	Наименование	$\sigma_{ит}$	$\sigma_{ис}$	$\sigma_{изг}$	R_c	R_t
СЧ-15	Чугун серый	150	650	320	55	40
СЧ-20	»	200	900	400	65	50
СЧ-25	»	250	1000	450	85	65
СЧ-30	»	300	1150	500	100	75

Здесь $\sigma_{ит}$, $\sigma_{ис}$ – предел прочности при растяжении и сжатии соответственно, $\sigma_{изг}$ – предел прочности при испытании на изгиб; R_c – расчетное сопротивление на сжатие; R_t – расчетное сопротивление на растяжение.

Таблица А8

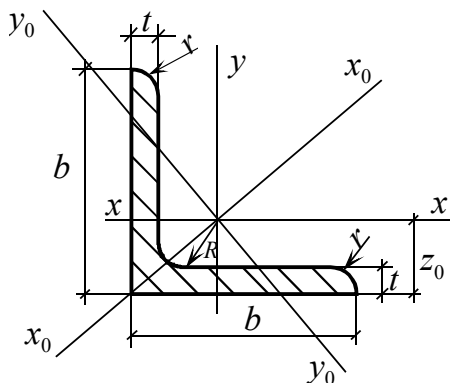
Физико-механические характеристики бетона*

Класс бетона по прочности на сжатие		В20	В30	В50	В60
Расчетное сопротивление по прочности на сжатие R_{bp} , МПа		12	17	28	33
То же на растяжение R_{bt} , МПа		0,9	1,2	1,6	1,7
Начальный модуль упругости E , МПа	тяжелый бетон	27000	32000	39000	40000
	мелкозернистый бетон	22000	2600	–	–

* Физико-механические характеристики бетона существенно зависят от состава. Здесь приведены ориентировочные значения

Сортамент стального проката (для учебных целей)

Уголки стальные горячекатаные равнополочные – Сортамент (ГОСТ 8509-93)



b – ширина полки;
 t – толщина полки;
 R – радиус внутреннего закругления;
 r – радиус закругления полки.

Номер уголка	Размеры уголка, мм				Площадь попереч- ного се- чения, см ²	Справочные	
	b	t	R	r		$x - x$	
						$J_x, \text{см}^4$	$i_x, \text{см}$
2	20	3	3,5	1,2	1,13	0,40	0,59
		4			1,46	0,50	0,58
2,5	25	3	3,5	1,2	1,43	0,81	0,75
		4			1,86	1,03	0,74
		5			2,27	1,22	0,73
2,8	28	3	4,0	1,3	1,62	1,16	0,85
3	30	3	4,0	1,3	1,74	1,45	0,91
		4			2,27	1,84	0,90
		5			2,78	2,20	0,89
3,2	32	3	4,5	1,5	1,86	1,77	0,97
		4			2,43	2,26	0,96
3,5	35	3	4,5	1,5	2,04	2,35	1,07
		4			2,67	3,01	1,06
		5			3,28	3,61	1,05
4	40	3	5,0	1,7	2,35	3,55	1,23
		4			3,08	4,58	1,22
		5			3,79	5,53	1,21
		6			4,48	6,41	1,20
4,5	45	3	5,0	1,7	2,65	5,13	1,39
		4			3,48	6,63	1,38
		5			4,29	8,03	1,37
		6			5,08	9,35	1,36
5	50	3	5,5	1,8	2,96	7,11	1,55
		4			3,89	9,21	1,54
		5			4,80	11,20	1,53
		6			5,69	13,07	1,52
		7			6,56	14,84	1,50
		8			7,41	16,51	1,49

Сортамент (ГОСТ 8509-93)

 J – момент инерции; i – радиус инерции; z_0 – расстояние от центра тяжести до наружной грани полки; J_{xy} – центробежный момент инерции (абс. величина).

величины для осей						Масса 1 м уголка, кг
$x_0 - x_0$		$y_0 - y_0$		$J_{xy}, \text{см}^4$	$z_0, \text{см}$	
$J_{x_0 \max}, \text{см}^4$	$i_{x_0 \max}, \text{см}$	$J_{y_0 \min}, \text{см}^4$	$i_{y_0 \min}, \text{см}$			
0,63	0,75	0,17	0,39	0,23	0,60	0,89
0,78	0,73	0,22	0,38	0,28	0,64	1,15
1,29	0,95	0,34	0,49	0,47	0,73	1,12
1,62	0,93	0,44	0,48	0,59	0,76	1,46
1,91	0,92	0,53	0,48	0,69	0,80	1,78
1,84	1,07	0,48	0,55	0,68	0,80	1,27
2,30	1,15	0,60	0,59	0,85	0,85	1,36
2,92	1,13	0,77	0,58	1,08	0,89	1,78
3,47	1,12	0,94	0,58	1,27	0,93	2,18
2,80	1,23	0,74	0,63	1,03	0,89	1,46
3,58	1,21	0,94	0,62	1,32	0,94	1,91
3,72	1,35	0,97	0,69	1,37	0,97	1,60
4,76	1,33	1,25	0,68	1,75	1,01	2,10
5,71	1,32	1,52	0,68	2,10	1,05	2,58
5,63	1,55	1,47	0,79	2,08	1,09	1,85
7,26	1,53	1,90	0,78	2,68	1,3	2,42
8,75	1,52	2,30	0,78	3,22	1,17	2,98
10,13	1,50	2,70	0,78	3,72	1,21	3,52
8,13	1,75	2,12	0,89	3,00	1,21	2,08
10,52	1,74	2,74	0,89	3,89	1,26	2,73
12,74	1,72	3,33	0,88	4,71	1,30	3,37
14,80	1,71	3,90	0,88	5,45	1,34	3,90
11,27	1,95	2,95	1,00	4,16	1,33	2,32
14,63	1,94	3,80	0,99	5,42	1,38	3,05
17,77	1,92	4,63	0,98	6,57	1,42	3,77
20,72	1,91	5,43	0,98	7,65	1,46	4,47
23,47	1,89	6,21	0,97	8,63	1,50	5,15
26,03	1,87	6,98	0,97	9,52	1,53	5,82

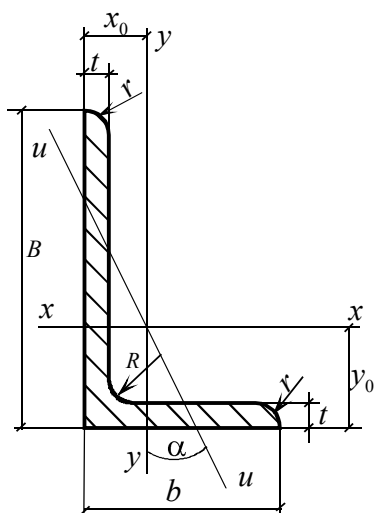
Номер уголка	Размеры уголка, мм				Площадь попереч- ного се- чения, см ²	Справочные	
	<i>b</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>		<i>x – x</i>	
						<i>J_x</i> , см ⁴	<i>i_x</i> , см
5,6	56	4	6,0	2,0	4,38	13,10	1,73
		5			5,41	15,97	1,72
6	60	4	7,0	2,3	4,72	16,21	1,85
		5			5,83	19,79	1,84
		6			6,92	23,21	1,83
		8			9,04	29,55	1,81
		10			11,08	35,32	1,79
6,3	63	4	7,0	2,3	4,96	18,86	1,95
		5			6,13	23,10	1,94
		6			7,28	27,06	1,93
7	70	4,5	8,0	2,7	6,20	29,04	2,16
		5			6,86	31,94	2,16
		6			8,15	37,58	2,15
		7			9,42	42,98	2,14
		8			10,67	48,16	2,12
		10			13,11	57,90	2,10
7,5	75	5	9,0	3,0	7,39	39,53	2,31
		6			8,78	46,57	2,30
		7			10,15	53,34	2,29
		8			11,50	59,84	2,28
		9			13,83	66,10	2,27
8	80	5,5	9,0	3,0	8,63	52,68	2,47
		6			9,38	56,97	2,47
		7			10,85	65,31	2,45
		8			12,30	73,36	2,44
		10			15,14	88,58	2,42
		12			17,90	102,74	2,40
9	90	6	10,0	3,3	10,61	82,10	2,78
		7			12,28	94,30	2,77
		8			13,93	106,11	2,76
		9			15,60	118,00	2,75
		10			17,17	128,60	2,74
		12			20,33	149,67	2,71
10	100	6,5	12,0	4,0	12,82	122,10	3,09
		7			13,75	130,59	3,08
		8			15,60	147,19	3,07
		10			19,24	178,95	3,05
		12			22,80	208,90	3,03
		14			26,28	237,15	3,00
		15			27,99	250,68	2,99
		16			29,68	263,82	2,98
11	110	7	12,0	4,0	15,15	175,61	3,40

величины для осей						Масса 1 м уголка, кг
$x_0 - x_0$		$y_0 - y_0$		$J_{xy}, \text{см}^4$	$z_0, \text{см}$	
$J_{x_0 \max}, \text{см}^4$	$i_{x_0 \max}, \text{см}$	$J_{y_0 \min}, \text{см}^4$	$i_{y_0 \min}, \text{см}$			
20,79	2,18	5,41	1,11	7,69	1,52	3,44
25,36	2,16	6,59	1,10	9,41	1,57	4,25
25,69	2,33	6,72	1,19	9,48	1,62	3,71
31,40	2,32	8,18	1,18	11,61	1,66	4,58
36,81	2,31	9,60	1,18	13,60	1,70	5,43
46,77	2,27	12,34	1,17	17,22	1,78	7,10
55,64	2,24	15,00	1,16	20,32	1,85	8,70
29,90	2,45	7,81	1,25	11,00	1,69	3,90
36,80	2,44	9,52	1,25	13,70	1,74	4,81
42,91	2,43	11,18	1,24	15,90	1,78	5,72
46,03	2,72	12,04	1,39	17,00	1,88	4,87
50,67	2,72	13,22	1,39	18,70	1,90	5,38
59,64	2,71	15,52	1,38	22,10	1,94	6,39
68,19	2,69	17,77	1,37	25,20	1,99	7,39
76,35	2,68	19,97	1,37	28,20	2,02	8,37
91,52	2,64	24,27	1,36	33,60	2,10	10,29
62,65	2,91	16,41	1,49	23,10	2,02	5,80
73,87	2,90	19,28	1,48	27,30	2,06	6,89
84,61	2,89	22,07	1,48	31,20	2,10	7,96
94,89	2,87	24,80	1,47	35,00	2,15	9,02
104,72	2,86	27,48	1,46	38,60	2,18	10,07
83,56	3,11	21,80	1,59	30,90	2,17	6,78
90,40	3,11	23,54	1,58	33,40	2,19	7,36
103,66	3,09	26,97	1,58	38,30	2,23	8,51
116,39	3,08	30,32	1,57	43,00	2,27	9,65
140,31	3,04	36,85	1,56	56,70	2,35	11,88
162,27	3,01	43,21	1,55	59,50	2,42	14,05
130,00	3,50	33,97	1,79	48,10	2,43	8,33
149,67	3,49	38,94	1,78	55,40	2,47	9,64
168,42	3,48	43,80	1,77	62,30	2,51	10,93
186,00	3,46	48,60	1,77	68,00	2,55	12,20
203,93	3,45	53,27	1,76	75,30	2,59	13,48
235,88	3,41	62,40	1,75	86,20	2,67	15,96
193,46	3,89	50,73	1,99	71,40	2,68	10,06
207,01	3,88	54,16	1,98	76,40	2,71	10,79
233,46	3,87	60,92	1,98	86,30	2,75	12,25
283,83	3,84	74,08	1,96	110,00	2,83	15,10
330,95	3,81	86,87	1,95	122,00	2,91	17,90
374,98	3,78	99,32	1,94	138,00	2,99	20,63
395,87	3,76	105,48	1,94	145,00	3,03	21,97
416,04	3,74	111,61	1,94	152,00	3,05	23,30
278,54	4,29	72,68	2,19	106,00	2,96	11,87

Номер уголка	Размеры уголка, мм				Площадь попереч- ного се- чения, см ²	Справочные	
	<i>b</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>		<i>x - x</i>	
						<i>J_x</i> , см ⁴	<i>i_x</i> , см
12	120	6	14,0	4,5	17,20	198,17	3,39
		8			18,80	259,75	3,72
		10			23,24	317,16	3,69
		12			27,60	371,80	3,67
		15			33,89	448,90	3,63
12,5	125	8	14,0	4,6	19,69	294,36	3,87
		9			22,00	327,48	3,86
		10			24,33	359,82	3,85
		12			28,89	422,23	3,82
		14			33,37	481,76	3,80
		16			37,77	538,56	3,78
14	140	9	14,0	4,6	24,72	465,72	4,34
		10			27,33	512,29	4,33
		12			32,49	602,49	4,31
15	150	10	14,0	4,6	29,33	634,76	4,65
		12			34,89	747,48	4,63
		15			43,08	908,38	4,59
		18			51,09	1060,08	4,56
16	160	10	16,0	5,3	31,43	774,24	4,96
		11			34,42	844,21	4,95
		12			37,39	912,89	4,94
		14			43,57	1046,47	4,92
		16			49,07	1175,19	4,89
		18			54,79	1290,24	4,87
		20			60,40	1418,85	4,85
18	180	11	16,0	5,3	38,80	1216,44	5,60
		12			42,19	1316,62	5,59
		15			52,18	1607,36	5,55
		18			61,99	1884,07	5,51
		20			68,43	2061,11	5,49
20	200	12	18,0	6,0	47,10	1822,78	6,22
		13			50,85	1960,77	6,21
		14			54,60	2097,00	6,20
		16			61,98	2362,57	6,17
		18			69,30	2620,64	6,15
		20			76,54	2871,47	6,12
		24			90,78	3350,66	6,08
		25			94,29	3466,21	6,06
		30			111,54	4019,60	6,00
22	220	14	21,0	7,0	60,38	2814,36	6,83
		16			68,58	3175,44	6,80
25	250	16	24,0	8,0	78,40	4717,10	7,76
		18			87,72	5247,24	7,73
		20			96,96	5764,87	7,71
		22			106,12	6270,32	7,69
		25			119,71	7006,39	7,65
		28			133,12	7716,86	7,61
		30			141,96	8176,51	7,59

величины для осей						Масса 1 м уголка, кг
$x_0 - x_0$		$y_0 - y_0$		$J_{xy}, \text{см}^4$	$z_0, \text{см}$	
$J_{x_0 \max}, \text{см}^4$	$i_{x_0 \max}, \text{см}$	$J_{y_0 \min}, \text{см}^4$	$i_{y_0 \min}, \text{см}$			
314,51	4,28	81,83	2,18	116,00	3,00	13,50
412,45	4,68	107,04	2,39	153,00	3,25	14,76
503,79	4,66	130,54	2,37	187,00	3,33	18,24
590,28	4,62	153,33	2,36	218,00	3,41	21,67
711,32	4,57	186,48	3,34	262,00	3,53	26,68
466,76	4,87	121,96	2,49	172,00	3,36	15,46
520,00	4,86	135,88	2,48	192,00	3,40	17,30
571,04	4,84	148,59	2,47	211,00	3,45	19,10
670,02	4,82	174,43	2,46	248,00	3,53	22,68
763,90	4,78	199,62	2,45	282,00	3,61	26,20
852,84	4,75	224,29	2,44	315,00	3,68	29,65
739,42	5,47	192,03	2,79	274,00	3,78	19,41
813,62	5,46	210,96	2,78	301,00	3,82	21,45
956,98	5,43	248,01	2,76	354,00	3,90	25,50
1008,56	5,86	260,97	2,98	374,00	4,07	23,02
1187,86	5,83	307,09	2,97	440,00	4,15	27,39
1442,60	5,79	374,17	2,95	534,00	4,27	33,82
1680,92	5,74	439,24	2,93	621,00	4,38	40,11
1229,10	6,25	319,38	3,19	455,00	4,30	24,67
1340,66	6,24	347,77	3,18	496,00	4,35	27,02
1450,00	6,23	375,78	3,17	537,00	4,39	29,35
1662,13	6,20	430,81	3,16	615,00	4,47	33,97
1865,73	6,17	484,64	3,14	690,00	4,55	38,52
2061,03	6,13	537,46	3,13	771,00	4,63	43,01
2248,26	6,10	589,43	3,12	830,00	4,70	47,44
1933,10	7,06	499,78	3,59	716,00	4,85	30,47
2092,78	7,04	540,45	3,58	776,00	4,89	33,12
2554,99	7,00	659,73	3,56	948,00	5,01	40,96
2992,69	6,95	775,44	3,54	1108,00	5,13	48,66
3271,31	6,91	850,92	3,53	1210,00	5,20	53,72
2896,16	7,84	749,40	3,99	1073,00	5,37	36,97
3116,18	7,83	805,35	3,98	1156,00	5,42	39,92
3333,00	7,81	861,60	3,97	1236,00	5,46	42,80
3755,39	7,78	969,74	3,96	1393,00	5,54	48,65
4164,54	7,75	1076,74	3,94	1544,00	5,62	54,40
4560,42	7,72	1181,92	3,93	1689,00	5,70	60,08
5313,59	7,65	1387,73	3,91	1963,00	5,85	71,26
5494,04	7,63	1438,38	3,91	2028,00	5,89	74,02
6351,05	7,55	1698,16	3,89	2332,00	6,07	87,56
4470,15	8,60	1158,56	4,38	1655,00	5,91	47,40
5045,37	8,58	1305,02	4,36	1862,00	6,02	53,83
7492,10	9,78	1942,09	4,98	2775,00	6,75	61,55
8336,69	9,75	2157,78	4,96	3089,00	6,83	68,86
9159,73	9,72	2370,01	4,94	3395,00	6,91	76,11
9961,60	9,69	2579,04	4,93	3691,00	7,00	83,31
11125,52	9,64	2887,26	4,91	4119,00	7,11	93,97
12243,84	9,59	3189,89	4,90	4527,00	7,23	104,50
12964,66	9,56	3388,98	4,89	4788,00	7,31	111,44

Уголки стальные горячекатаные неравнополочные (ГОСТ 8510-86)



B – ширина большей полки;
 b – ширина меньшей полки;
 t – толщина полки;
 R – радиус внутреннего закругления;
 r – радиус закругления полки.
 J – момент инерции;
 i – радиус инерции;
 x_0, y_0 – расстояние от центра тяжести до наружных
 граней полки;
 J_{xy} – центробежный момент инерции (абс. величина).

Номер уголка	Размеры уголка, мм					Площадь попереч- ного се- чения, см ²	Справочные	
	B	b	t	R	r		$x - x$	
							$J_x, \text{см}^4$	$i_x, \text{см}$
2,5/1,6	25	16	3	3,5	1,2	1,16	0,70	0,78
3/2	30	20	3	3,5	1,2	1,43	1,27	0,94
			4			1,86	1,61	0,93
3,2/2	32	20	3	3,5	1,2	1,49	1,52	1,01
			4			1,94	1,93	1,00
4/2,5	40	25	3	4,0	1,3	1,89	3,06	1,27
			4			2,47	3,93	1,26
			5			3,03	4,73	1,25
4/3	40	30	4	4,0	1,3	2,67	4,18	1,25
			5			3,28	5,04	1,24
4,5/2,8	45	28	3	5,0	1,7	2,14	4,41	1,43
			4			2,80	5,68	1,42
5/3,2	50	32	3	5,5	1,8	2,42	6,18	1,60
			4			3,17	7,98	1,59
5,6/3,6	56	36	4	6,0	2,0	3,58	11,37	1,78
			5			4,41	13,82	1,77
6,3/4,0	63	40	4	7,0	2,3	4,04	16,33	2,01
			5			4,98	19,91	2,00
			6			5,90	23,31	1,99
			8			7,68	29,60	1,96
6,5/5	65	50	5	6,0	2,0	5,56	23,41	2,05
			6			6,60	27,46	2,04
			7			7,62	31,32	2,03
			8			8,62	35,00	2,02
7/4,5	70	45	5	7,5	2,5	5,59	27,76	2,23
7,5/5	75	50	5	8,0	2,7	6,11	34,81	2,39
			6			7,25	40,92	2,38
			7			8,37	46,77	2,36
			8			9,47	52,38	2,35

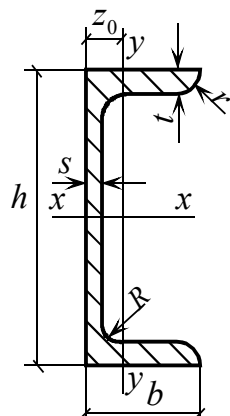
Таблица Б2

величины для осей							Угол наклона оси $\text{tg}\alpha$	Масса 1 м уголка, кг
$y - y$		$u - u$		$x_0, \text{ см}$	$y_0, \text{ см}$	$J_{xy}, \text{ см}^4$		
$I_y, \text{ см}^4$	$i_y, \text{ см}$	$J_{u \min}, \text{ см}$	$i_u, \text{ см}$					
0,22	0,44	0,13	0,34	0,42	0,86	0,22	0,392	0,91
0,45	0,56	0,26	0,43	0,51	1,00	0,43	0,427	1,12
0,56	0,55	0,34	0,43	0,54	1,04	0,54	0,421	1,46
0,46	0,55	0,28	0,43	0,49	1,08	0,47	0,382	1,17
0,57	0,54	0,35	0,43	0,53	1,12	0,59	0,374	1,52
0,93	0,70	0,56	0,54	0,59	1,32	0,96	0,385	1,48
1,18	0,69	0,71	0,54	0,63	1,37	1,22	0,381	1,94
1,41	0,68	0,86	0,53	0,66	1,41	1,44	0,374	2,38
2,01	0,87	1,09	0,64	0,78	1,28	1,68	0,544	2,09
2,41	0,86	1,33	0,64	0,82	1,32	2,00	0,539	2,57
1,32	0,79	0,79	0,61	0,64	1,47	1,38	0,382	1,68
1,69	0,78	1,02	0,60	0,68	1,51	1,77	0,379	2,20
1,99	0,91	1,18	0,70	0,72	1,60	2,01	0,403	1,90
2,56	0,90	1,52	0,69	0,76	1,65	2,59	0,401	2,49
3,70	1,02	2,19	0,78	0,84	1,82	3,74	0,406	2,81
4,48	1,01	2,65	0,78	0,88	1,87	4,50	0,404	3,46
5,16	1,13	3,07	0,87	0,91	2,03	5,25	0,397	3,17
6,26	1,12	3,73	0,86	0,95	2,08	6,41	0,396	3,91
7,29	1,11	4,36	0,86	0,99	2,12	7,44	0,393	4,63
9,15	1,09	5,58	0,85	1,07	2,20	9,27	0,386	6,03
12,08	1,47	6,41	1,07	1,26	2,00	9,77	0,576	4,36
14,12	1,46	7,52	1,07	1,30	2,04	11,46	0,575	5,18
16,05	1,45	8,60	1,06	1,34	2,08	12,94	0,571	5,98
18,88	1,44	9,65	1,06	1,37	2,12	13,61	0,570	6,77
9,05	1,27	5,34	0,98	1,05	2,28	9,12	0,406	4,39
12,47	1,43	7,24	1,09	1,17	2,39	12,00	0,436	4,79
14,60	1,42	8,48	1,08	1,21	2,44	14,10	0,435	5,69
16,61	1,41	9,69	1,08	1,25	2,48	16,18	0,435	6,57
18,52	1,40	10,87	1,07	1,29	2,52	17,80	0,430	7,43

Номер уголка	Размеры уголка, мм					Площадь попереч- ного се- чения, см ²	Справочные	
	B	b	t	R	r		x – x	
							J _x , см ⁴	i _x , см
8/5	80	50	5	8,0	2,8	6,3	41,64	2,56
			6			7,55	48,98	2,55
8/6	80	60	6	8,0	2,9	8,15	52,06	2,53
			7			9,42	59,61	2,52
			8			10,67	66,88	2,50
9/5,6	90	56	5,5	9,0	3,0	7,86	65,28	2,88
			6			8,54	70,58	2,88
			8			11,18	90,87	2,85
10/6,3	100	63	6	10,0	3,3	9,58	98,29	3,20
			7			11,09	112,86	3,19
			8			12,57	126,96	3,18
			10			15,47	153,83	3,15
10/6,5	100	65	7	10,0	3,4	11,23	114,05	3,19
			8			12,73	138,31	3,18
			10			15,67	155,52	3,15
11/7	110	70	6,5	10,0	3,5	11,45	142,42	3,53
			8			13,93	171,54	3,51
12,5/8	125	80	7	11,0	3,7	14,06	226,53	4,01
			8			15,98	255,62	4,00
			10			19,70	311,61	3,98
			12			23,36	364,79	3,95
14/9	140	90	8	12,0	4,0	18,00	363,68	4,49
			10			22,24	444,65	4,47
16/10	160	100	9	13,0	4,3	22,87	605,97	5,15
			10			25,28	666,59	5,13
			12			30,04	784,22	5,11
			14			34,72	897,19	5,08
18/11	180	110	10	14,0	4,7	28,33	952,28	5,80
			12			33,69	1122,56	5,77
20/12,5	200	125	11	15,0	5,6	34,87	1449,62	6,45
			12			37,89	1568,19	6,43
			14			43,87	1800,83	6,41
			16			49,77	2026,08	6,38

величины для осей							Угол наклона оси $\text{tg}\alpha$	Масса 1 м уголка, кг
$y - y$		$u - u$		$x_0, \text{ см}$	$y_0, \text{ см}$	$J_{xy}, \text{ см}^4$		
$I_y, \text{ см}^4$	$i_y, \text{ см}$	$J_{u \min}, \text{ см}$	$i_u, \text{ см}$					
12,68	1,41	7,57	1,09	1,13	2,60	13,20	0,387	4,99
14,85	1,40	8,88	1,08	1,17	2,65	15,50	0,386	5,92
25,18	1,76	13,61	1,29	1,49	2,47	20,98	0,547	6,39
28,74	1,75	15,58	1,29	1,53	2,52	24,01	0,546	7,39
32,15	1,74	17,49	1,28	1,57	2,56	26,83	0,544	8,37
19,67	1,58	11,77	1,22	1,2	2,92	20,54	0,384	6,17
21,22	1,58	12,70	1,22	1,28	2,95	22,23	0,384	6,70
27,08	1,56	16,29	1,21	1,36	3,04	28,33	0,380	8,77
30,58	1,79	18,20	1,38	1,42	3,23	31,50	0,393	7,53
34,99	1,78	20,83	1,37	1,46	3,28	36,10	0,392	8,70
39,21	1,77	23,38	1,36	1,50	3,32	40,50	0,391	9,87
47,18	1,75	28,34	1,35	1,58	3,40	48,60	0,387	12,14
38,32	1,85	22,77	1,41	1,52	3,24	38,00	0,415	8,81
42,96	1,84	25,24	1,41	1,56	3,28	42,64	0,414	9,90
51,68	1,82	30,60	1,40	1,64	3,37	51,18	0,410	12,30
45,61	2,00	26,94	1,53	1,58	3,55	46,80	0,402	8,98
54,64	1,98	32,31	1,52	1,64	3,61	55,90	0,400	10,93
73,73	2,29	43,40	1,76	1,80	4,01	74,70	0,407	11,04
80,95	2,28	48,82	1,75	1,84	4,04	84,10	0,406	12,54
100,47	2,26	59,33	1,74	1,92	4,14	102,00	0,404	15,47
116,84	2,24	69,47	1,72	2,00	4,22	118,00	0,400	18,34
119,79	2,58	70,47	1,98	2,03	4,49	121,00	0,411	14,13
145,54	2,56	85,51	1,96	2,12	4,58	147,00	0,409	17,46
186,03	2,85	110,40	2,20	2,24	5,19	194,00	0,391	17,95
204,09	2,84	121,16	2,19	2,28	5,23	213,00	0,390	19,85
238,75	2,82	142,14	2,18	2,36	5,32	249,00	0,388	23,58
271,60	2,80	162,49	2,16	2,43	5,40	282,00	0,385	27,26
276,37	3,12	165,44	2,42	2,44	5,88	295,00	0,376	22,24
324,09	3,10	194,28	2,40	2,52	5,97	348,00	0,374	26,45
446,36	3,58	263,84	2,75	2,79	6,50	465,00	0,392	27,37
481,93	3,57	285,04	2,74	2,83	6,54	503,00	0,392	29,74
550,77	3,54	326,54	2,73	2,91	6,62	575,00	0,390	34,43
616,66	3,52	365,99	2,72	2,99	6,71	643,00	0,388	39,07

Сталь горячекатаная. Швеллеры. Сортамент (ГОСТ 8240-97)



h – высота;
 b – ширина полки;
 s – толщина стенки;
 t – толщина полки;
 R – радиус внутреннего закругления;
 r – радиус закругления полки

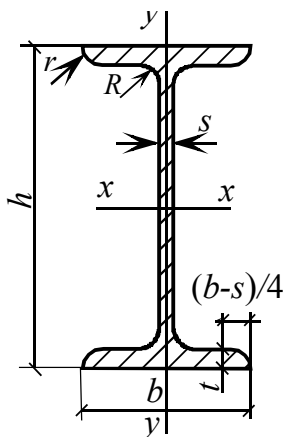
Номер швеллера	Размеры швеллера, мм						Площадь сечения, см ²	Масса 1 м швеллера, кг
	h	b	s	t	R	r		
5	50	32	4,4	7,0	6,0	3,5	6,16	4,84
6,5	65	36	4,4	7,2	6,0	3,5	7,51	5,90
8	80	40	4,5	7,4	6,5	3,5	8,98	7,05
10	100	46	4,5	7,6	7,0	4,0	10,90	8,59
12	120	52	4,8	7,8	7,5	4,5	13,30	10,40
14	140	58	4,9	8,1	8,0	4,5	15,60	12,30
14a	140	62	4,9	8,7	8,0	4,5	17,00	13,30
16	160	64	5,0	8,4	8,5	5,0	18,10	14,20
16a	160	68	5,0	9,0	8,5	5,0	19,50	15,30
18	180	70	5,1	8,7	9,0	5,0	20,70	16,30
18a	180	74	5,1	9,3	9,0	5,0	22,20	17,40
20	200	76	5,2	9,0	9,5	5,5	23,40	18,40
20a	200	80	5,2	9,7	9,5	5,5	25,20	19,80
22	220	82	5,4	9,5	10,0	6,0	26,70	21,00
22a	220	87	5,4	10,2	10,0	6,0	28,80	22,60
24	240	90	5,6	10,0	10,5	6,0	30,60	24,00
24a	240	95	5,6	10,7	10,5	6,0	32,90	25,80
27	270	95	6,0	10,5	11,0	6,5	35,20	27,70
30	300	100	6,5	11,0	12,0	7,0	40,50	31,80
33	330	105	7,0	11,7	13,0	7,5	46,50	36,50
36	360	110	7,5	12,6	14,0	8,5	53,40	41,90
40	400	115	8,0	13,5	15,0	9,0	61,50	48,30

Швеллеры с параллельными гранями полок

 J — момент инерции; W — момент сопротивления; i — радиус инерции; S — статический момент полусечения; z_0 — расстояние от оси $y - y$ до наружной грани стенки

Справочные величины для осей							z_0 , см
$x - x$			$y - y$				
J_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	S_x , см ³	J_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	
22,8	9,14	1,92	5,61	5,95	2,99	0,983	1,21
48,8	15,00	2,55	9,02	9,35	4,06	1,120	1,29
89,8	22,50	3,16	13,30	13,90	5,31	1,240	1,38
175,0	34,90	3,99	20,50	22,60	7,37	1,440	1,53
305,0	50,80	4,79	29,70	34,90	9,84	1,620	1,66
493,0	70,40	5,61	40,90	51,50	12,90	1,810	1,82
547,0	78,20	5,68	45,20	65,20	15,70	1,960	1,97
750,0	93,80	6,44	54,30	72,80	16,40	2,000	2,04
827,0	103,00	6,51	59,50	90,50	19,60	2,150	2,19
1090,0	121,00	7,26	70,00	100,00	20,60	2,200	2,14
1200,0	133,00	7,34	76,30	123,00	24,30	2,350	2,36
1530,0	153,00	8,08	88,00	134,00	25,20	2,390	2,30
1680,0	168,00	8,17	96,20	162,00	29,70	2,540	2,53
2120,0	193,00	8,90	111,00	178,00	31,00	2,580	2,47
2340,0	212,00	9,01	121,00	220,00	37,00	2,770	2,75
2910,0	243,00	9,75	139,00	248,00	39,50	2,850	2,72
3200,0	266,00	9,86	152,00	302,00	46,50	3,030	3,01
4180,0	310,00	10,90	178,00	314,00	46,70	2,990	2,78
5830,0	389,00	12,00	224,00	393,00	54,80	3,120	2,83
8010,0	486,00	13,10	281,00	491,00	64,60	3,250	2,90
10850,0	603,00	14,30	350,00	611,0	76,30	3,380	2,99
15260,0	763,00	15,80	445,00	760,00	89,90	3,510	3,05

Сталь горячекатаная. Балки двутавровые.



h – высота балки;
 b – ширина полки;
 s – толщина стенки;
 t – средняя толщина полки;
 R – радиус внутреннего закругления
 r – радиус закругления полки

Номер балки	Размеры балки, мм						Площадь сечения, см ²
	h	b	s	t	R	r	
10	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4
18a	180	100	5,1	8,3	9,0	3,5	25,4
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8
20a	200	110	5,2	8,6	9,5	4,0	28,9
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6
22a	220	120	5,4	8,9	10,0	4,0	32,8
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8
24a	240	125	5,6	9,8	10,5	4,0	37,5
27	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2
27a	270	135	6,0	10,2	11,0	4,5	43,2
30	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5
30a	300	145	6,5	10,7	12,0	5,0	49,9
33	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8
36	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9
40	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6
45	450	160	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7
50	500	170	10,0	15,2	17,0	7,0	100,0
55	550	180	11,0	16,5	18,0	7,0	118,0
60	600	190	12,0	17,8	20,0	8,0	138,0

Сортамент (ГОСТ 8239-89)

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

Масса 1 м дву- тавра, кг	Справочные величины для осей						
	$x - x$				$y - y$		
	$J_x, \text{см}^4$	$W_x, \text{см}^3$	$i_x, \text{см}$	$S_x, \text{см}^3$	$J_y, \text{см}^4$	$W_y, \text{см}^3$	$i_y, \text{см}$
9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
11,50	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
13,70	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55
15,90	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70
18,40	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,88
19,90	1430	159,0	7,51	89,8	114,0	22,80	2,12
21,00	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,10	2,07
22,70	2030	203,0	8,37	114,0	155,0	28,20	2,32
24,00	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27
25,80	2790	254,0	9,22	143,0	206,0	34,30	2,50
27,30	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,50	2,37
29,40	3800	317,0	10,10	178,0	260,0	41,60	2,63
31,50	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54
33,90	5500	407,0	11,30	229,0	337,0	50,00	2,80
36,50	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69
39,20	7780	518,0	12,50	292,0	436,0	60,10	2,95
42,20	9840	597,0	13,50	339,0	419,0	59,90	2,79
48,60	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,89
57,00	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,03
66,50	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09
78,50	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23
92,60	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39
108,00	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Общие правила выполнения и оформления заданий	4
Обозначение величин и их единицы измерения	5
Программа теоретического курса «Сопротивление материалов». Часть I	6
1 РАСТЯЖЕНИЕ/СЖАТИЕ СТЕРЖНЯ	9
1.1 Определение продольных сил, напряжений и деформаций. Задача 1	9
1.2 Расчет внутренних усилий, напряжений и деформаций в стержневых системах. Задача 2	11
1.3 Расчет стержневых систем на прочность. Задача 3	15
1.4 Учет собственного веса. Задача 4.	15
2 СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫЕ СИСТЕМЫ	18
2.1 Расчет статически неопределимого стержня переменного сечения. Задача 5	18
2.2 Расчет статически неопределимой стержневой системы. Задача 6	20
2.3 Расчет статически неопределимой системы с неточно изготовленными элементами. Задача 7	22
3 НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ В ТОЧКЕ ТЕЛА	24
3.1 Анализ плоского напряженного состояния в точке тела. Задача 8	24
3.2 Анализ напряженного состояния пластины. Задача 9	25
3.3 Анализ деформированного состояния параллелепипеда. Задача 10	26
3.4 Напряженно-деформированное состояние параллелепипеда. Задача 11	27
4 ДЕФОРМАЦИЯ СДВИГ	28
4.1 Расчет заклепочного соединения. Задача 12	29
4.2 Расчет сварного соединения. Задача 13	31
5 ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЙ	33
5.1 Определение моментов инерции сечений, имеющих оси симметрии. Задачи 14, 15, 16	33
5.2 Приближенный расчет моментов инерции стандартного уголка. Задача 17	38
5.3 Расчет моментов инерции сечений, не имеющих осей симметрии. Задачи 18, 19	39
6 ПЛОСКИЙ ИЗГИБ	42
6.1 Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Задачи 21-24	42
6.2 Расчет балки на прочность – подбор размеров поперечного сечения. Задача 25.	48
6.3 Расчет балки из серого чугуна. Задача 26.	49
6.4 Расчет деформаций при плоском изгибе балок. Задача 27	50
6.4 Расчет сварной балки. Задача 28	51
6.5 Анализ напряженного состояния двутавровой балки. Задача 29	52
6.6 Расчет клепанной балки. Задача 30	53
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	54
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Физико-механические характеристики конструкционных материалов, используемые при решении задач	55
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Сортамент стального проката	58

Учебное издание

Агуленко Виктор Николаевич
Круглов Александр Иванович
Маслов Евгений Борисович
Тихомиров Виктор Михайлович
Шабанов Александр Петрович
Шушунов Василий Васильевич

Сборник задач по сопротивлению материалов

Часть I

3-е издание, переработанное и дополненное