

ОПД.Ф.02.02 СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ
СБОРНИК ЗАДАЧ
ЧАСТЬ 2
Учебное пособие

В сборник включены условия и расчетные схемы задач по темам: определение прогибов и углов поворота сечений при изгибе; статически неопределенные балки; сложное сопротивление — косой изгиб, изгиб с растяжением (сжатием), изгиб с кручением; кривые брусья; устойчивость сжатых стержней; динамические нагрузки — учет сил инерции, колебания и удар. Приведены указания по выбору исходных данных, правила выполнения и оформления заданий, а также таблицы стального проката и список рекомендуемой литературы.

Сборник предназначен для самостоятельной работы студентов, обучающихся по техническим специальностям.

ВВЕДЕНИЕ

В сборнике содержатся многовариантные задачи по 2-й части курса «Сопротивление материалов», предназначенные для самостоятельного выполнения студентами очной формы обучения. Номера задач и сроки их выполнения сообщают студентам преподаватель. При этом каждому студенту сообщается также номер варианта (расчетной схемы). Числовые значения (исходные данные) для своего варианта студент выбирает сам из таблиц, которые прилагаются к каждой задаче. При выборе данных используется начальная буква имени и буквы фамилии студента. Короткая фамилия для получения нужного набора ключевых букв повторяется, длинная — обрывается.

Выбор исходных данных оформляется в виде таблицы, которая располагается перед условием задачи. Ниже дается пример выбора исходных данных к задаче 1 для студента С. Ильева.

С.	И	В	Л	е	в
$l, \text{м}$	a/l	$q, \text{kH/m}$	J/J_0		
3	0,5	2	3		

Исходные данные, как правило, наносятся на чертеж (расчетную схему) в виде конкретных числовых данных. Для удобства решения обозначения, приведенные в условии, можно изменять.

В приложении к этому сборнику содержатся 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 сообщает преподаватель и, кроме того, список основной учебной и справочной литературы приведен в конце этого сборника.

ОБЩИЕ ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ЗАДАНИЙ

- Номера задач, их варианты, сроки выполнения и защиты заданий выдаст преподаватель.
- Решение каждой задачи начинать с новой страницы. Вначале записать номер задачи, вариант и таблицу исходных данных.
- Записи выполнять чернилами. Чертежи выполнять мягким карандашом, указать все размеры и соблюдать масштаб.
- Чертежи по указанию преподавателя выполнять на чертежной или миллиметровой бумаге.
- Каждый этап решения задачи должен быть озаглавлен.
- При решении задач сначала записать формулу, в нее подставить исходные данные в системе СИ и подсчитать результат с обязательным указанием его размерности. Промежуточные вычисления нужно приводить лишь для громоздких формул. Все величины округляются до трех значащих цифр.
- Решение задач заканчивать ответом (выводом).

УСЛОВИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Балка-консоль нагружена, как показано на схеме.

Требуется:

- Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, приняв $P = ql$, $m = ql^2$.

К задаче 1

Алфавит	$l, \text{м}$	a/l	$q, \text{kN/m}$	J/J_0
1	2	3	4	
а, б, в	2	0,3	2	1,5
г, д, е, ё	3	0,4	4	2

ж, з, и, й	4	0,5	6	2,5
к, л, м	5	0,6	8	3
п, о, п	2	0,7	2	3,5
р, с, т	3	0,3	4	3
у, ф, х	4	0,4	6	2,5
ц, ч, щ, Ѣ	5	0,5	8	2
ъ, ы, ь	2	0,6	2	1,5
э, ю, я	3	0,7	4	4

2. Вычислить прогибы и углы поворота сечений A и B при постоянной ($J_0 = \text{const}$) и переменной жесткости.

3. Изобразить примерный вид изогнутой оси балки. Отметить найденные значения прогибов и углов поворота заданных сечений.

Задача 2. Балка постоянной жесткости ($EJ = \text{const}$) нагружена, как показано на схеме.

Требуется:

1. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, приняв $P = ql$, $m = ql^2$.

2. Вычислить вертикальные перемещения в сечениях A , B и углы поворота сечений A , B и C .

3. Изобразить примерный вид изогнутой оси. Отметить найденные значения прогибов и углов поворота заданных сечений.

К задаче 2

Алфавит	l , м	a/l	q , кН·м
	1	2	3
а, б, в	2	0,3	2
г, д, е, ё	3	0,4	4
ж, з, и, й	4	0,5	6
к, л, м	5	0,6	8
п, о, п	2	0,7	10
р, с, т	3	0,3	2
у, ф, х	4	0,4	4
ц, ч, щ, Ѣ	5	0,5	6
ъ, ы, ь	2	0,6	8
э, ю, я	3	0,7	10

Задача 3. Подобрать сечение и определить перемещения сечений. Принять: $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $[\sigma] = 200$ МПа*.

Требуется:

1. Изобразить расчетную схему балки с числовыми данными.

2. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов от заданных нагрузок.

3. Подобрать двутавровое сечение исходя из условия прочности.

4. Определить прогиб и угол поворота сечений A и B .

5. Изобразить примерный вид изогнутой оси балки. Отметить найденные значения прогибов и углов поворота заданных сечений.

К задаче 3

Алфавит	a , м	b , м	F'_1 , кН	F'_2 , кН
	1	2	3	4
а, б, в	0,6	0,6	20	10
г, д, е, ё	0,7	0,7	22	12
ж, з, и, й	0,8	0,8	24	14
к, л, м	0,9	0,9	25	15
п, о, п	1,0	1,0	28	16
р, с, т	1,2	1,2	30	18
у, ф, х	1,4	1,3	32	20
ц, ч, щ, Ѣ	1,6	1,4	35	22
ъ, ы, ь	1,8	1,5	40	24
э, ю, я	2,0	1,6	45	25

* Для студентов строительных специальностей принять $R = 210$ МПа.

Задачи 4 и 5. Задана статически неопределенная балка постоянной жесткости ($EJ = \text{const}$).

Требуется:

1. Выбрать основную систему.
2. Раскрыть статическую неопределенность.
3. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

К задачам 4 и 5

Алфавит	$a, \text{м}$	$c, \text{м}$	$m, \text{kH}\cdot\text{м}$	P, kH	$q, \text{kH}/\text{м}$	h/b
	1	2	3	4	5	6
а, б, в	2	$0,5a$	10	10	6	1
г, д, е, ё	3	a	15	15	8	1,5
ж, з, и, й	4	$1,5a$	20	20	10	2
к, л, м	3,5	$0,5a$	25	25	12	2,5
н, о, п	1,5	a	30	10	14	3
р, с, т	2	$1,5a$	10	15	6	2,5
у, ф, х	3	$0,5a$	15	20	8	2
ц, ч, щ, ъ	4	a	20	25	10	1,5
ъ, ы, ь	3,5	$1,5a$	25	10	12	1,4
э, ю, я	1,5	a	30	15	14	1,2

4. Выполнить деформационную проверку.

5. Определить размеры поперечного сечения:

а) в задаче 4 — деревянной балки прямоугольного сечения при заданном соотношении h/b , если $R = 10 \text{ МПа}$;

б) в задаче 5 — двутавровое сечение, если $R = 210 \text{ МПа}$.

6. Найти прогиб сечения A или угол поворота сечения B .

Задача 6. К стальному стержню постоянной жесткости, находящемуся в равновесии, приложены сосредоточенные моменты.

Принять: $[\tau] = 80 \text{ МПа}$; $[\theta] = 0,02 \text{ град}/\text{м}$; $G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа}$.

Типы сечений

I	II	III
Сплошной вал	Толстостенная труба	Тонкостенная труба

Требуется:

1. Из условия равновесия определить m_4 или момент в жесткой заделке.

2. Вычислить на участках крутящие моменты и построить эпюру.

К задаче 6

Алфавит	Тип сечения	$m_1, \text{Н}\cdot\text{м}$	$m_2, \text{Н}\cdot\text{м}$	$m_3, \text{Н}\cdot\text{м}$	$l_1, \text{см}$	$l_2, \text{см}$	$l_3, \text{см}$	α	β
		1	2	3	4	5	6	7	8
а, б, в	I	1000	-550	200	25	50	60	0,7	0,01
г, д, е, ё	II	1500	500	-250	30	45	55	0,65	0,02
ж, з, и, й	III	-1200	450	300	35	40	50	0,2	0,03
к, л, м	I	1250	-400	-350	40	35	45	0,25	0,04
н, о, п	II	1300	350	400	45	30	40	0,3	0,05
р, с, т	III	-850	300	-450	50	60	35	0,35	0,01
у, ф, х	I	900	-250	500	40	65	30	0,4	0,02
ц, ч, щ, ъ	II	950	200	-550	30	70	25	0,45	0,03
ъ, ы, ь	III	-600	450	600	20	75	20	0,5	0,04
э, ю, я	I	550	-400	-650	25	80	15	0,55	0,05

Примечание. Знак минус в таблице означает, что направление внешнего момента надо изменить на противоположное.

3. Из условий прочности и жесткости определить размеры поперечного сечения вала.

4. Вычислить на участках:

а) максимальные касательные напряжения τ_{\max} ;

б) углы закручивания ϕ ;

в) относительные углы закручивания θ .

5. Построить эпюры τ_{\max} , ϕ и θ по длине вала.

6. В опасном сечении вычислить главные напряжения и показать площадки, на которых они действуют.

Задача 7. Полый стальной кулачковый вал нагружен силами F_1 , F_2 , F_3 . Опоры, расположенные около кулачков, исключают изгиб вала.

Требуется:

1. Построить эпюры крутящих моментов для вала и изгибающих моментов для кулачков.

2. Исходя из условий прочности, определить размеры поперечного сечения вала (D — наружный, d — внутренний диаметр) и ширину кулачка b . Сечение кулачка — прямоугольник, у которого высота равна диаметру вала. Коэффициент запаса по текучести принять: $k_y = 2,0$. Допускаемое касательное напряжение $[\tau] = 0,6[\sigma]$.

3. Определить угол поворота каждого кулачка.

4. Построить эпюру углов закручивания по длине вала.

К задаче 7

Алфавит	F_1 , кН	F_2 , кН	F_3 , кН	r_1 , мм	r_2 , мм	r_3 , мм	r_4 , мм	l_1 , мм	l_2 , мм	l_3 , мм	α	Материал
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
а, б, в	20	10	10	20	20	20	20	400	300	200	0,50	Сталь 45
г, д, е, ё	24	12	12	24	24	24	24	420	320	220	0,55	Сталь 45
ж, з, и, й	25	14	15	25	25	25	25	440	340	240	0,60	Сталь 45
к, л, м	28	15	20	28	28	28	28	460	360	250	0,65	Ст. 40ХII
н, о, п	30	18	22	30	30	30	30	500	400	260	0,70	Ст. 40ХII
р, с, т	32	20	24	35	35	35	35	520	420	280	0,75	Ст. 40ХII
у, ф, х	34	22	25	38	38	38	38	540	440	300	0,80	Ст. 30ХГС
ц, ч, ш, щ	35	24	26	40	40	40	40	550	450	320	0,85	Ст. 30ХГС
ъ, ы, ь	38	25	28	45	45	45	45	580	480	340	0,88	Ст. 30ХГС
э, ю, я	40	27	30	50	50	50	50	600	500	350	0,90	Ст. 30ХГС

Задача 8. Стальная балка испытывает косой изгиб.

Требуется:

1. Построить эпюры изгибающих моментов в вертикальной M_z и горизонтальной M_y плоскостях, а также изобразить их в аксонометрии.

2. Изобразить в масштабе расчетное сечение балки и определить геометрические характеристики сечения (номер сечения выдает преподаватель).

3. Записать уравнение нулевой линии (НЛ). Изобразить НЛ и указать опасные точки сечения.

4. В опасном сечении определить нормальные напряжения и построить эпюру σ .

5. Заменить заданное сечение трубой, определив наружный D и внутренний d диаметры при соотношении $d/D = 0,7$ и $|\sigma| = 200$ МПа.

К задаче 8

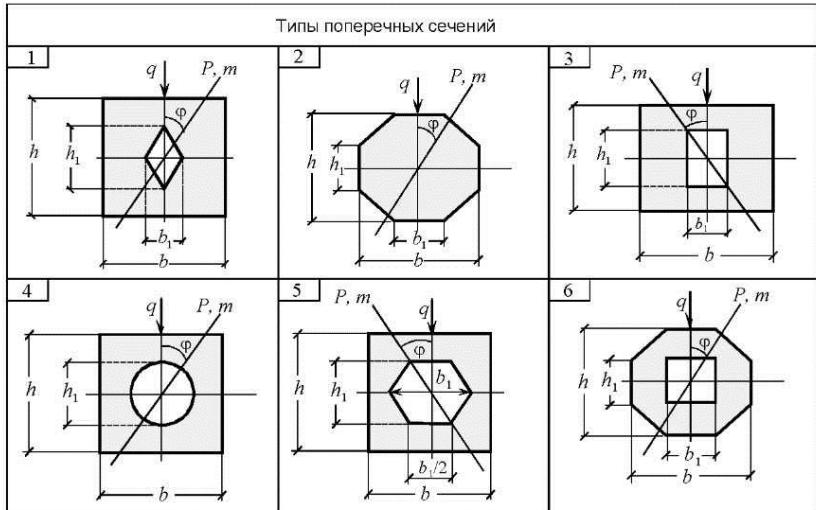
Алфавит	α , град	P_1 , кН	P_2 , кН	q , кН/м	m , кН·м	a , м	b , м	Номер двутавра	Номер трубы
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
а, б, в	20,0	-8,0	10	2,0	2,0	0,4	0,4	14	14
г, д, е, ё	30,0	8,5	-12	2,4	-2,2	0,5	0,5	16	14а
ж, з, и, й	36,0	-9,0	14	3,0	2,4	0,6	0,6	18	16
к, л, м	40,0	9,5	-16	3,6	-2,8	0,7	0,7	18а	16а
н, о, п	45,0	-10	20	4,0	3,0	0,8	0,8	20	18
р, с, т	50,0	-8,0	-10	2,2	-2,0	0,4	0,4	20а	18а
у, ф, х	53,0	-8,5	12	2,5	2,2	0,5	0,5	22	20
ц, ч, ш, щ	60,0	9,0	-14	3,2	2,4	0,6	0,6	22а	20а
ъ, ы, ь	70,0	-9,5	16	3,8	2,8	0,7	0,7	24	22
э, ю, я	37,0	10	-20	4,0	-3,0	0,8	0,4	22а	30

Примечание: 1. Знак минус означает, что нужно изменить направление нагрузки на противоположное.

2. Все силы перпендикулярны продольной оси.

Задача 9. На стальную балку симметричного поперечного сечения действует система нагрузок, ориентированная следующим образом: распределенная нагрузка q действует в вертикальной

плоскости, сосредоточенные усилия P и m в плоскости, наклоненной под углом φ к вертикальной оси.



Требуется:

1. Построить эпюры изгибающих моментов M_z и M_y и изобразить их в аксонометрии.
2. В опасном сечении определить положение нулевой линии и построить эпюру нормальных напряжений.
3. Из условия прочности подобрать номер двутавра, приняв $R_y = 210$ МПа.
4. Определить полный прогиб сечения C двутавровой балки ($E = 2 \cdot 10^5$ МПа).

К задаче 9

Алфавит	P , кН	m , кН·м	q , кН/м	l_1 , м	l_2 , м	h , см	b , см	b_1 , см	h_1 , см	φ , град	Тип сечения
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
а, б, в	8	8	5	1,0	1,0	30	30	16	20	20	1
г, д, е, ё	10	10	6	1,2	1,2	32	32	14	18	30	2
ж, з, и, й	12	12	8	1,4	1,4	35	35	12	16	40	3
к, л, м	14	14	10	1,6	1,6	36	36	10	14	45	4
н, о, п	16	16	5	1,0	1,0	38	38	8	22	50	5
р, с, т	18	18	6	1,2	1,2	40	40	16	20	60	6
у, ф, х	20	20	8	1,4	1,4	35	35	14	18	65	1
ц, ч, ш, щ	18	18	10	1,5	1,5	36	36	12	16	30	2
ъ, ы, ь	16	16	5	1,4	1,4	38	38	10	14	45	3
э, ю, я	14	14	6	1,2	1,2	40	40	8	12	50	4

Задача 10. Бетонная колонна постоянного поперечного сечения нагружена сосредоточенными силами P_1 , P_2 , распределенной нагрузкой q и собственным весом (удельный вес материала колонны $\gamma = 20$ кН/м³). Усилия P_2 и q направлены горизонтально по оси z .

Требуется:

1. Изобразить заданную расчетную схему в изометрии.
2. Построить эпюры изгибающих моментов M_z , M_y и продольных сил N .
3. В нижнем сечении колонны определить положение нулевой линии.
4. В том же сечении построить эпюру нормальных напряжений σ .

К задаче 10

Алфавит	Точка приложе- ния силы P_1	Тип сече- ния	P_1 , кН	P_2 , кН	q , кН/м	H , м	h , м	b , м	h_1 , м	b_1 , м
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
а, б, в	<i>A</i>	1	16	10	8	3,0	1,0	1,2	0,3	0,5
г, д, е, ё	<i>B</i>	2	18	12	6	3,2	1,1	1,1	0,4	0,4
ж, з, и, й	<i>C</i>	3	20	14	5	3,5	1,2	1,0	0,5	0,3
к, л, м	<i>D</i>	4	22	16	4	3,6	1,3	0,9	0,6	0,2
н, о, п	<i>A</i>	5	24	18	3	3,8	1,4	0,8	0,7	0,5
р, с, т	<i>B</i>	6	26	10	8	4,0	1,0	1,2	0,3	0,4
у, ф, х	<i>C</i>	7	28	12	6	3,5	1,1	1,1	0,4	0,3
ц, ч, ш, щ	<i>D</i>	8	30	14	5	3,6	1,2	1,0	0,5	0,2

ъ, ѿ, ѿ	<i>A</i>	9	32	16	4	3,8	1,3	0,9	0,6	0,5
о, ю, я	<i>B</i>	1	34	18	3	4,0	1,4	0,8	0,7	0,4

Задача 11. Для бетонной колонны заданы размеры и расчетные сопротивления на растяжение $R_t = 2$ МПа и на сжатие $R_s = 12$ МПа.

Требуется:

1. Построить эпюры изгибающих моментов и продольных сил, выражая их величину через параметр внешней нагрузки P .

2. Определить из условия прочности силу P .

3. В опасном сечении построить эпюру нормальных напряжений.

Собственный вес колонны не учитывать.

К задаче 11

Алфавит	<i>H</i> , м	<i>a</i> , см
	1	2
а, б, в	1,0	8
г, д, е, ё	1,2	10
ж, з, и, ї	1,4	12
к, л, м	1,6	14
н, о, п	1,8	16
р, с, т	2,0	18
ү, ф, х	2,2	20
ц, ч, щ, Ѣ	2,4	8
ъ, ѿ, ѿ	2,6	10
о, ю, я	2,8	12

Задача 12. Колонна сжимается силой P , внецентренно приложенной в заданной точке поперечного сечения. *Собственный вес колонны не учитывать.*

Требуется:

1. Определить положение главных центральных осей сечения, главные моменты и радиусы инерции сечения.

2. Найти положение нулевой линии.

3. Определить нормальные напряжения и построить эпюру σ .

4. Построить ядро сечения.

К задаче 12

Алфавит	Точка приложения силы P	P , кН	<i>H</i> , см	<i>h</i> , см	<i>B</i> , см	<i>b</i> , см
	1	2	3	4	5	6
а, б, в	<i>A</i>	100	100	40	90	40
г, д, е, ё	<i>C</i>	150	120	44	94	45
ж, з, и, ї	<i>D</i>	200	140	48	98	50
к, л, м	<i>A</i>	250	160	52	100	48
н, о, п	<i>C</i>	300	180	54	104	44
р, с, т	<i>D</i>	350	200	60	102	40
ү, ф, х	<i>A</i>	330	190	50	100	38
ц, ч, щ, Ѣ	<i>C</i>	290	170	40	96	34
ъ, ѿ, ѿ	<i>D</i>	240	150	30	92	30
о, ю, я	<i>A</i>	200	130	20	90	28

Задача 13. Дан пространственный стальной стержень постоянной жесткости.

Требуется:

1. Определить на участках продольные и поперечные силы, изгибающие и крутящие моменты.

2. Построить эпюры внутренних усилий.

3. Определить по IV теории прочности диаметр стержня на участке a , если $R_y = 200$ МПа.

4. В опасных точках на участке a определить главные напряжения.

К задаче 13

Алфавит	Длина участков			P , кН	m , кН·м
	<i>a</i> , м	<i>b</i> , м	<i>c</i> , м		
	1	2	3	4	5

а, б, в	1,0	2,0	2,5	2,6	8
г, д, е, ё	1,2	2,2	2,6	3,0	9
ж, з, и, й	1,4	2,4	2,7	3,6	10
к, л, м	1,6	2,6	2,8	3,8	11
н, о, п	1,8	3,0	2,9	3,5	12
р, с, т	1,7	2,9	3,0	4,0	13
у, ф, х	1,5	2,7	3,1	3,5	14
ц, ч, ш, щ	1,3	2,5	3,2	3,2	15
ъ, ѿ, ѿ	1,1	2,3	3,3	2,8	16
ѡ, ѿ, ѿ	0,9	2,1	3,4	2,5	17

Задача 14. Подобрать диаметр промежуточного вала. Материал вала — сталь 40ХН ($[\sigma] = 80$ МПа; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $G = 8 \cdot 10^4$ МПа). КПД зубчатых передач принять 0,98; ременных — 0,95. Из таблицы исходных данных выбрать: N — мощность двигателя; n — число оборотов двигателя; i — передаточное число от двигателя к валу; D_1 — диаметр прямозубой шестерни; D_2 — диаметр косозубой шестерни; D_3 — диаметр шкива.

Требуется:

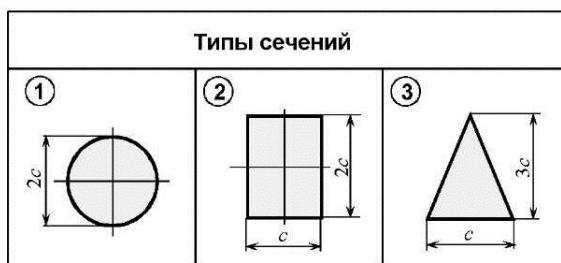
- Определить крутящий момент для промежуточного вала. Найти усилия в передачах. Для шестерен радиальная сила R составляет 0,3 от окружной силы F . Осевая сила для косозубой шестерни равна 0,4 от окружной F . Ветви ремня, идущие к шкиву, параллельны, а усилие S_1 вдвое превышает усилие S_2 .
- Изобразить расчетную схему вала в аксонометрии.
- Построить эпюру M_z, M_y, T, N . Найти суммарный изгибающий момент $M_{изг}$ для опасных сечений.
- Подобрать диаметр вала, используя IV теорию прочности. Влиянием продольной силы пренебречь.
- Найти главные напряжения в опасной точке вала, учитывая напряжение и от продольной силы. Вычислить эквивалентное напряжение по IV теории прочности.

К задаче 14

Алфавит	i	α , град	$[N, \text{кВт}$ $n, \text{об./мин}$ $D_1, \text{мм}]$	D_2/D_1	D_3/D_1	a/D_1	b/D_1	c/D_1
				1	2	3	4	5
а, б, в	2,0	20,0	[10/2890/60]	0,6	1,5	0,6	0,6	0,6
г, д, е, ё	2,4	30,0	[14/2920/70]	0,7	1,6	0,7	0,7	0,7
ж, з, и, й	3,0	36,9	[20/1450/75]	0,8	1,8	0,8	0,8	0,8
к, л, м	3,6	40,0	[23/910/90]	0,9	2,0	0,9	0,9	0,9
н, о, п	4,0	45,0	[25/570/100]	1,0	2,2	1,0	1,0	1,0
р, с, т	4,5	50,0	[33/830/95]	1,2	2,4	1,2	1,2	1,2
у, ф, х	4,8	53,0	[35/575/110]	1,3	2,6	1,4	1,3	1,3
ц, ч, ш, щ	5,0	60,0	[43/820/120]	1,4	2,8	1,6	1,4	1,4
ъ, ѿ, ѿ	5,4	70,0	[50/510/130]	1,5	3,0	1,8	1,5	1,5
ѡ, ѿ, ѿ	6,0	37,0	[70/630/150]	1,6	3,2	2,0	1,6	1,6

Примечание. Значения D_2, D_3 округлить с точностью ± 5 мм, длину участков a, b, c — с точностью до ± 10 мм.

Задача 15. Дан кривой брус, ось которого очерчена по окружности радиусом R_0 .



Требуется:

- Построить эпюры продольных сил N , поперечных сил Q и изгибающих моментов M .

2. Определить опасное сечение.

3. В опасном сечении найти положение нейтральной оси с использованием точной и приближенной формул (см. прил. В).

4. По высоте опасного сечения построить эпюру нормальных напряжений от действия продольной силы (σ_N), от изгибающего момента (σ_M) и от совместного действия продольной силы и изгибающего момента (σ_{N+M}).

К задаче 15

Алфавит	R_0 , см	Тип сечения	Нагрузки		α_1 ,	α_2 ,	c ,
			P , кН	m , кН·м	град	град	см
	1	2	3	4	5	6	7
а, б, в	30	1	15	20	30	60	12
г, д, с, ё	32	2	20	22	45	90	13
ж, з, и, й	34	3	25	24	60	120	14
к, л, м	36	1	30	26	90	135	15
н, о, п	38	2	35	28	120	150	16
р, с, т	40	3	15	30	135	30	12
у, ф, х	42	1	20	32	150	45	13
ц, ч, ш, щ	44	2	25	34	30	60	14
ъ, ы, ь	46	3	30	36	45	90	15
з, ю, я	48	1	35	38	60	120	16

Задача 16. Расчетная схема конструкций и тип сечения сжатого стального стержня заданы.

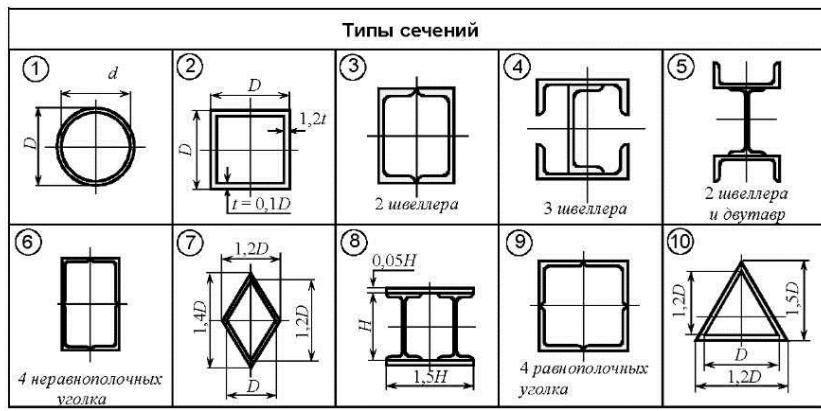
Принять: $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $R = 160$ МПа, $\sigma_{щ} = 220$ МПа. Коэффициенты формулы Ф.С. Ясинского: $a = 310$ МПа, $b = 1,14$ МПа.

Требуется:

1. Определить главные моменты и минимальный радиус инерции сечения сжатого стержня.
2. Определить гибкость сжатого стержня.
3. Если гибкость $\lambda > \lambda_{\text{доп}}$ то уменьшить длину сжатого стержня, обеспечив требование $\lambda \leq \lambda_{\text{доп}}$.
4. Вычислить предельное значение гибкости.
5. Определить продольную критическую силу и критическое напряжение.
6. Из условия устойчивости вычислить допускаемое значение продольной силы $N_{\text{доп}}$ в сжатом стержне.
7. Найти критическое и допускаемое значения силы P .

К задаче 16

Алфавит	Уголок равнополочный	Уголок неравнополочный	Номер двутавра	Номер швеллера	D/d , мм	l , м	$\lambda_{\text{доп}}$	Тип сечения	
								1	2
а, б, в	100×100×12	140×90×8	14	20	130/90	5,5	100	1	
г, д, е, ё	100×100×10	140×90×10	20	18	140/110	5,6	105	2	
ж, з, и, й	100×100×14	160×100×9	20a	18a	150/120	5,8	110	3	
к, л, м	100×100×16	160×100×10	16	16	150/125	6,0	115	4	
н, о, п	120×120×10	160×100×12	18	16	160/140	5,7	120	5	
р, с, т	120×120×12	160×100×14	22	18	170/150	5,8	125	6	
у, ф, х	120×120×15	160×100×9	16	18a	160/140	5,6	130	7	
ц, ч, ш, щ	125×125×12	140×90×10	18	16	170/150	5,4	135	8	
ъ, ы, ь	125×125×10	125×80×10	22a	14	180/165	5,2	140	9	
з, ю, я	125×125×14	125×80×12	20	20	180/170	5,0	150	10	



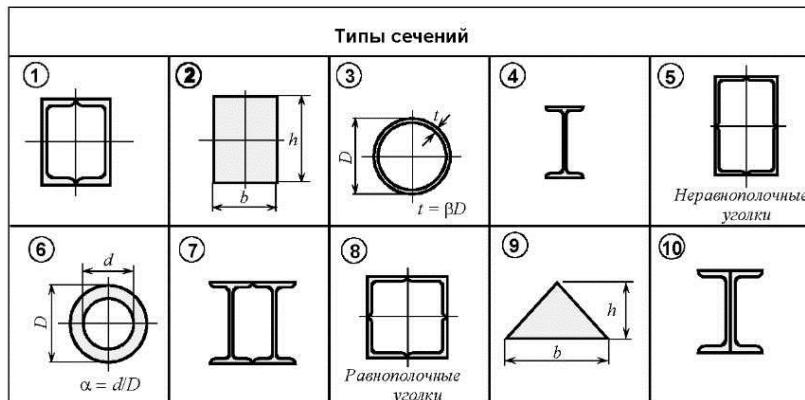
Задача № 17. Расчетная схема конструкции и тип сечения сжатого стального стержня заданы. Принять $R_y = 160$ МПа.

Требуется:

1. Определить продольную силу в сжатом стержне.
2. Из условия устойчивости определить размеры поперечного сечения. Рекомендуется использовать MathCad.

К задаче 17

Алфавит	Расчетная схема	l , м	P , кН	Тип сечения	h/b	$\alpha = d/D$	β		
1	2	3	4	5	6	8			
а, б, в	16, 17, 18	3,5	600	1	1	0,5	0,1		
г, д, е, ё	19, 20, 21, 11	4	650	2	1,2	0,55	0,09		
ж, з, и, й	23, 24, 25	4,5	500	3	1,4	0,6	0,08		
к, л, м	26, 27, 28	5	550	4	1,6	0,65	0,07		
н, о, п	29, 30, 1	5,5	600	5	1,8	0,7	0,06		
р, с, т	2, 3, 4	4,8	650	6	2,0	0,75	0,05		
у, ф, х	5, 6, 7	4,4	700	7	1,9	0,8	0,04		
ц, ч, ш, щ	8, 9, 10, 11	4,2	750	8	1,7	0,85	0,03		
ъ, ы, ь	12, 13, 14	3,8	400	9	1,5	0,9	0,02		
э, ю, я	15, 16, 17	3,6	450	10	1,3	0,95	0,01		



Задача 18. Для стальной балки, испытывающей продольно-поперечный изгиб, заданы расчетная схема и тип поперечного сечения.

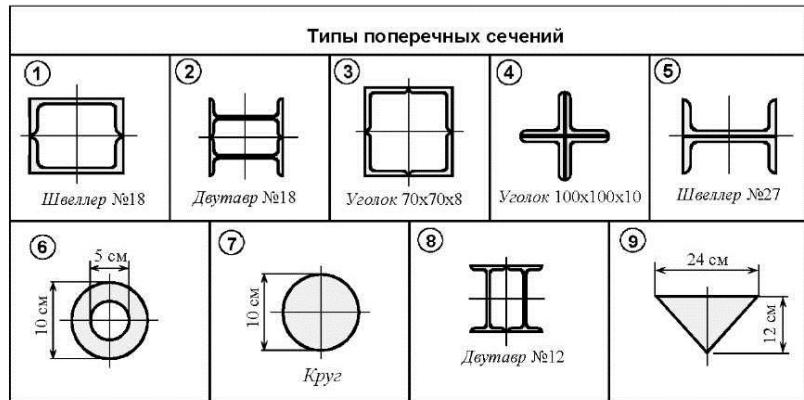
Требуется:

1. Определить изгибающие моменты и продольные силы от заданных нагрузок и построить эпюры.
2. Определить максимальные прогибы балки без учета и с учетом действия горизонтальной силы.
3. В опасном сечении балки определить нормальные напряжения и построить эпюры.

К задаче 18

Алфавит	l , м	P , кН	P_1 , кН	q , кН/м	m , кН·м	Тип сечения
---------	---------	----------	------------	------------	------------	-------------

	1	2	3	4	5	6
а, б, в	3,0	100	3,0	2,0	20	1
г, д, е, ё	3,1	110	3,2	2,5	22	2
ж, з, и, й	3,2	120	3,4	3,0	24	3
к, л, м	3,3	130	3,6	3,5	26	4
н, о, п	3,4	140	3,8	4,0	28	5
р, с, т	3,5	150	4,0	4,5	30	6
у, ф, х	3,6	160	4,2	5,0	32	7
ц, ч, ш, щ	3,7	170	4,4	5,5	34	8
ъ, ы, ь	3,8	180	4,6	6,0	36	9
э, ю, я	3,9	190	4,8	6,5	38	3



Задача 19. На конструкции установлена лебедка, с помощью которой поднимается груз весом P с начальным ускорением a . Стержни, работающие на растяжение-сжатие, имеют круглое поперечное сечение диаметром d . Балки изготовлены из прокатных профилей (швеллеров или двутавров).

Требуется:

- Определить динамический коэффициент.
- Проверить прочность балки, если расчетное сопротивление $R_y = 250$ МПа.
- Проверить устойчивость сжатых стержней ($R_y = 160$ МПа).

К задаче 19

Алфавит	P , кН	a , $\text{м}/\text{с}^2$	l , м	d , см	b , м	Номер швеллера	Номер двутавра
	1	2	3	4	5	6	7
а, б, в	20	5	1,0	6	0,5	18	30а
г, д, е, ё	25	6	1,1	7	0,6	18а	30
ж, з, и, й	30	7	1,2	8	0,8	20	27а
к, л, м	35	8	1,3	9	1,0	20а	27
н, о, п	40	9	1,4	10	1,2	22	24а
р, с, т	20	10	1,5	6	0,5	22а	22а
у, ф, х	25	11	1,6	7	0,6	24	22
ц, ч, ш, щ	30	12	1,7	8	0,8	24а	20а
ъ, ы, ь	35	13	1,8	9	1,0	27	20
э, ю, я	40	14	2,0	10	1,2	30	18

Задача 20. Вал, к которому прикреплены грузы, вращается с постоянной угловой скоростью относительно своей оси.

Требуется:

- Изобразить расчетную схему вала с учетом сил инерции.
- Для вала построить эпюры изгибающих моментов при динамическом действии нагрузок. Массу стержней и вала не учитывать.
- Из условия прочности определить диаметр вала, приняв $R_y = 210$ МПа.

К задаче 20

Алфавит	$P_{1, \text{Н}}$	$P_{2, \text{Н}}$	n , об./мин	a , м	b , м	c , м
	1	2	3	4	5	6
а, б, в	100	200	100	0,2	0,35	0,4

г, д, е, ё	110	190	115	0,3	0,45	0,5
ж, з, и, й	120	180	130	0,4	0,55	0,6
к, л, м	130	170	145	0,5	0,65	0,3
н, о, п	140	160	160	0,6	0,7	0,25
р, с, т	150	150	175	0,5	0,75	0,35
у, ф, х	160	140	200	0,4	0,6	0,45
ц, ч, ш, щ	170	130	215	0,3	0,5	0,55
ъ, ы, ь	180	120	230	0,2	0,4	0,65
э, ю, я	200	110	250	0,5	0,3	0,75

Задача 21. На составную балочную конструкцию падает груз P с высоты H . Балка прямоугольного сечения — деревянная ($E_d = 1 \cdot 10^4$ МПа), а двутаврового сечения — стальная ($E_{st} = 2 \cdot 10^5$ МПа).

Требуется:

1. Построить эпюры изгибающих моментов в балках при статическом приложении силы P .
2. Вычислить максимальные прогибы балок и осадку пружин при статическом приложении силы P .
3. Определить динамический коэффициент.
4. Определить наибольшие динамические напряжения и прогибы в каждой балке.

К задаче 21

Алфавит	Номер двутавра	h , см	b , см	P , кН	H , см	α , мм/кН	1	2	3	4	5	6
							1	2	3	4	5	6
а, б, в	20	18	11	2	4	0,5						
г, д, е, ё	22	20	8	3	6	1,0						
ж, з, и, й	24	22	10	4	8	1,2						
к, л, м	27	24	12	5	10	1,4						
н, о, п	30	26	14	6	12	1,6						
р, с, т	27а	25	13	5	11	1,8						
у, ф, х	24а	23	11	4	9	2,0						
ц, ч, ш, щ	22а	21	9	3	7	1,7						
ъ, ы, ь	20а	19	10	2	5	1,5						
э, ю, я	18	17	12	1	8	1,3						

Задача 22. На двутавровую балку падает груз P . Подвески стальные, поперечное сечение — круг диаметром d . При расчете вес балки и подвесок не учитывать.

Требуется:

1. Построить эпюру изгибающих моментов в балке при статическом приложении силы P и вычислить наибольшие нормальные напряжения.
2. Вычислить динамический коэффициент и максимальные динамические напряжения.
3. Определить динамический прогиб балки в точке B и угол поворота сечения C .
4. Определить динамический коэффициент и максимальные напряжения, если на балке в точке падения груза поставить пружину, коэффициент осадки которой α .
5. Оценить влияние пружины на величину нормальных напряжений.

К задаче 22

Алфавит	Номер двутавра	a , м	b , м	l , м	d , см	H , см	P , кН	α , мм/кН	1	2	3	4	5	6	7	8
									1	2	3	4	5	6	7	8
а, б, в	16	2,0	3,5	1,5	4,0	10	1,0	1,0								
г, д, е, ё	18	2,4	3,3	1,7	4,6	12	1,2	1,2								
ж, з, и, й	20	2,8	3,1	1,9	5,0	14	1,4	1,4								
к, л, м	22	3,0	3,0	2,0	5,2	16	1,6	1,6								
н, о, п	24	3,2	2,8	2,2	5,6	18	1,8	1,8								
р, с, т	27	3,5	2,6	2,4	5,8	20	2,0	2,0								
у, ф, х	30	3,3	2,5	2,6	6,0	19	1,9	1,9								
ц, ч, ш, щ	27а	3,1	2,4	2,8	6,2	17	1,7	1,7								
ъ, ы, ь	24а	2,9	2,2	3,0	5,0	15	1,5	1,5								
э, ю, я	22а	2,7	2,0	3,2	4,8	13	1,3	1,3								

Задача 23. На двутавровой балке установлен электромотор весом Q . Число оборотов мотора n . Из-за вращения неуравновешенной массы развивается центробежная сила, равная $0,2Q$.

Подвески выполнены из круглых стальных стержней диаметром d . Массу балки и силы сопротивления среды не учитывать.

Требуется:

1. Определить частоту вынужденных колебаний балки ($\theta = \pi n / 30$).
2. Определить номер двутавра из условия, что частота собственных колебаний балки превышает частоту вынужденных колебаний на 30 % ($\omega = 1,3\theta$).

К задаче 23

Алфавит	l , м	a , м	b , м	d , см	Q , кН	n , об./мин	α , град
1	2	3	4	5	6	7	
а, ё, в	3,0	0,4l	1,5	2,0	4	800	30
г, д, е, ё	3,2	0,5l	1,6	2,5	5	900	35
ж, з, и, ї	3,4	0,6l	1,8	3,0	6	1000	40
к, л, м	3,6	0,7l	2,0	3,5	7	1100	45
и, о, п	3,8	0,75l	2,2	4,0	8	1200	55
р, с, т	4,0	0,25l	2,4	4,5	7	1250	60
у, ф, х	4,2	0,45l	2,6	5,0	6	1150	65
ц, ч, і, ў	4,4	0,55l	2,8	4,0	5	1050	70
ъ, ы, ѣ	4,6	0,65l	3,0	3,0	4	950	50
ў, ю, я	4,8	0,3l	3,2	2,0	3	850	40

3. Определить коэффициент нарастания колебаний, амплитуду вынужденных колебаний и наибольшие динамические напряжения в балке.

4. Определить динамический прогиб в точке С.

Задача 24. Абсолютно жесткий стержень закреплен с помощью шарниро-неподвижной опоры и двух деформируемых стальных стержней (l_1 и l_2 — длина; A_1 , A_2 — площадь поперечных сечений стержней).

Требуется:

1. Определить предельно допустимую нагрузку $P_{\text{пред}}$, удовлетворяющую условию прочности $\sigma_{\max} \leq R_y = 210$ МПа.
2. Определить разрушающую нагрузку $P_{\text{разр}}$, соответствующую переходу стержней 1 и 2 в состояние текучести ($\sigma_t = 240$ МПа).

К задаче 24

Алфавит	a , м	b , м	c , м	l_1 , м	l_2 , м	A_1 , см ²	A_2 , см ²	α , град
1	2	3	4	5	6	7	8	
а, ё, в	1,0	2,0	1,5	2,0	2,01	4,0	8,0	30
г, д, е, ё	1,1	1,9	1,6	2,25	2,2	4,5	7,5	35
ж, з, и, ї	1,2	1,8	1,7	2,50	2,3	5,0	7,0	40
к, л, м	1,3	1,7	1,8	2,75	2,4	5,5	6,5	45
и, о, п	1,4	1,6	1,9	3,0	2,5	6,0	6,0	50
р, с, т	1,5	1,5	2,0	2,8	3,0	6,5	5,5	55
у, ф, х	1,6	1,4	1,9	2,6	2,8	7,0	5,0	60
ц, ч, і, ў	1,7	1,3	1,8	2,4	2,6	7,5	4,5	55
ъ, ы, ѣ	1,8	1,2	1,7	2,2	2,4	8,0	4,0	50
ў, ю, я	1,9	1,1	1,6	2,1	2,0	8,5	3,5	45

3. Сопоставить предельные нагрузки, вычисленные по упругой стадии работы материала ($P_{\text{пред},1}$) и с учетом пластических деформаций ($P_{\text{пред}} = P_{\text{пред},1} \cdot R_y / \sigma_t$).

4. Определить, при каких площадях A_1 и A_2 , обеспечивающих неизменность найденного в п. 3 значения $P_{\text{пред}}$, общий объем материала ($A_1 l_1 + A_2 l_2$) будет минимальным.

Варианты расчетных схем

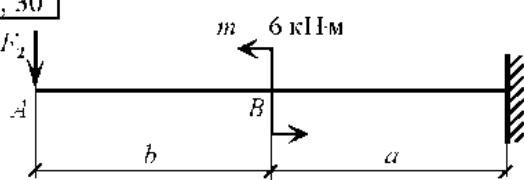
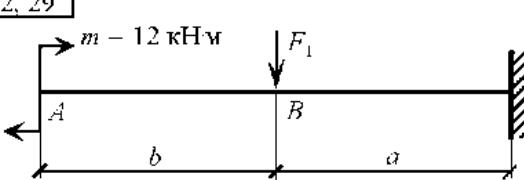
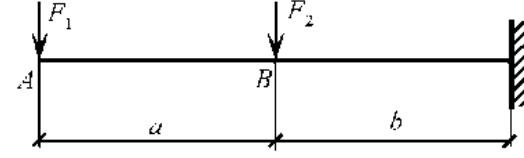
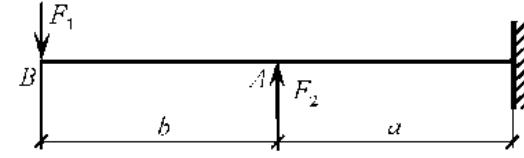
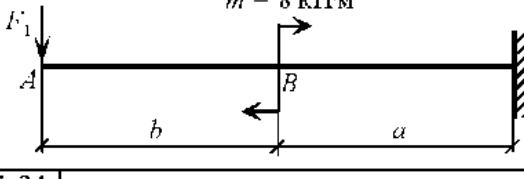
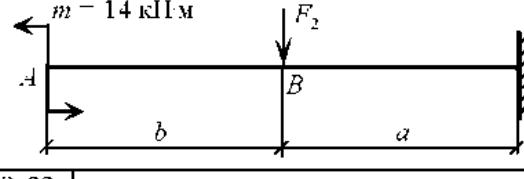
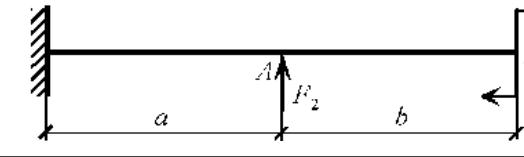
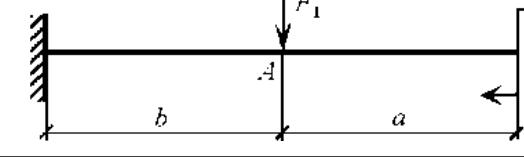
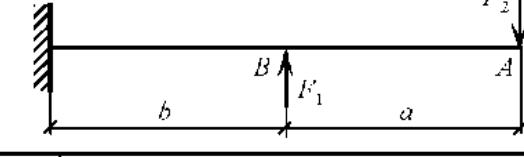
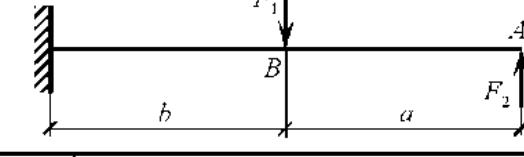
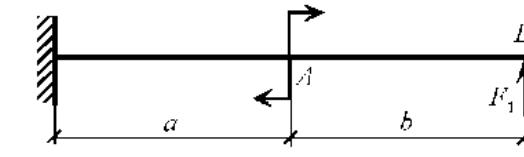
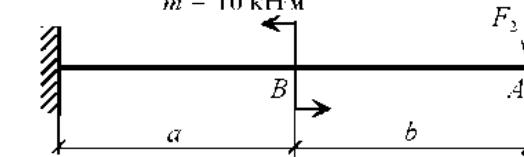
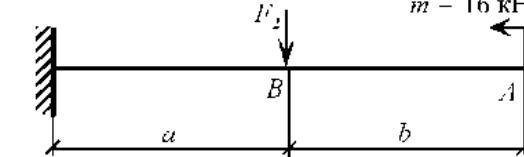
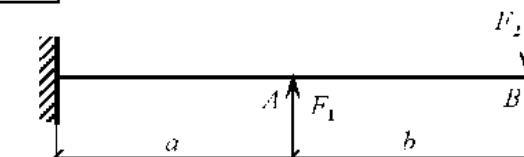
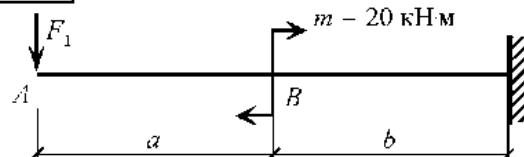
Задача 1. Перемещения при изгибе

1, 30 	2, 29
3, 28 	4, 27
5, 26 	6, 25
7, 24 	8, 23
9, 22 	10, 21
11, 20 	12, 19
13, 18 	14, 17
15, 16 	31

Задача 2. Перемещения при изгибе балки

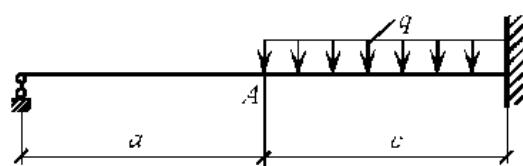
1, 30 	2, 29
3, 28 	4, 27
5, 26 	6, 25
7, 24 	8, 23
9, 22 	10, 21
11, 20 	12, 19
13, 18 	14, 17
15, 16 	31

Задача 3. Перемещения при изгибе

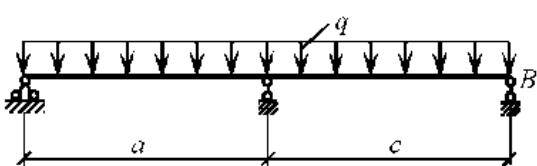
1, 30		2, 29	
3, 28		4, 27	
5, 26		6, 25	
7, 24		8, 23	
9, 22		10, 21	
11, 20		12, 19	
13, 18		14, 17	
15, 16		31	

Задача 4. Статически неопределенные балки

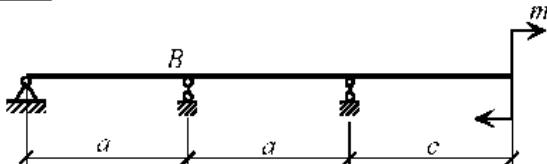
1, 30



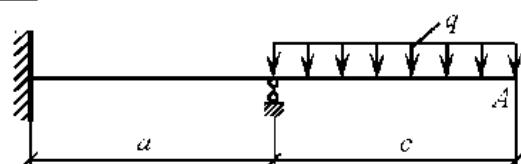
2, 29



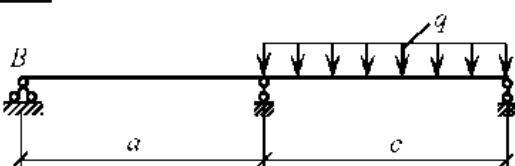
3, 28



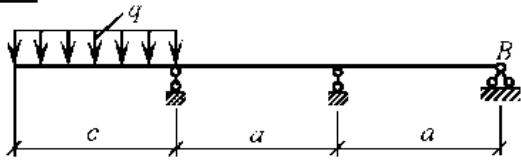
4, 27



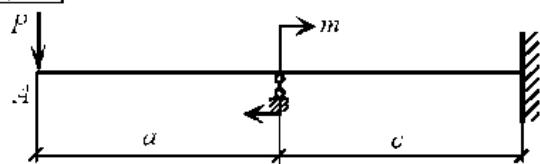
5, 26



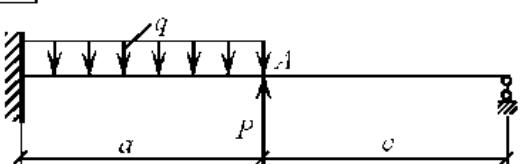
6, 25



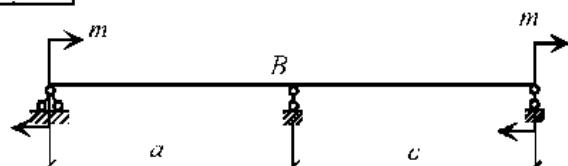
7, 24



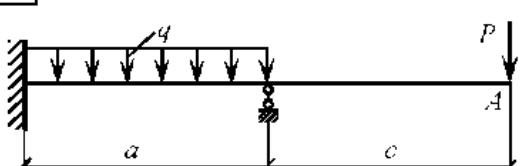
8, 23



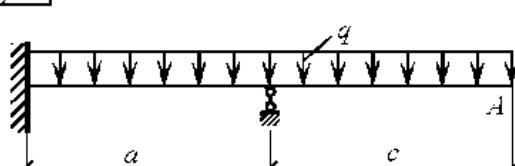
9, 22



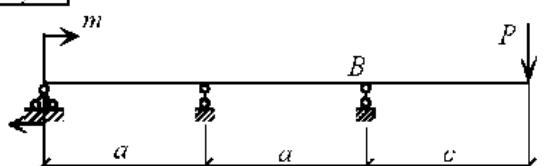
10, 21



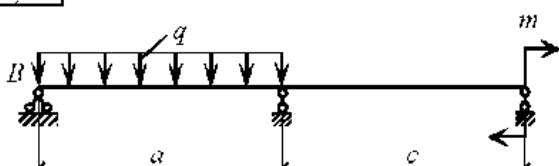
11, 20



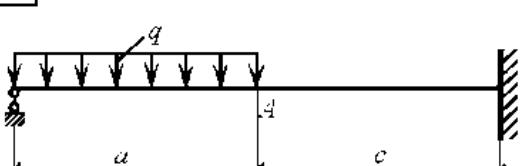
12, 19



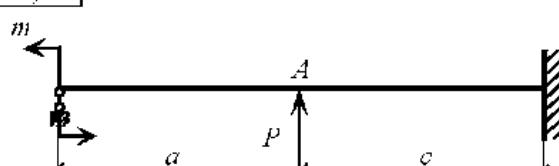
13, 18



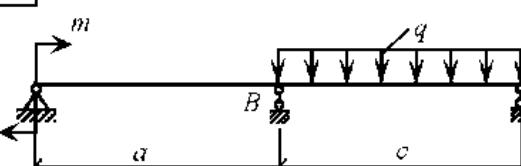
14, 17



15, 16



31

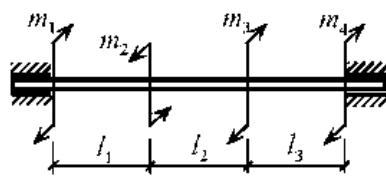


Задача 5. Статически определимые балки

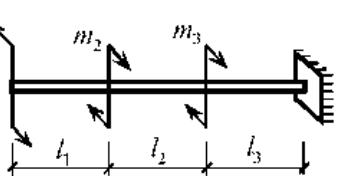
1, 30		2, 29	
3, 28		4, 27	
5, 26		6, 25	
7, 24		8, 23	
9, 22		10, 21	
11, 20		12, 19	
13, 18		14, 17	
15, 16		31	

Задача 6. Кручение круглого вала

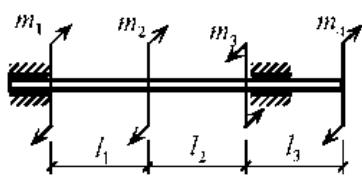
1, 30



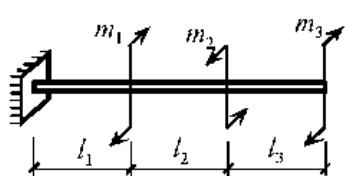
2, 29



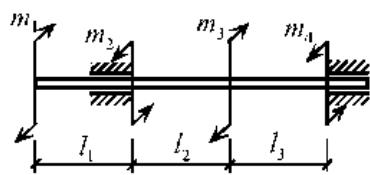
3, 28



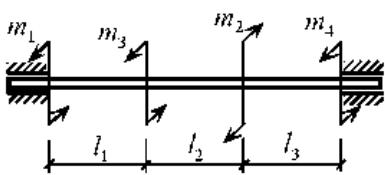
4, 27



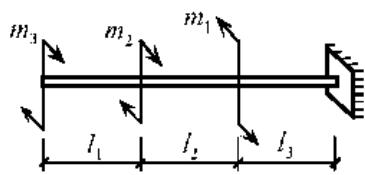
5, 26



6, 25



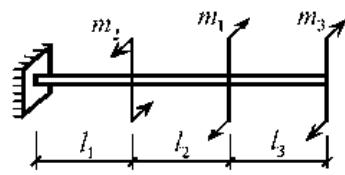
7, 24



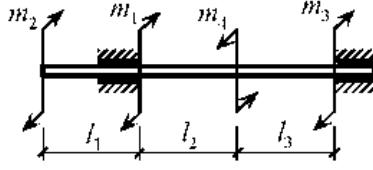
8, 23



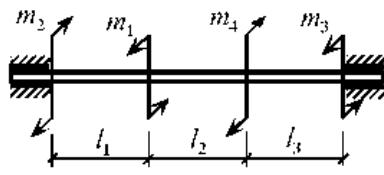
9, 22



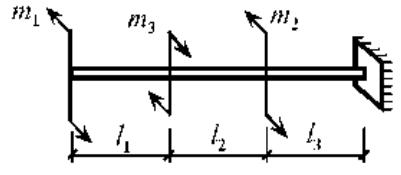
10, 21



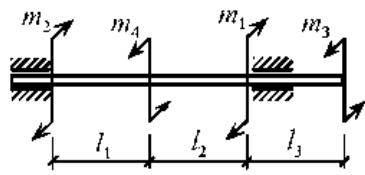
11, 20



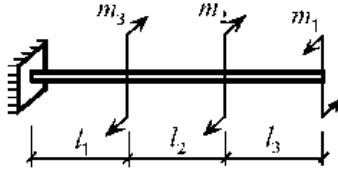
12, 19



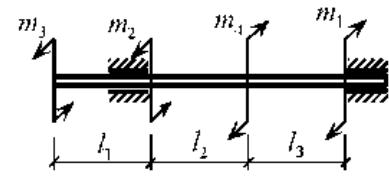
13, 18



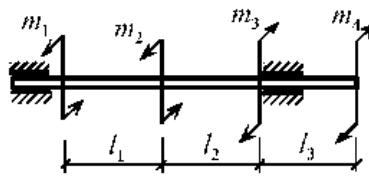
14, 17



15, 16



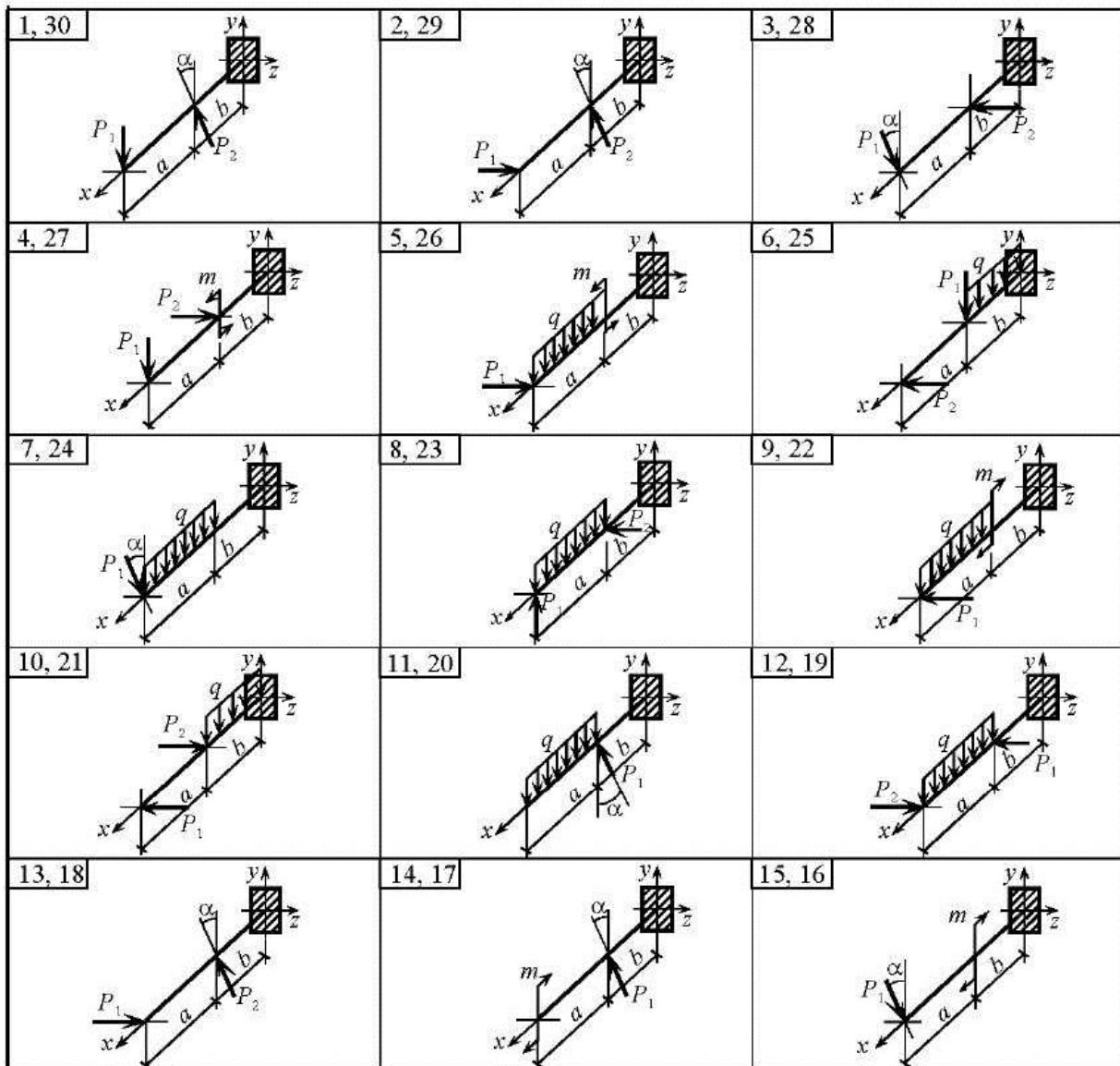
31



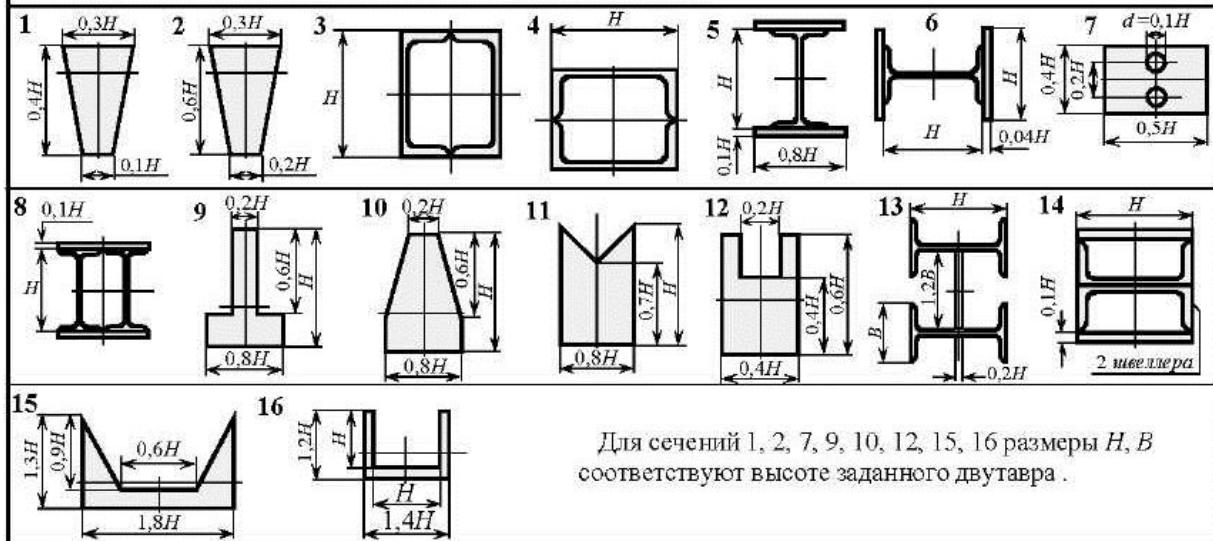
Задача 7. Кручение круглого вала

1, 30		2, 29	
3, 28		4, 27	
5, 26		6, 25	
7, 24		8, 23	
9, 22		10, 21	
11, 20		12, 19	
13, 18		14, 17	
15, 16		31	

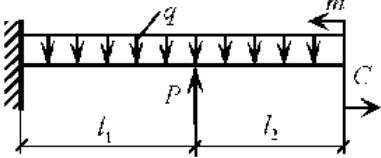
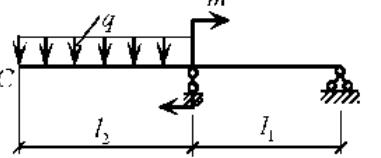
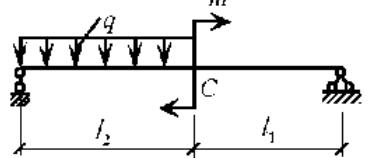
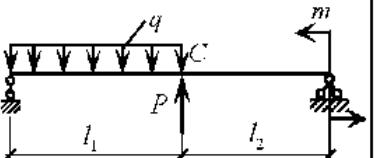
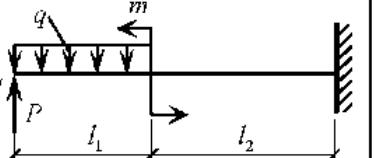
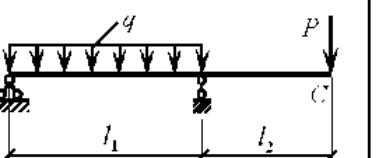
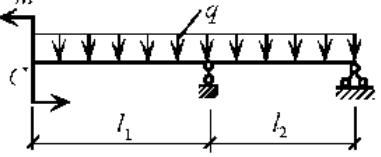
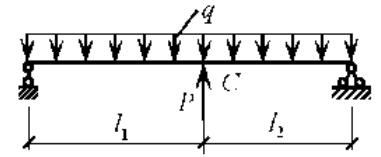
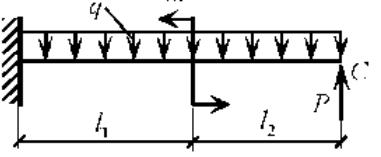
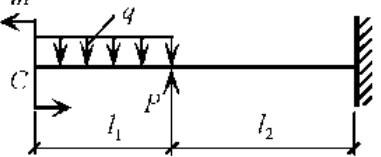
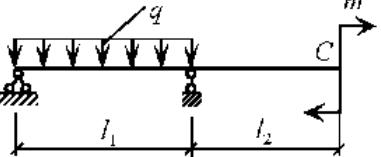
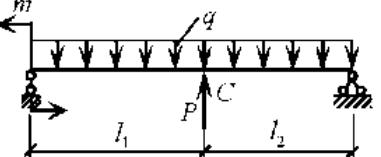
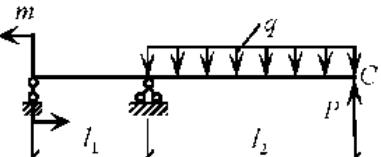
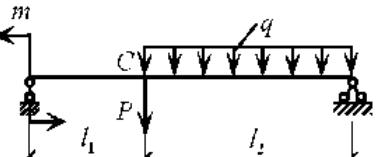
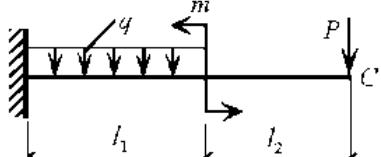
Задача 8. Косой изгиб



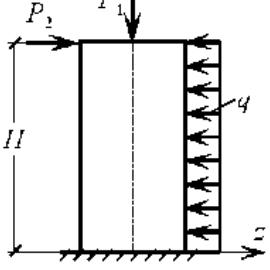
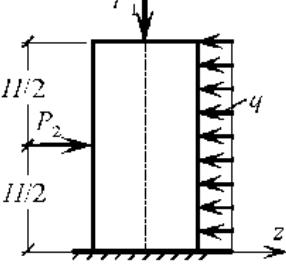
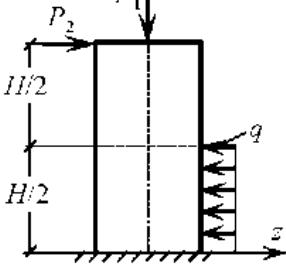
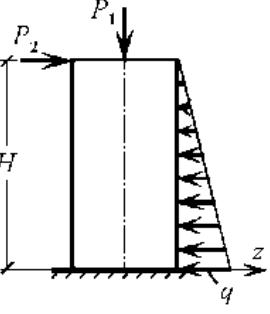
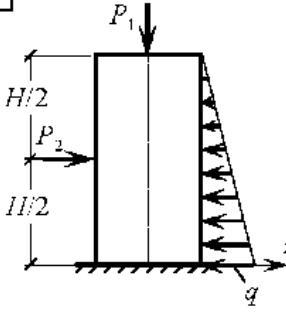
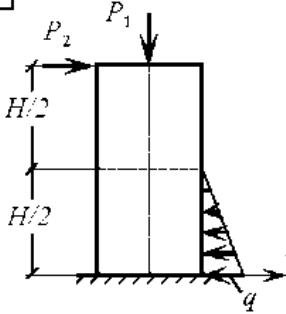
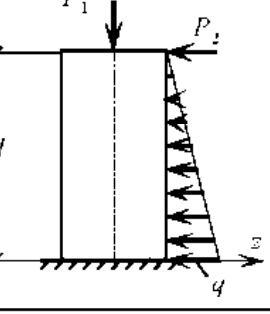
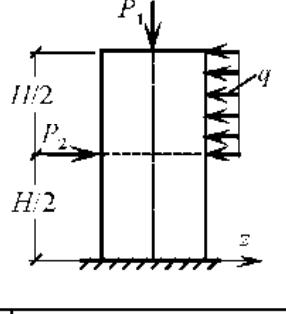
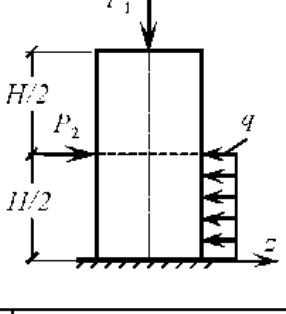
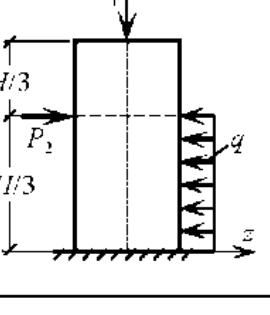
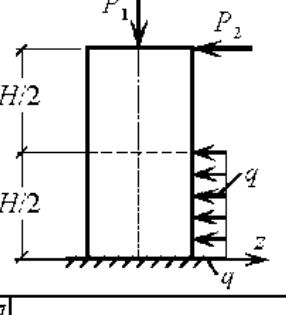
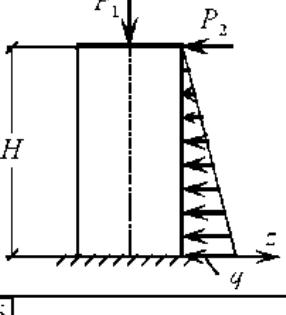
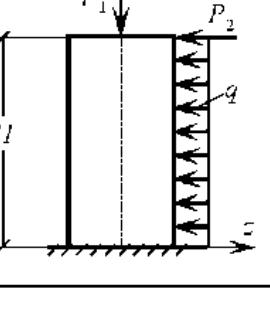
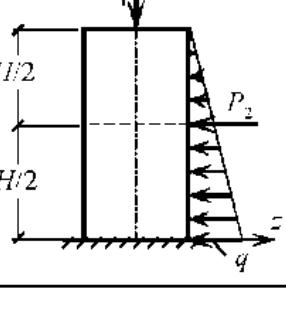
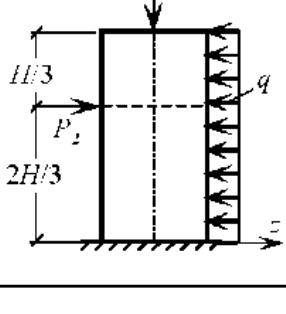
Типы сечений



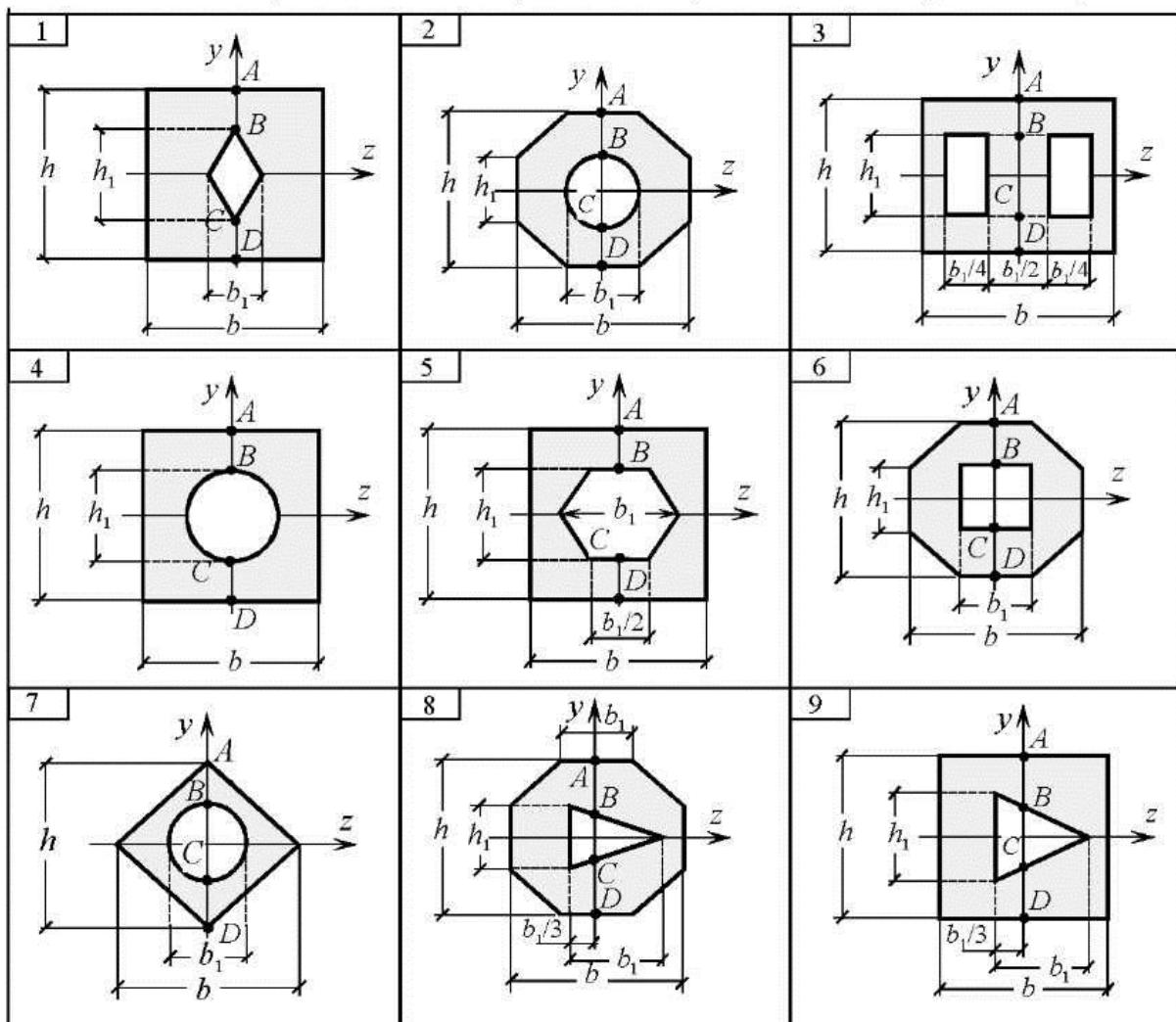
Задача 9. Косой изгиб

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

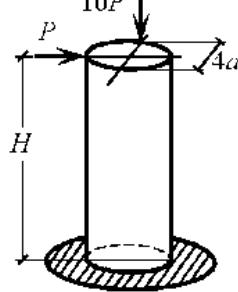
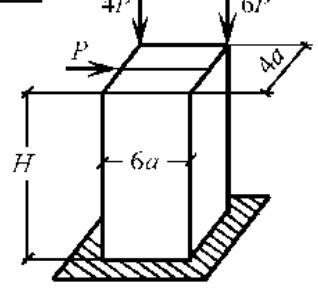
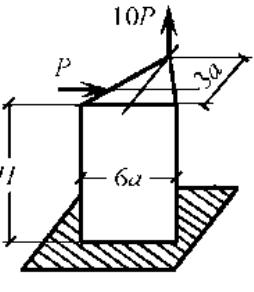
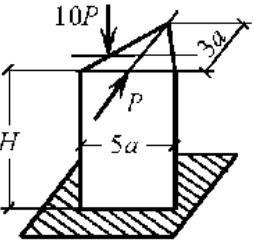
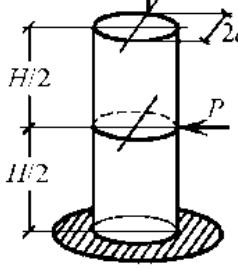
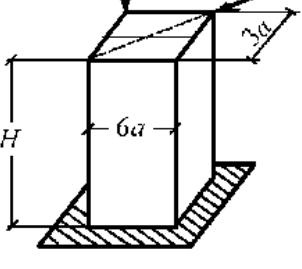
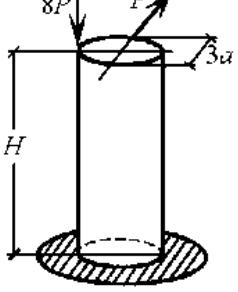
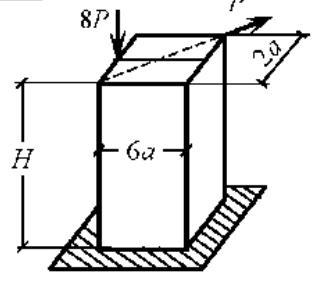
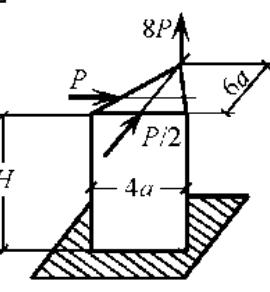
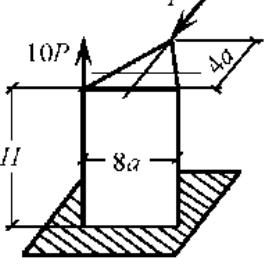
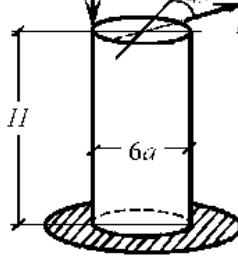
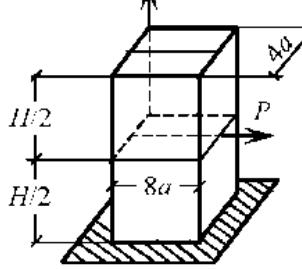
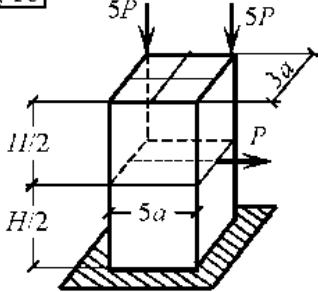
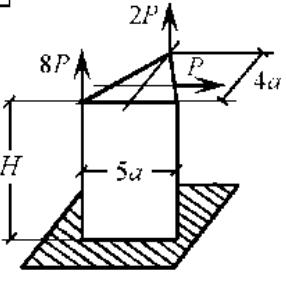
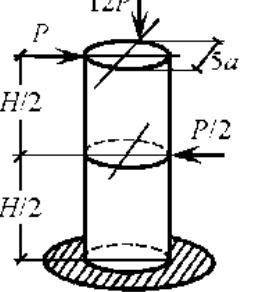
Задача 10. Изгиб с растяжением (сжатием)

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

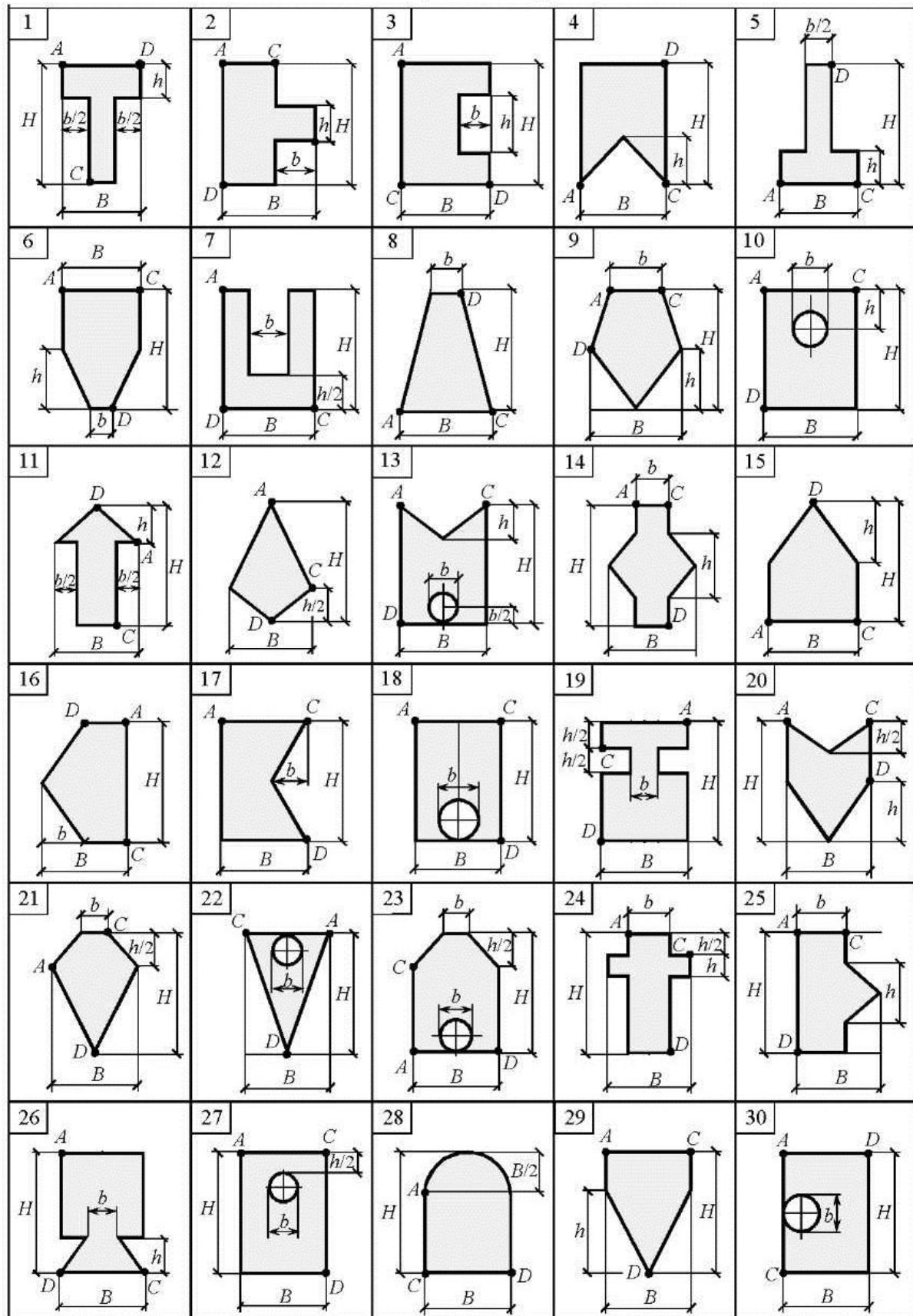
Задача 10 (типы сечений). Изгиб с растяжением (сжатием)



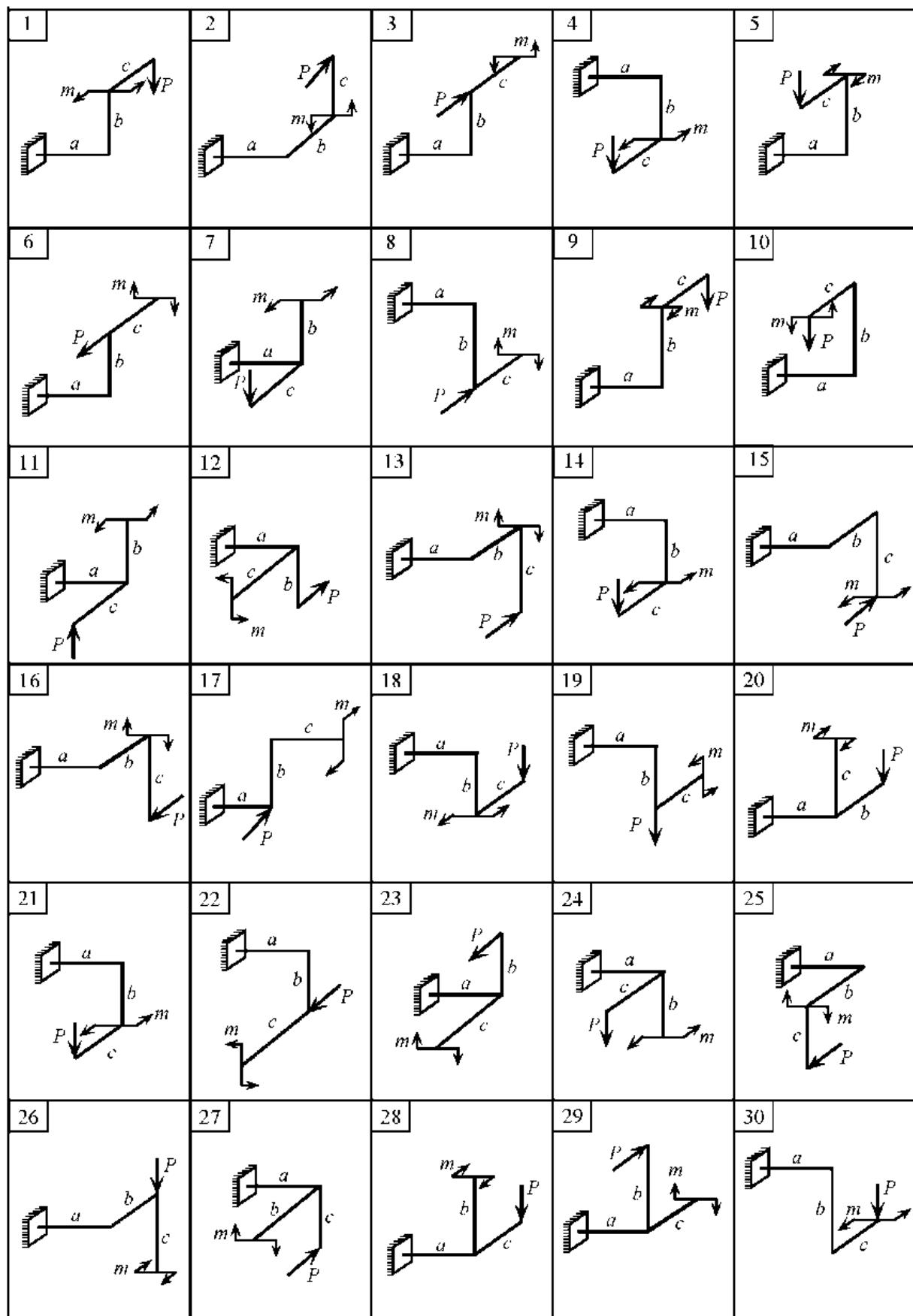
Задача 11. Изгиб с растяжением (сжатием)

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

Задача 12. Внекентренное приложение силы



Задача 13. Пространственные стержни



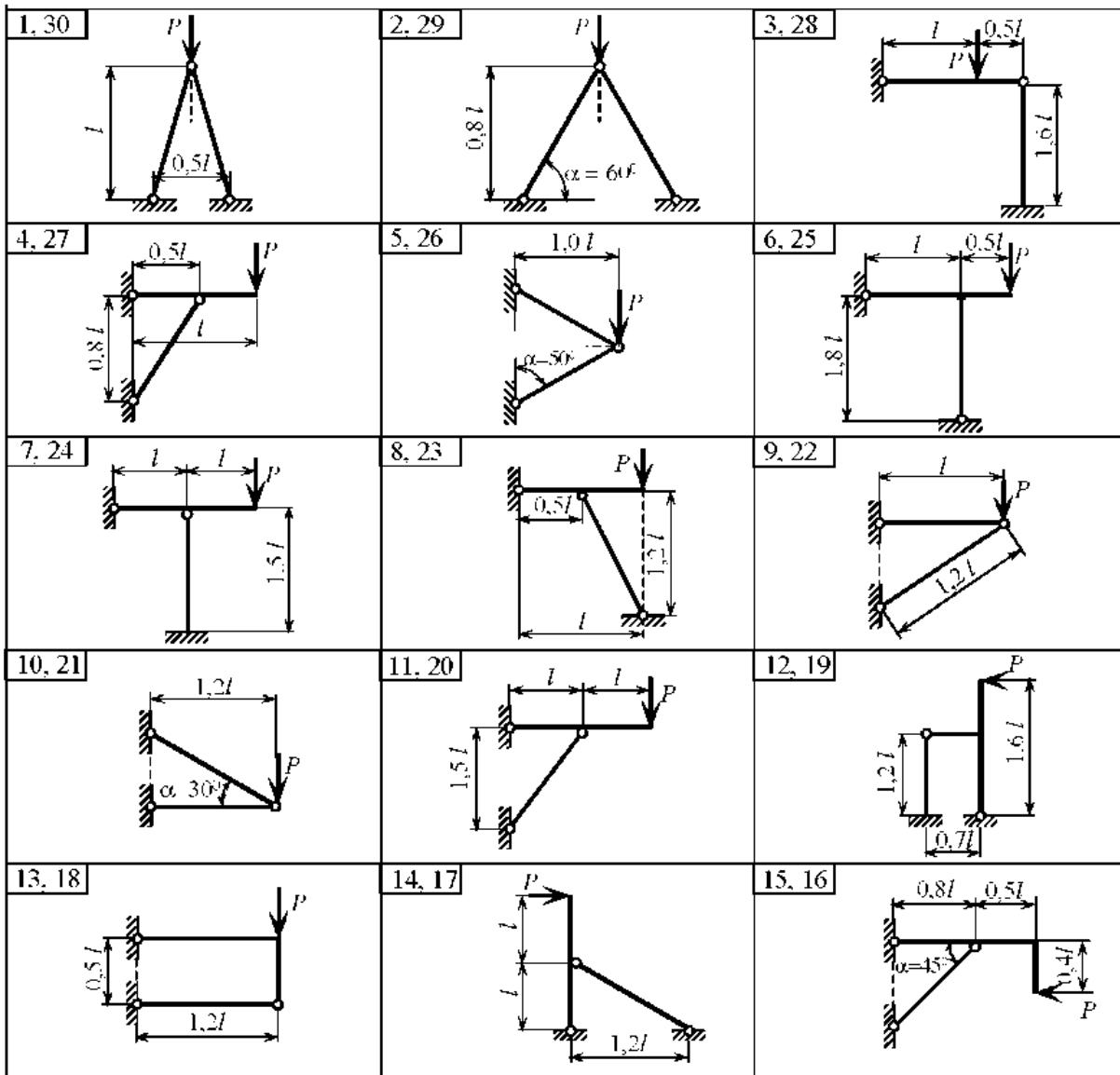
Задача 14. Изгиб с кручением

1, 30		2, 29	
3, 28		4, 27	
5, 26		6, 25	
7, 24		8, 23	
9, 22		10, 21	
11, 20		12, 19	
13, 18		14, 17	
15, 16		31	

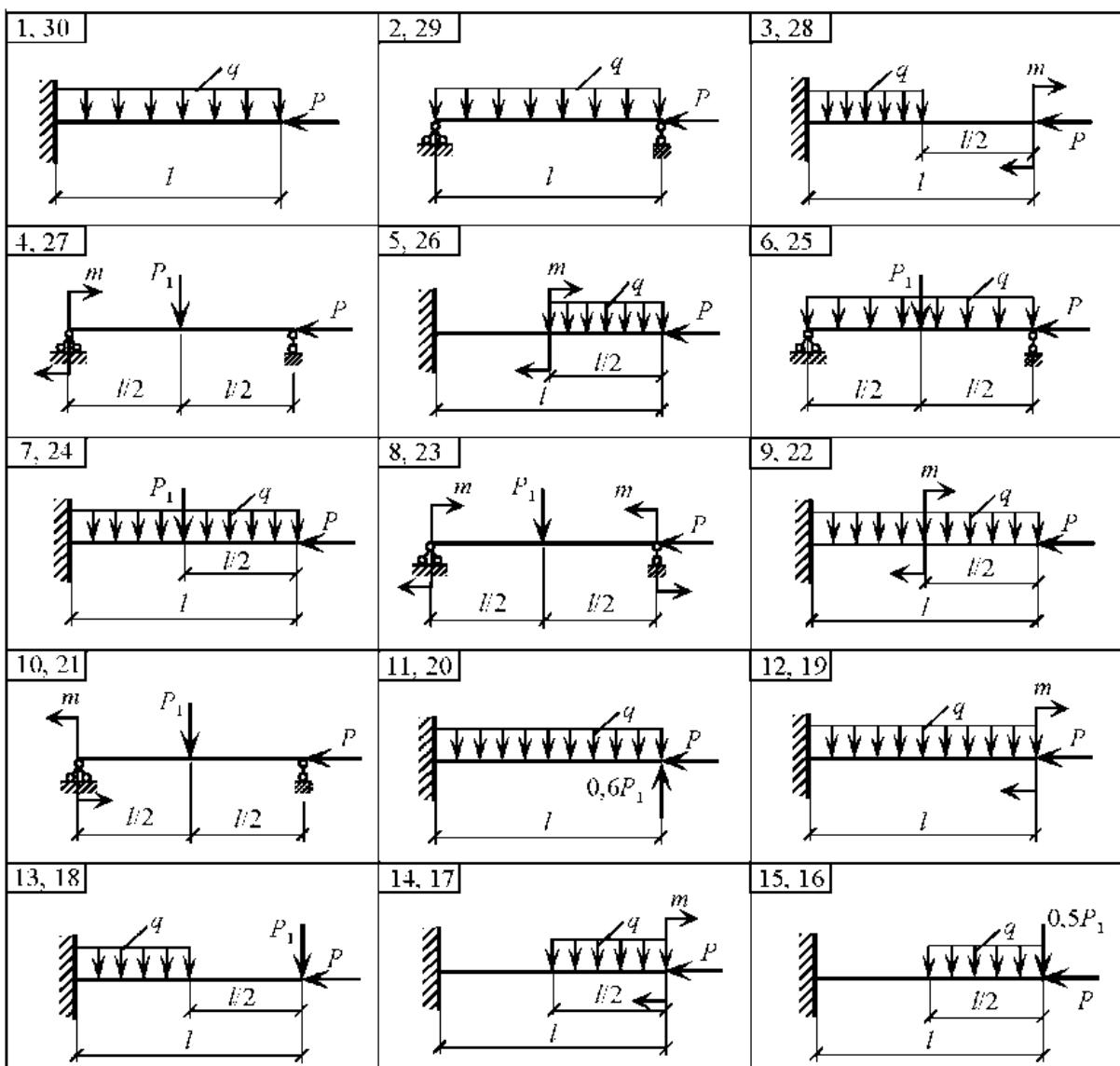
Задача 15. Расчет кривого бруса

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

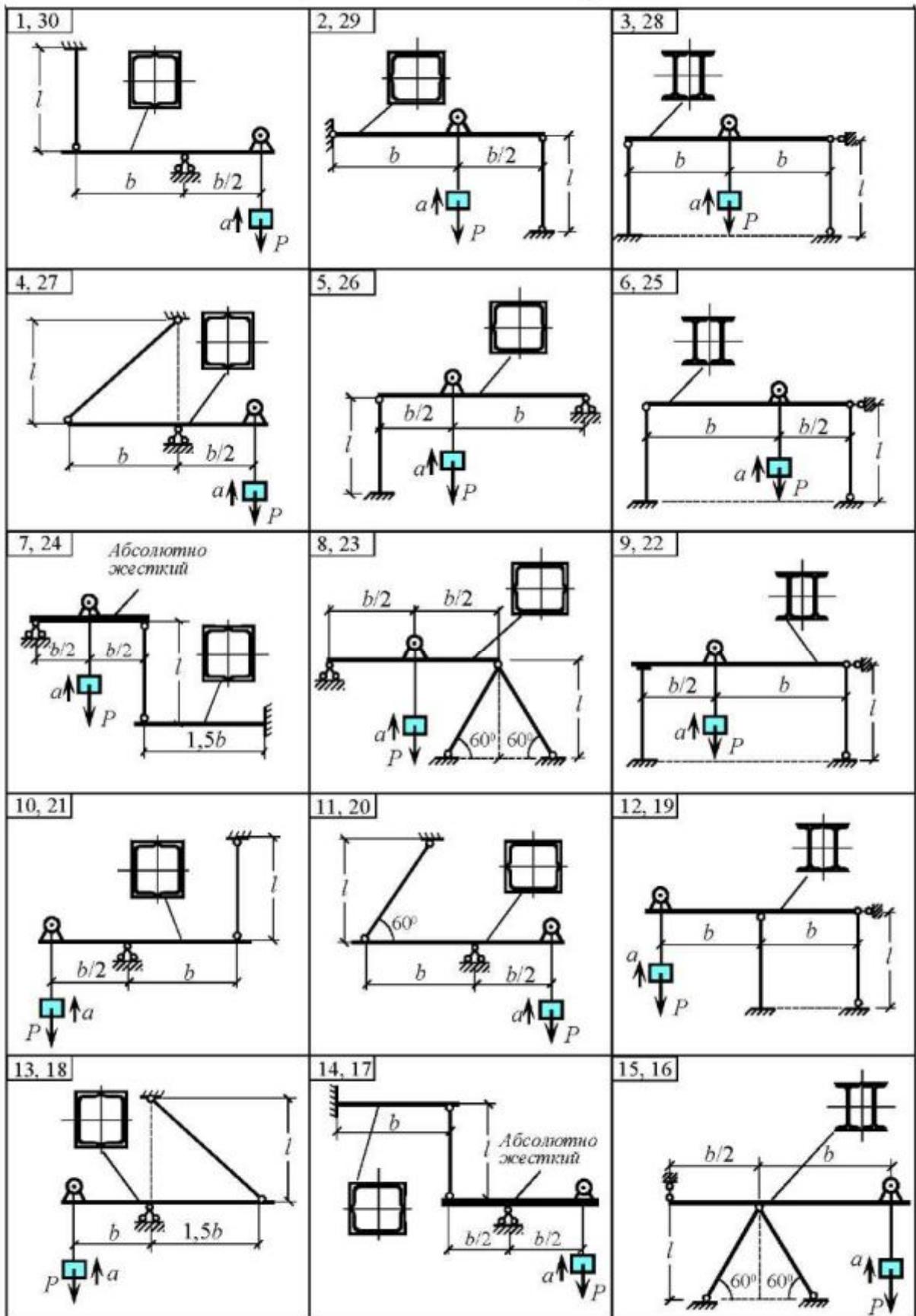
Задачи 16 и 17. Устойчивость сжатых стержней



Задача 18. Продольно-поперечный изгиб балки



Задача 19. Учет сил инерции



Задача 20. Учет силы инерции

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

Задача 21. Ударные нагрузки

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

Задача 22. Ударные нагрузки

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

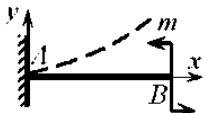
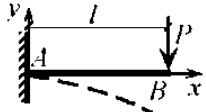
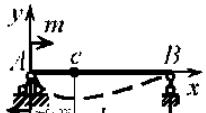
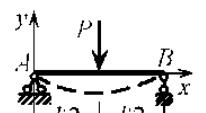
Задача 23. Собственные и вынужденные колебания

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

Задача 24. Статически неопределенные системы

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

Определение прогибов и углов поворота сечений
Наибольшие прогибы и углы поворота сечений

№ п/п	Расчетная схема балки с нагрузкой	Максимальный прогиб	Угол поворота сечений
1		$v_B = \frac{ml^2}{2EJ_z}$	$\theta_B = \frac{ml}{EJ_z}$
2		$v_B = -\frac{Pl^3}{3EJ_z}$	$\theta_B = -\frac{Pl^2}{2EJ_z}$
3		$v_B = -\frac{ql^4}{8EJ_z}$	$\theta_B = -\frac{ql^3}{6EJ_z}$
4		$v_{max} = -\frac{5ql^4}{384EJ_z}$ при $x = \frac{l}{2}$	$\theta_A = -\frac{ql^3}{24EJ_z}$ $\theta_B = \frac{ql^3}{24EJ_z}$
5		$v_{max} = -\frac{ml^2}{15.6EJ_z}$ при $x = l/2$ $v = -\frac{ml^2}{16EJ_z}$	$\theta_A = -\frac{ml}{3EJ_z}$ $\theta_B = \frac{ml}{6EJ_z}$
6		$v_{max} = -\frac{Pl^3}{48EJ_z}$	$\theta_A = -\frac{Pl^2}{16EJ_z}$ $\theta_B = \frac{Pl^2}{16EJ_z}$

Коэффициенты продольного изгиба ϕ

Гибкость, λ	Значение ϕ для		
	стали	чугуна	дерева
0	1.00	1.00	1.00
10	0.99	0.97	0.99
20	0.96	0.91	0.97
30	0.94	0.81	0.93
40	0.92	0.69	0.87
50	0.89	0.57	0.80
60	0.86	0.44	0.71
70	0.81	0.34	0.60
80	0.75	0.26	0.48
90	0.69	0.20	0.38
100	0.60	0.16	0.31
110	0.52	—	0.25
120	0.45	—	0.22
130	0.40	—	0.18
140	0.36	—	0.16
150	0.32	—	0.14
160	0.29	—	0.12
170	0.26	—	0.11
180	0.23	—	0.10
190	0.21	—	0.09
200	0.19	—	0.08

**Радиусы кривизны r и смещение нейтрального слоя y_0
в кривых брусьях**

Тип сечения	Прямоугольник	Круг	Треугольник
Точное решение	$r = \frac{h}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$	$r = \frac{D^2}{8 \left(R_0 - \sqrt{R_0^2 - \frac{D^2}{4}} \right)}$	$r = \frac{h}{2 \left(\frac{R_2}{h} \ln \frac{R_2}{R_1} - 1 \right)}$
Приближенное решение	$y_0 = \frac{h^2}{12R_0}$	$y_0 = \frac{D^2}{16R_0}$	$y_0 = \frac{h^2}{18R_0}$

**Номограммы для подбора сечений
при косом изгибе с растяжением (сжатием)**

При подборе сечений из прокатных профилей имеется возможность ускорить расчетный процесс путем использования предварительно составленных номограмм.

Подбор двутавров

Вначале рассмотрим подбор номера прокатного двутавра, работающего на растяжение (сжатие) с изгибом. Условие достижения наибольшим напряжением величины расчетного сопротивления можно записать так:

$$\frac{N}{FR} + \frac{M_y}{W_y R} + \frac{M_z}{W_z R} = 1, \quad (\Gamma 1)$$

где N , M_y и M_z приняты положительными. Выражение (Г1) можно рассматривать как уравнение некоторой плоскости в системе координатных осей N , M_y и M_z с отрезками на осях координат, соответственно равными FR , $W_y R$, $W_z R$. Геометрическое место точек, лежащих на такой плоскости, определяет совокупность усилий N , M_y и M_z , для которых условие прочности соответствующего двутавра удовлетворяется в виде равенства (Г1). С помощью таблиц сортамента такие плоскости могут быть построены для всех существующих двутавров. Если теперь в этой же системе координат по известным N , M_y и M_z нанести точку, то положение ее по отношению к рассмотренному семейству плоскостей определит необходимый по условию прочности номер двутавра.

Все плоскости, расположенные между началом координат и нанесенной точкой, соответствуют двутаврам, не обеспечивающим прочности при заданных внутренних усилиях. Плоскости, проходящие с внешней стороны от точки, удовлетворяют прочности "с избытком". Из числа последних плоскость, ближайшая к нанесенной точке, и определяет номер требуемого двутавра.

Реализация описанной методики при непосредственном использовании пространственной диаграммы затруднительна. Поэтому необходимые построения можно осуществить, применяя методы начертательной геометрии.

Рассмотрим порядок подбора номера двутавра. На рис. Г1 схематически изображены следы плоскости (Г1), соответствующей определенному номеру двутавра, и показаны проекции точки A , отвечающей заданным усилиям N , M_y и M_z . При этом применяются только две плоскости проектирования: вертикальная V и горизонтальная H . Если точка A ложится в плоскости, заданной следами P_V и P_H , то линия $a'k'$, параллельная P_V (см. рис. Г1, а), представляет собой вертикальную проекцию фронтали, проходящей через точку A . В таком случае горизонтальная проекция этой фронтали (ak) пересекает линию $k'k$ на следе P_H . Если же точка A (N , M_y и M_z) не ложится на плоскости, соответствующей некоторому двутавру, то в результате построения, описанного выше, точка K окажется или правее следа P_H — данный профиль перенапряжен (как на рис. Г1, б) — или левее следа P_H — профиль недонапряжен. Если в осях N , M_y и M_z изобразить следы плоскостей, соответствующих всем применяемым двутаврам, то, действуя указанным способом, по заданным N , M_y и M_z можно найти точку k и определить тем самым номер необходимого по условию (Г1) двутавра. При этом внутренние усилия N , M_y и M_z берутся по абсолютной величине.

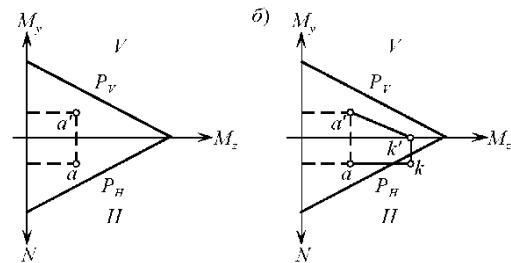


Рис. Г1

Номограммы для подбора двутавров, построенные согласно ГОСТ 8239-89*, приведены в приложении: номограмма Г1 составлена для двутавров № 10-30а, номограмма Г2 для двутавров № 30а-70б. При использовании этими номограммами следует иметь в виду, что плоскости (Г1), построенные для разных двутавров, не являются строго параллельными. Поэтому и следы их P_H также не параллельны. Вследствие этого линия $a'k'$ (см. рис. Г1, б) может быть проведена не точно, что повлечет за собой некоторую ошибку в определении номера двутавра. Однако проверка показывает, что в самом неблагоприятном случае найденный номер двутавра и действительно требуемый являются соседними. Поэтому рекомендуется после определения номера двутавра уточнить построение, проведя теперь линию $a'k'$ параллельно следу плоскости того двутавра, который подвергается проверке.

В частном случае, когда $M_z = 0$, проекции точки A располагаются на вертикальной оси номограммы и построение проводится описанным порядком. Если же $N = 0$ и $M_y = 0$, то точка A совпадает со своей проекцией a' или a и номер профиля определяется сразу*.

* Впервые подбор сечений с применением номограмм для случаев косого изгиба ($N \neq 0$) был предложен инж. Ф.Ф. Неппаковым.

Подбор швеллеров

При подборе сечения из прокатного швеллера возможны два расчетных случая в зависимости от расположения силовой точки по отношению к главной оси y (рис. Г2):

- 1) силовая точка со стороны полок (a);
- 2) силовая точка со стороны стенки (b).

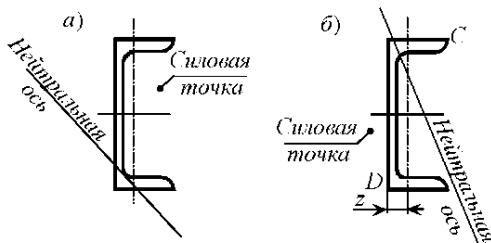


Рис. Г2

стол (Г1) следует записать:

$$-\frac{N}{RF} + \frac{M_y}{W_y R} + \frac{M_z}{W_z R} = 1. \quad (\text{Г2})$$

Если опасной является точка D , то нужно использовать уравнение:

$$\frac{N}{RF} + \frac{M_y}{W'_y R} + \frac{M_z}{W'_z R} = 1, \quad (\text{Г3})$$

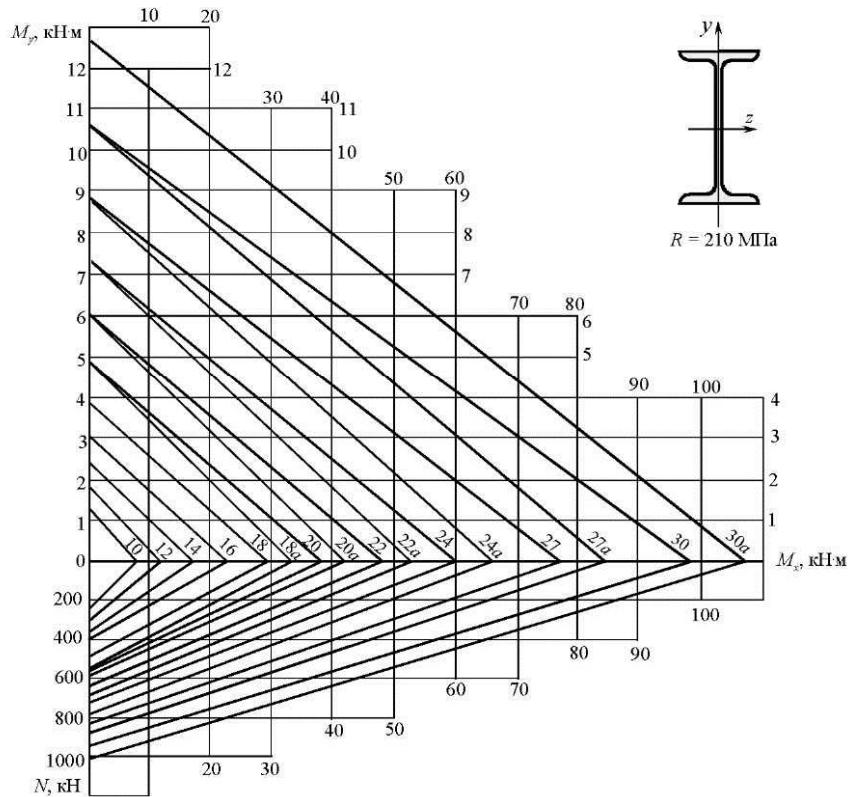
где $W'_y = I_y/z_0$. В формулах (Г2) и (Г3) все внутренние усилия принимаются положительными.

В системе координат N, M_y, M_z уравнения (Г2) и (Г3) представляют две непараллельные плоскости. Та из них, которая в данной части пространства находится ближе к началу координат, определяет более опасное условие, т.е. соответствует более опасной точке сечения. Таким образом, для швеллеров совокупность усилий N, M_y, M_z , при которых в одной из точек (C или D) $\sigma_{\max} = R$, образует геометрическое место точек в виде двух пересекающихся плоскостей. В номограмме Г4, соответствующей второму расчетному случаю (см. приложение), для удобства пользования ею, направления осей заменены.

Так как во втором расчетном случае заранее неизвестно, какая точка сечения более напряжена, при работе с номограммой Г4 построения нужно проводить дважды, поочередно используя каждое из семейств плоскостей (Г2) и (Г3) (рис. Г3). Принимать следует больший из полученных швеллеров.

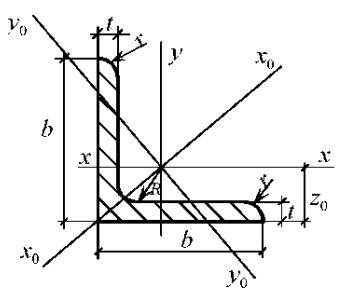
Отметим, что все номограммы, представленные в приложении, построены для значения $R = 210$ МПа. Однако они могут быть использованы и при других расчетных сопротивлениях. В этих случаях в качестве координат точки A следует принимать величины внутренних усилий N, M_y, M_z , помноженных на коэффициент $210/R'$, где R' — расчетное сопротивление.

Номограмма Г 1
для подбора двутавров № 10 – 30а
по ГОСТ 8239 – 89 при совместном
действии растяжения (сжатия) и изгиба



Сортамент стального проката

Уголки стальные горячекатаные равнополочные.



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

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

Приложение Д

(для учебных целей)

Сортамент (ГОСТ 8509-93)

Таблица Д1

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					J_{xy} , см ⁴	z_0 , см	Масса 1 м уголка, кг			
$x_0 \quad x_0$		$y_0 \quad y_0$		$J_{y_{\min}} \text{, см}^4$						
$J_{x_{\max}} \text{, см}^4$	$i_{x_{\max}} \text{, см}$	$J_{y_{\min}} \text{, см}^4$	$i_{y_{\min}} \text{, см}$							
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 поперечного сечения, см ²	Справочные		
	<i>b</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>		<i>x</i> – <i>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	
11	110	7	12,0	4,0	29,68	263,82	2,98	
		12			15,15	175,61	3,40	

Продолжение табл. II

Величины для осей			Масса 1 м уголка,	
<i>x₀</i> – <i>x₀</i>	<i>y₀</i> – <i>y₀</i>	<i>J_{xy}</i> , см ⁴	<i>z₀</i> , см	

$J_{x_{\text{max}}} \cdot \text{cm}^4$	$i_{x_{\text{max}}} \cdot \text{cm}$	$J_{x_{\text{min}}} \cdot \text{cm}^4$	$i_{x_{\text{min}}} \cdot \text{cm}$			KF
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

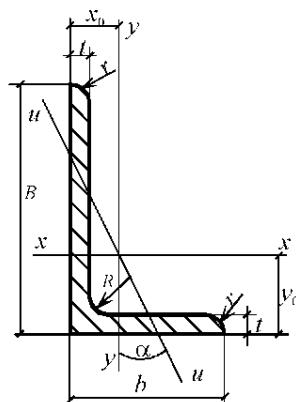
Номер уголка	Размеры уголка, мм				Площадь поперечного сечения, см^2	Справочные		
	b	t	R	r		$x - x$		
						$J_x \cdot \text{см}^4$	$i_x \cdot \text{см}$	
12	120	6	14,0	4,5	17,20	198,17	3,39	
		8			18,80	259,75	3,72	
		10			23,24	317,16	3,69	
		12			27,60	371,80	3,67	
		15			33,89	448,90	3,63	
12,5	125	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 12 15 18 20	16,0	5,3	38,80 42,19 52,18 61,99 68,43	1216,44 1316,62 1607,36 1884,07 2061,11	5,60 5,59 5,55 5,51 5,49
20	200	12 13 14 16 18 20 24 25 30	18,0	6,0	47,10 50,85 54,60 61,98 69,30 76,54 90,78 94,29 111,54	1822,78 1960,77 2097,00 2362,57 2620,64 2871,47 3350,66 3466,21 4019,60	6,22 6,21 6,20 6,17 6,15 6,12 6,08 6,06 6,00
22	220	14 16	21,0	7,0	60,38 68,58	2814,36 3175,44	6,83 6,80
25	250	16 18 20 22 25 28 30	24,0	8,0	78,40 87,72 96,96 106,12 119,71 133,12 141,96	4717,10 5247,24 5764,87 6270,32 7006,39 7716,86 8176,51	7,76 7,73 7,71 7,69 7,65 7,61 7,59

Окончание табл. Д1

величины для осей						Масса 1 м уголка, кг	
x_0	x_0	y_0		J_{xy} , см ⁴	z_0 , см		
$J_{x_0, \max}$, см ⁴	$i_{x_0, \max}$, см	$J_{y_0, \min}$, см ⁴	$i_{y_0, \min}$, 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 горячекатанные



B – тирина большей полки;
 b – тирина меньшей полки;
 t – толщина полки;
 R – радиус внутреннего закругления;
 r – радиус закругления полок

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

неравнополочные

Сортамент (ГОСТ 8510-86)

Таблица 12

J – момент инерции;
 i – радиус инерции;
 x_0, y_0 – расстояние от центра тяжести до наружных граней полок;
 J_{xy} – центробежный момент инерции (абс. величина)

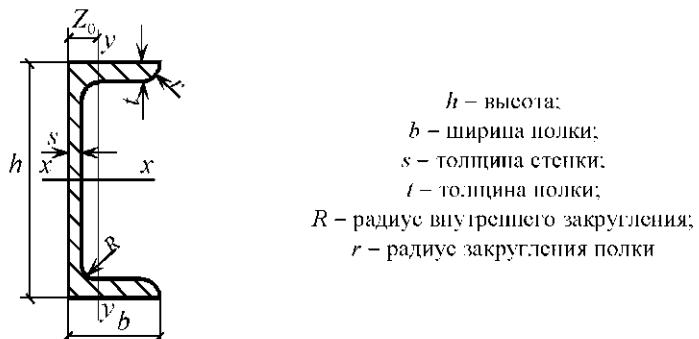
величины для осей					$x_0, \text{ см}$	$y_0, \text{ см}$	$J_{xy}, \text{ см}^4$	Угол наклона оси $\operatorname{tg}\alpha$	Масса 1 м уголка, кг
y	y	u	u						
$I_y, \text{ см}^4$	$i_y, \text{ см}$	$J_{y\min}, \text{ см}$	$i_{y\max}, \text{ см}$						
0,22	0,44	0,13	0,34	0,42	0,86	0,22	0,392	0,91	
0,45	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 поперечного сечения, см ²	Справочные		
	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>		<i>x</i> – <i>x</i>		
							<i>J_x</i> , см ⁴	<i>i_x</i> , см	
8/5	80	50	5	8,0	2,8	6,30	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'	h	h	x_0 , см	y_0 , см	J_{xy} , см ⁴		
I_y , см ⁴	i_y , см	$J_{y\text{min}}$, см	i_h , 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	1,20	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.



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

Сортамент (ГОСТ 8240-97)

Швеллеры с параллельными гранями полок

Таблица Д3

J – момент инерции;

W – момент сопротивления;

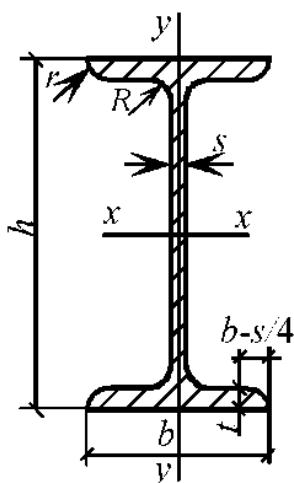
i – радиус инерции;

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
48,8	15,00	2,55	9,02	9,35	4,06	1,120
89,8	22,50	3,16	13,30	13,90	5,31	1,240
175,0	34,90	3,99	20,50	22,60	7,37	1,440
305,0	50,80	4,79	29,70	34,90	9,84	1,620
493,0	70,40	5,61	40,90	51,50	12,90	1,810
547,0	78,20	5,68	45,20	65,20	15,70	1,960
750,0	93,80	6,44	54,30	72,80	16,40	2,000
827,0	103,00	6,51	59,50	90,50	19,60	2,150
1090,0	121,00	7,26	70,00	100,00	20,60	2,200
1200,0	133,00	7,34	76,30	123,00	24,30	2,350
1530,0	153,00	8,08	88,00	134,00	25,20	2,390
1680,0	168,00	8,17	96,20	162,00	29,70	2,540
2120,0	193,00	8,90	111,00	178,00	31,00	2,580
2340,0	212,00	9,01	121,00	220,00	37,00	2,770
2910,0	243,00	9,75	139,00	248,00	39,50	2,850
3200,0	266,00	9,86	152,00	302,00	46,50	3,030
4180,0	310,00	10,90	178,00	314,00	46,70	2,990
5830,0	389,00	12,00	224,00	393,00	54,80	3,120
8010,0	486,00	13,10	281,00	491,00	64,60	3,250
10850,0	603,00	14,30	350,00	611,0	76,30	3,380
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)

Таблица №4

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

Масса 1 м двузварв, 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

Библиографический список

Основная литература

1. Агуленко В.И. Сопротивление материалов. Учеб. пособие. Ч. II. Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2003. 158 с.
2. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.И. Сопротивление материалов: Учебник. М.: Высш. шк., 2007. 560 с.
3. Ахметзянов М.Х., Грес И.В., Лазарев И.Б. Сопротивление материалов: Учебник. М.: Высш. шк., 2007. 334 с.
4. Ахметзянов М.Х., Лазарев И.Б. Сопротивление материалов. Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 1997. 300 с.
5. Грес П.В. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов. М.: Высш. шк., 2004. 135 с.
6. Дарков А.В., Штиро Г.С. Сопротивление материалов. М.: Высш. шк., 1975. 734 с.
7. Краснов Л.А. Справочник для решения задач по сопротивлению материалов. Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2004. 117 с.
8. Лазарев И.Б. Избранные разделы сопротивления материалов: Учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 1999. 136 с.
9. Мицюков 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.
11. Смирнов А.Ф. и др. Сопротивление материалов. М.: Высш. шк., 1975. 480 с.
12. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1986. 512 с.

Дополнительная литература

1. Алюминиевые сплавы. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов: Справ. М.: Металлургия, 1974. 432 с.
2. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справ. М.: Машиностроение, 1981. 391 с.
3. СНиП II-23-81. Стальные конструкции. М.: Стройиздат, 1991. 94 с.
4. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. М.: Госстрой СССР, 1985. 79 с.
5. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы. М.: Минстрой, 1996. 214 с.
6. СНиП 2.03.06-85. Алюминиевые конструкции. М.: Госстрой СССР. 1988. 48 с.

Содержание

Введение.....	3
Общие правила выполнения и оформления заданий.....	3
Условия задач	3
Варианты расчетных схем.....	23
<i>Приложение А.</i> Определение прогибов и углов поворота сечений.....	39
<i>Приложение Б.</i> Коэффициенты продольного изгиба φ	40
<i>Приложение В.</i> Радиусы кривизны r и смещение нейтрального слоя y_0 в кривых брусьях	49
<i>Приложение Г.</i> Номограммы для подбора сечений при косом изгибе с растяжением (сжатием)	41
<i>Приложение Д.</i> Сортаменты прокатных профилей	43
Библиографический список	72