

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Сопротивление материалов и теория упругости»

## СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Сборник заданий  
для расчетно-проектировочных работ  
для строительных специальностей

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом Белорусского  
национального технического университета*

М и н с к 2 0 0 3

УДК 539.316

Сборник заданий содержит 17 задач для расчетно-проектировочных работ по курсу «Сопротивление материалов» для студентов дневной и заочной форм обучения строительных специальностей, который охватывает все основные разделы курса.

К каждой задаче приводятся условие, схема конструкции, размеры и формы сечений ее элементов, виды и значения нагрузок, а также порядок решения и пример выполнения графической части задачи. Даются указания по оформлению заданий.

Составители:

М.К.Балыкин, В.А.Пенькевич, И.А.Голубев,  
С.И.Зиневич, М.В.Югова

Рецензенты:

Я.Н.Ковалев, Л.Р.Мытько

© Балыкин М. К., Пенькевич В. А.,  
Голубев И. А. и др. составление, 2003

## В в е д е н и е

При изучении курса «Соппротивление материалов» важное значение имеет практическое применение выводов теории. Поэтому программой курса предусматривается, кроме лекций, практических и лабораторных занятий, выполнение студентами ряда расчетно-проектировочных работ с целью выработки навыков в применении теоретических формул к выполнению конкретных инженерных расчетов на прочность, жесткость и устойчивость.

Настоящий сборник заданий предназначен для студентов строительных специальностей дневной и заочной форм обучения и содержит 17 расчетно-проектировочных задач, охватывающих основные разделы курса «Соппротивление материалов».

В каждой задаче приводятся текст задания, порядок выполнения, схемы конструкций и числовые данные к ним. Приводится пример выполнения графической части задачи.

Количество и содержание расчетно-проектировочных работ устанавливается кафедрой в зависимости от специализации и объема учебных часов, предусмотренных учебным планом.

Выдача студенту задания на расчетно-проектировочную работу сопровождается сообщением о номерах задач и двух цифр: первая – номер схемы; вторая – номер числового варианта. Номер схемы соответствует порядковому номеру студента в групповом журнале. Номер варианта указывается преподавателем отдельно.

Приступая к решению задачи, студент должен выбрать из 30 приведенных схем одну, соответствующую порядковому номеру.

Если в задаче показана обобщенная схема, следует выбрать из нее только те элементы, которые соответствуют номеру схемы (стержни, типы сечений, типы и размещение опор, виды нагрузки и др.). Числовые данные (длины стержней, размеры сечений, нагрузки и др.) берутся из соответствующей таблицы по номеру варианта, указанного преподавателем.

При выполнении расчетно-проектировочных работ необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

- 1) приступать к решению задачи только после изучения соответствующего раздела курса;

2) расчеты выполнять на листах формата А4 (210х297 мм); на обложке указать номер работы, ее название, факультет, группу, фамилию и инициалы студента и преподавателя;

3) записать условие задачи (без плана решения), числовые данные, начертить в определенном масштабе расчетную схему конструкции и указать числовые значения величин, входящих в расчет; чертежи выполнять карандашом;

4) расчетная схема, эпюры усилий, перемещений, схемы сечений должны располагаться на одном листе;

5) расчет вести последовательно, в соответствии с планом решения задачи: сначала записать формулы в буквенном обозначении, затем обязательно проставлять числовые значения величин с учетом их размерностей и только после этого приводить результат вычислений;

6) все вычисления производить в десятичных дробях; количество значащих цифр должно соответствовать необходимой точности расчета (обычно достаточно от 3 до 4 цифр независимо от положения запятой: например, числа 327; 32,7; 3,27; 0,327 все содержат по три значащих цифры);

7) расчет должен сопровождаться краткими пояснениями о выполняемых операциях и полученных результатах.

При защите расчетно-проектировочной работы студент должен ответить на вопросы, связанные с ее выполнением, уметь решить контрольную задачу по ее тематике.

**Указания для студентов заочников.** При выборе номера схемы задачи и варианта числовых данных следует руководствоваться следующим правилом: личный номер (шифр) студента от 1 до 30 соответствует номеру схемы и номеру варианта. Если личный номер больше 30, то номер схемы и варианта определяется путем деления личного номера на число 30. Целое число частного не используется, а остаток определяет номер схемы и варианта. Например: личный номер студента 289; тогда  $289/30=9$  и 19 в остатке – номер схемы и варианта 19.

Работы, выполненные с нарушением этого правила, не рецензируются.

Каждая контрольная работа выполняется в отдельной тетради, чернилами. На каждой странице отводятся поля в 2 – 3 см и 1 – 2 страницы в конце работы для замечаний рецензента.

Чертежи к задаче выполняются на отдельной странице или на миллиметровой бумаге с соблюдением масштаба изображения. Миллиметровка (по размеру листа тетради) крепится к ней. На чертеже должны быть проставлены все числовые значения, используемые в расчете.

Решение каждой задачи желательно начинать с новой страницы. Сначала записываются условие задачи (без плана решения) и все исходные данные, согласно номеру схемы и варианта. Последовательность решения указана в условии каждой задачи. По ходу решения задачи приводятся пояснения к выполняемым операциям и полученным результатам.

Выявленные рецензентом ошибки исправляются студентом на отдельных листах, которые вклеиваются в соответствующие места контрольной работы. В самой незачтенной работе ничего менять не следует.

Количество контрольных работ устанавливается учебным планом. Номера задач, включенных в контрольные работы, приведены в таблице.

Количество контрольных работ	Номера задач в контрольных работах			
	1	2	3	4
4	1, 3, 6, 7	9 (1, 2, 3), 10, 11	2, 4, 12	14, 16, 17
2	1, 2, 6, 9 (1)	9 (2, 3), 14, 17		
1	1, 2, 6, 9 (1, 2), 17			

Все выполненные студентом и зачтенные преподавателем контрольные работы должны быть представлены на зачете или экзамене и защищены ответами на заданные вопросы, связанные с решением той или иной задачи.

## 1. РАСТЯЖЕНИЕ – СЖАТИЕ

### Задача 1

Стержень находится под действием продольных расчетных нагрузок – сосредоточенных  $F$  и равномерно распределенных  $q$ . Материал стержня – сталь с расчетным сопротивлением  $R = 210$  МПа,

модулем продольной упругости  $E = 200$  ГПа и предельно допустимой относительной деформацией  $\varepsilon = 1,05 \cdot 10^{-3}$ .

Требуется:

1) вычислить значения продольных сил на участках стержня и построить их эпюру;

2) определить для каждого силового участка стержня диаметр  $D$  постоянного сечения, округлив полученные значения до целого числа;

3) вычислить нормальные напряжения на участках стержня исходя из принятых диаметров и построить эпюру распределения их по длине участка;

4) построить эпюру распределения нормальных напряжений по поперечному сечению наиболее напряженного участка;

5) вычислить абсолютные и относительные деформации на участках стержня и построить эпюру распределения последних по длине участка;

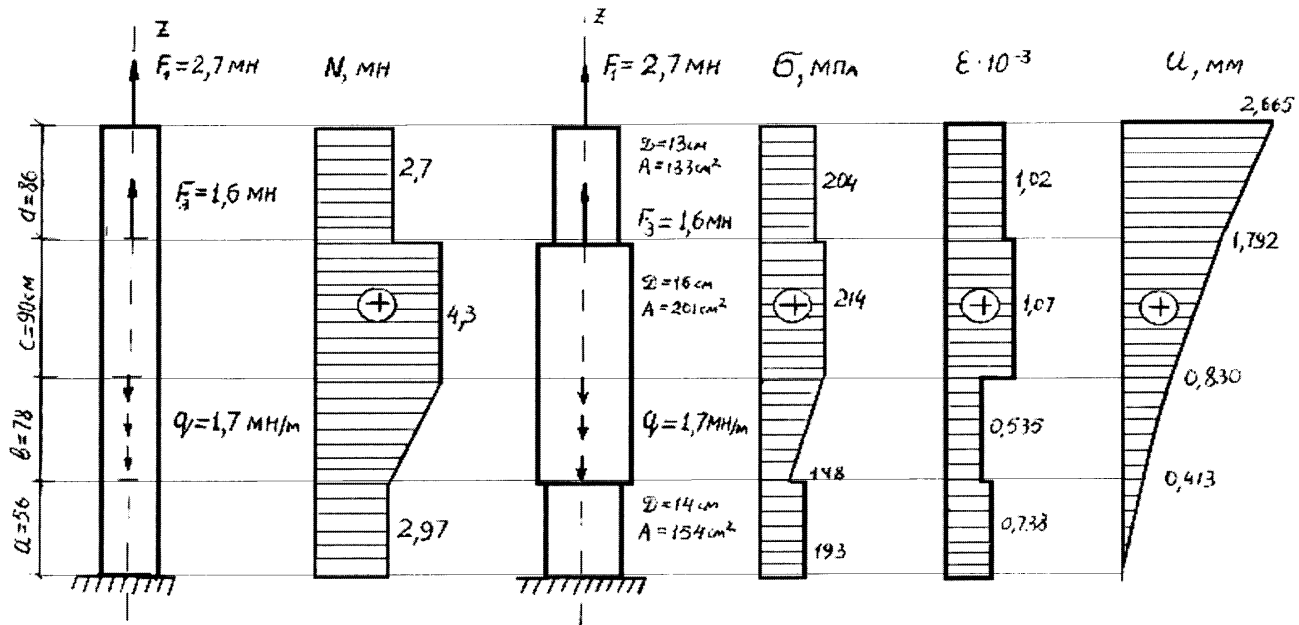
6) вычислить перемещения граничных (между участками) сечений и построить эпюру распределения их по длине стержня;

7) проверить прочность и жесткость рассматриваемого стержня;

8) проанализировать полученные результаты: указать на характер деформаций участков стержня, выделить наиболее напряженный участок (сечение), отметить сечение с наибольшим перемещением и указать направление перемещения.

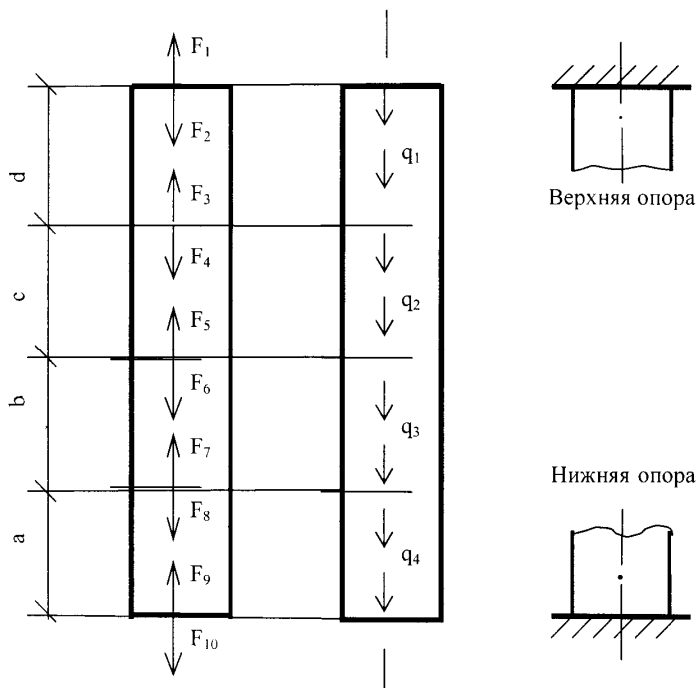
Схемы к задаче приведены на рис. 1.2, а числовые данные в табл. 1.1.

**Примечание.** Допускается перенапряжение в материале стержня до 5 %.



Размеры длин участков стержня – в см.

Рис. 1.1. Пример выполнения графической части задачи 1



Номер схемы	Индекс нагруз- ки		Опора
	q	F	
1	1	5,8	вверху
2	1	5,7	внизу
3	2	7,10	вверху
4	2	1,7	внизу
5	3	3,10	вверху
6	3	1,3	внизу
7	4	3,5	вверху
8	4	4,5	внизу
9	1	5,7	вверху
10	1	5,8	внизу
11	2	8,10	вверху
12	2	1,8	внизу
13	3	4,10	вверху
14	3	1,4	внизу
15	4	4,5	вверху

Номер схемы	Индекс нагруз- ки		Опора
	q	F	
16	4	3,6	вверху
17	1	6,7	внизу
18	1	6,8	вверху
19	2	7,9	вверху
20	2	1,7	внизу
21	3	4,9	вверху
22	3	1,4	внизу
23	4	3,6	внизу
24	4	3,5	вверху
25	1	6,8	внизу
26	1	6,7	вверху
27	2	8,9	вверху
28	2	1,8	внизу
29	3	3,9	вверху
30	3	1,3	внизу

Рис. 1.2. Схемы к задаче 1



Числовые данные к задаче 1

Но- мер вари- анта	Длины участков, см				Нагрузки							
	a	b	c	d	МН/м		МН					
					q <sub>1</sub> , q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub> , q <sub>4</sub>	F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub> , F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub> , F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub> , F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub> , F <sub>10</sub>	
1	50	98	72	80	0,5	2,0	1,0	2,9	1,5	2,0	2,5	
2	68	78	54	88	1,5	0,8	2,1	2,3	1,8	2,9	1,3	
3	88	56	68	72	1,9	1,2	1,8	2,7	2,2	1,0	1,5	
4	52	96	70	84	0,6	1,9	2,0	1,5	2,6	2,2	2,7	
5	70	76	58	90	1,6	0,9	1,1	3,0	1,6	2,8	2,2	
6	90	58	72	84	2,0	0,5	2,2	1,4	1,7	2,6	2,8	
7	54	94	66	90	0,7	1,8	1,9	2,2	2,6	1,3	1,0	
8	72	64	88	94	1,7	1,0	2,3	1,0	1,8	2,1	2,6	
9	92	54	70	88	0,9	1,4	1,2	2,8	1,7	2,7	2,0	
10	56	92	72	98	0,8	1,6	2,3	1,1	1,5	2,8	1,8	
11	74	82	50	96	1,8	1,2	2,8	1,2	2,3	1,4	2,1	
12	94	52	66	88	0,5	2,0	1,7	2,1	2,9	2,3	2,8	
13	58	90	72	80	0,9	1,5	1,3	2,7	1,8	2,6	1,0	
14	76	70	60	84	1,9	0,6	2,4	1,3	1,4	2,2	2,0	
15	96	50	82	76	0,6	1,8	1,8	2,0	2,4	1,3	2,9	
16	60	88	50	98	1,0	1,4	2,8	1,2	1,8	2,4	1,6	
17	78	68	86	58	2,0	0,7	1,4	2,6	1,9	2,8	2,1	
18	98	52	64	86	0,7	1,5	2,5	1,9	1,3	2,6	3,0	
19	62	86	52	94	1,1	1,8	1,1	2,7	1,0	2,9	1,2	
20	80	66	94	70	1,9	0,6	3,0	2,5	1,2	2,6	1,8	
21	50	74	82	94	0,8	1,2	1,5	3,0	2,1	1,1	2,9	
22	64	84	78	90	1,2	0,5	2,6	1,8	1,2	2,0	2,4	
23	82	64	54	98	1,8	0,9	1,2	2,7	2,0	1,8	2,8	
24	52	80	60	96	0,6	1,7	2,5	1,8	1,1	2,8	2,0	
25	66	82	98	70	1,3	0,6	1,7	2,5	2,0	1,2	2,9	
26	84	62	70	84	1,7	0,9	2,8	1,7	1,1	2,3	2,7	
27	54	70	92	80	0,8	1,3	1,3	2,8	2,2	1,6	1,0	
28	68	80	56	94	1,4	0,7	3,0	2,4	1,6	1,8	2,6	
29	86	60	74	98	1,6	0,9	1,8	2,6	1,9	3,0	1,2	
30	56	78	90	86	0,5	1,7	2,7	1,6	1,0	2,3	2,4	

## Задача 2

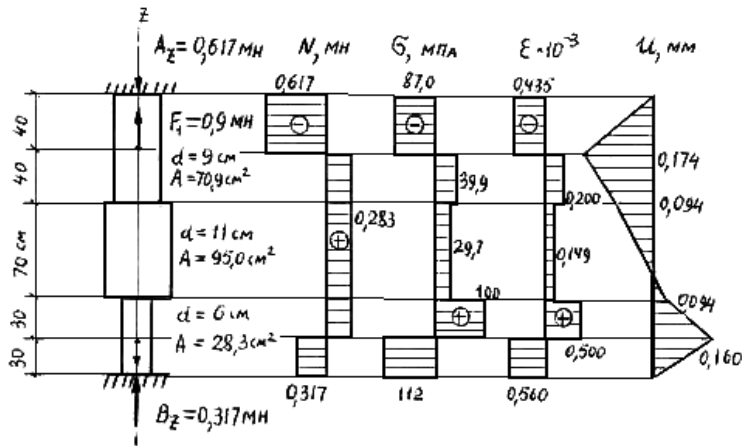
Ступенчатый стержень, жестко закрепленный с двух сторон (с зазором  $\Delta$  или без него), нагружен продольными расчетными нагрузками.

Материал стержня – сталь с расчетным сопротивлением  $R = 210$  МПа и модулем продольной упругости  $E = 200$  ГПа. Значение зазора  $\Delta = 0,1$  мм.

Требуется:

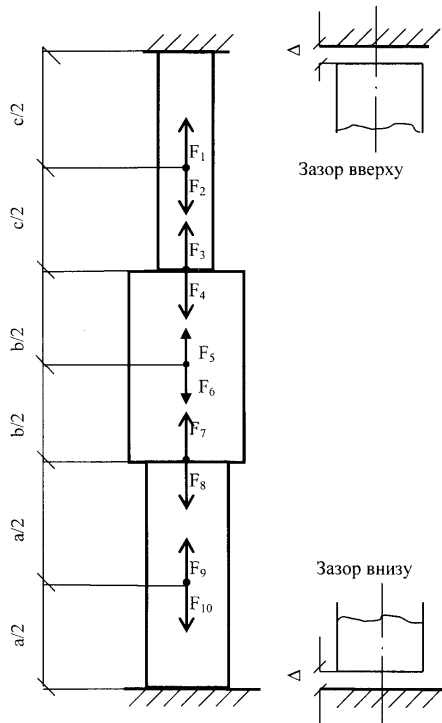
- 1) составить уравнение совместности перемещений;
- 2) определить опорные реакции;
- 3) определить значения продольных сил, напряжений, относительных линейных деформаций на участках стержня, а также перемещения граничных сечений; построить их эпюры;
- 4) проанализировать полученные результаты: указать на характер деформации участков стержня, выделить наиболее напряженный участок, отметить сечение с максимальным перемещением и указать направление этого перемещения; оценить прочность стержня исходя из заданного значения  $R$ .

В случае недонапряжения предложить более рациональное использование материала стержня. Схемы к задаче приведены на рис. 1.4.



Размеры длин участков стержня – в см.

Рис. 1.3. Пример выполнения графической части задачи 2



Номер схемы	Индекс нагрузки	Зазор
1	1,3	вверху
2	1,5	вверху
3	1,6	-
4	1,7	вверху
5	1,8	-
6	2,4	-
7	2,7	-
8	2,8	внизу
9	2,9	-
10	2,10	внизу
11	3,5	вверху
12	3,6	-
13	3,7	вверху
14	3,8	-
15	3,9	-

Номер схемы	Индекс нагрузки	Зазор
16	3,10	-
17	4,6	внизу
18	4,7	-
19	4,8	внизу
20	4,9	-
21	4,10	внизу
22	5,7	вверху
23	5,8	-
24	5,9	вверху
25	5,10	-
26	6,9	-
27	6,10	внизу
28	1,9	внизу
29	7,10	-
30	1,10	внизу

Рис. 1.4. Схемы стержней к задаче 2

Т а б л и ц а 1.2

## Числовые данные к задаче 2

Но- мер вари- анта	Длины, см			Диаметры, см			Нагрузки, МН				
	a	b	c	d <sub>a</sub>	d <sub>b</sub>	d <sub>c</sub>	F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub> , F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub> , F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub> , F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub> , F <sub>10</sub>
1	40	50	50	5	7	9	0,47	0,12	0,18	0,47	0,60
2	70	70	80	9	7	11	0,60	1,00	1,10	1,30	1,40
3	80	90	90	11	13	9	1,50	1,70	1,20	1,70	0,35
4	70	80	90	8	10	12	1,10	0,26	0,40	1,10	1,32
5	90	80	80	10	8	12	0,80	1,30	1,45	1,70	1,80
6	40	50	60	7	9	5	0,53	0,59	0,40	0,60	0,35
7	60	60	70	6	8	10	0,63	0,16	0,23	0,63	0,80
8	60	60	50	8	6	10	0,47	0,80	0,86	1,00	1,10
9	80	80	90	10	12	8	1,20	1,30	0,90	1,30	0,46
10	60	70	60	7	9	11	0,80	0,20	0,30	0,80	1,00
11	60	50	60	7	5	9	0,35	0,60	0,65	0,76	0,80
12	60	70	80	9	11	7	0,90	1,00	0,70	1,00	0,60
13	80	90	80	9	11	13	1,20	0,30	0,45	1,20	1,50
14	80	90	90	11	9	13	1,00	1,70	1,90	2,20	2,40
15	60	60	70	8	10	6	0,70	0,78	0,55	0,78	0,47
16	70	60	50	6	8	10	0,60	0,20	0,20	0,60	0,80
17	90	90	80	10	8	12	0,80	1,30	1,50	1,70	1,80
18	70	70	80	9	11	7	0,90	1,00	0,70	1,00	0,60
19	80	80	90	8	10	12	1,10	0,30	0,40	1,10	1,30
20	90	90	80	11	9	13	1,00	1,70	1,90	2,20	2,40
21	90	80	80	10	12	8	1,20	1,30	0,90	1,30	0,50
22	50	50	40	5	7	9	0,50	0,10	0,20	0,50	0,60
23	50	50	60	7	5	9	0,35	0,60	0,40	0,80	0,80
24	90	90	80	11	13	9	1,50	1,70	1,20	1,70	0,35
25	70	70	60	7	9	11	0,80	0,20	0,30	0,80	1,00
26	50	60	60	8	6	10	0,50	0,80	0,90	1,00	1,10
27	60	50	40	7	9	5	0,50	0,60	0,40	0,60	0,35
28	80	90	90	9	11	13	1,20	0,30	0,45	1,20	1,50
29	80	70	70	9	7	11	0,60	1,00	1,10	1,30	1,40
30	80	70	60	9	11	7	0,90	1,00	0,70	1,00	0,60

### Задача 3

Конструкция, состоящая из двух стержней, нагружена расчетной нагрузкой  $F$ . Материал стержней – сталь с расчетным сопротивлением  $R = 210$  МПа и модулем продольной упругости  $E = 200$  ГПа.

Формы и значения площадей поперечных сечений стержней заданы.

Требуется:

- 1) определить продольные усилия в стержнях в долях от  $F$  ( $N = f(F)$ );
- 2) определить исходя из заданных значений площадей поперечных сечений нормальные напряжения в стержнях в долях от  $F$  ( $\sigma = f(F)$ );
- 3) исходя из условия прочности наиболее напряженного стержня, определить значение максимальной допустимой нагрузки на конструкцию;
- 4) скорректировать площадь поперечного сечения менее напряженного стержня;
- 5) вычислить деформации стержней, исходя из окончательных значений площадей сечений, построить схему перемещений и определить для точки приложения нагрузки  $F$  вертикальное, горизонтальное и полное перемещения. Схемы приведены на рис. 1.6.

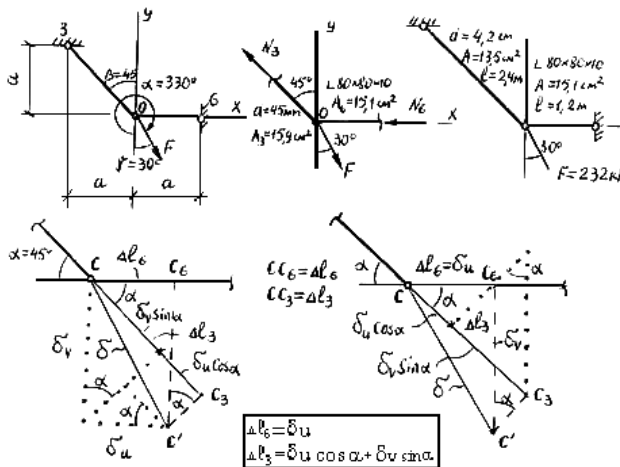
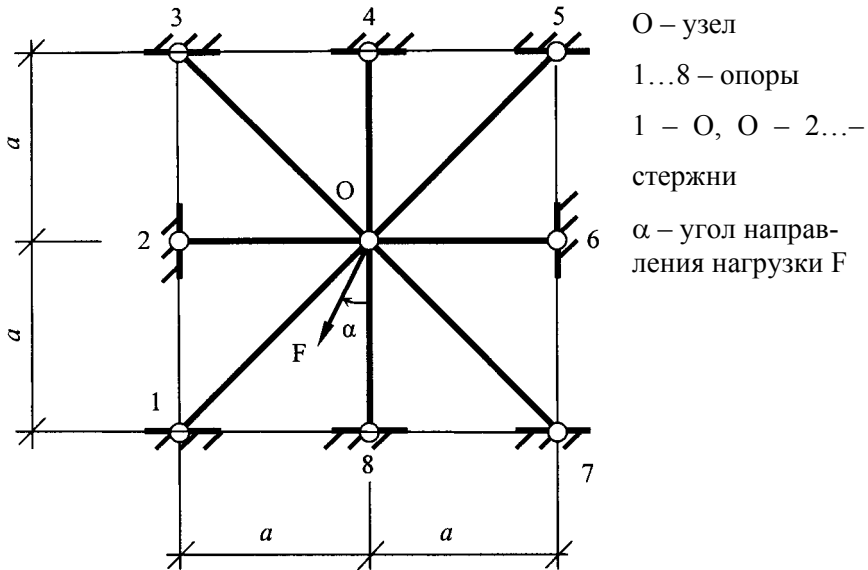


Рис. 1.5. Пример выполнения графической части задачи 3

**Примечание.** При составлении уравнений деформации следует спроектировать  $\delta_u$  и  $\delta_v$  на направления стержней. Приведены два варианта

### Схемы к задаче 3



Номер схемы	Узлы, опоры, стержни	угол $\alpha$ , град.
1	3 - 0 - 4	225
2	1 - 0 - 3	150
3	3 - 0 - 6	60
4	4 - 0 - 5	270
5	6 - 0 - 8	210
6	4 - 0 - 7	150
7	5 - 0 - 6	300
8	1 - 0 - 7	90
9	5 - 0 - 7	210
10	6 - 0 - 7	240
11	2 - 0 - 8	300
12	1 - 0 - 6	120
13	2 - 0 - 3	30
14	1 - 0 - 3	0
15	2 - 0 - 7	300

Номер схемы	Узлы, опоры, стержни	угол $\alpha$ , град.
16	1 - 0 - 2	330
17	5 - 0 - 7	30
18	3 - 0 - 8	150
19	1 - 0 - 8	270
20	4 - 0 - 6	135
21	3 - 0 - 8	30
22	7 - 0 - 8	240
23	3 - 0 - 5	300
24	1 - 0 - 4	30
25	6 - 0 - 7	30
26	1 - 0 - 5	60
27	3 - 0 - 6	300
28	4 - 0 - 7	330
29	1 - 0 - 4	150
30	2 - 0 - 5	300

Рис. 1.6. Схемы стержней к задаче 3

## Числовые данные к задаче 3

Номер варианта	Для растянутого стержня		Для сжатого стержня	
	Длина, см	Круглое сечение d, мм	Длина, см	Уголок равнополочный номер, ширина и толщина, мм
1	2,0	25	1,0	№ 6, 60x8
2	2,1	40	1,3	№ 7, 70x8
3	2,2	30	1,5	№ 8, 80x10
4	2,3	45	1,2	№ 9, 90x8
5	2,4	20	1,7	№ 6, 60x10
6	2,7	45	1,9	№ 7,5, 75x9
7	2,5	40	1,4	№ 9, 90x12
8	2,8	35	2,0	№ 7, 70x7
9	2,3	25	1,5	№ 7,5, 75x5
10	2,6	40	1,6	№ 8, 80x6
11	2,3	30	1,3	№ 9, 90x6
12	2,0	45	1,1	№ 9, 90x9
13	2,5	35	1,8	№ 7,5, 75x9
14	2,1	40	1,0	№ 9, 90x8
15	2,7	35	1,6	№ 7, 70x6
16	2,9	30	2,0	№ 8, 80x7
17	2,4	50	1,2	№ 9, 90x12
18	2,6	45	1,8	№ 7, 70x10
19	2,3	40	1,1	№ 9, 90x9
20	2,5	50	1,4	№ 10, 100x7
21	2,8	25	1,6	№ 7,5, 75x6
22	2,4	45	1,3	№ 10, 100x10
23	2,9	40	1,6	№ 11, 110x8
24	2,5	45	1,4	№ 9, 90x7
25	2,2	30	1,5	№ 7,5, 75x7
26	2,6	45	1,3	№ 10, 100x8
27	2,3	40	1,1	№ 12, 120x8
28	2,3	50	1,7	№ 9, 90x10
29	3,0	30	2,0	№ 7,5, 75x8
30	2,4	45	1,2	№ 8, 80x10

### Задача 4

Стержневая система, состоящая из элемента большой жесткости (Р) и двух стержней, загружена расчетной нагрузкой (F, q).

Материал стержня – сталь с расчетным сопротивлением  $R = 210$  МПа и модулем продольной упругости  $E = 200$  ГПа.

Форма сечения стержней – трубчатая, с отношением диаметров  $d/D = 0,8$ , или швеллер.

Пренебрегая деформацией элемента Р, требуется:

- 1) построить схему и составить уравнение совместности перемещений элементов системы;
- 2) определить усилия и напряжения в стержнях при заданных значениях нагрузки, формы и размеров сечения;
- 3) исходя из условия прочности наиболее напряженного стержня, определить наибольшую допустимую нагрузку на стержневую систему. Схемы к задаче приведены на рис. 1.8.

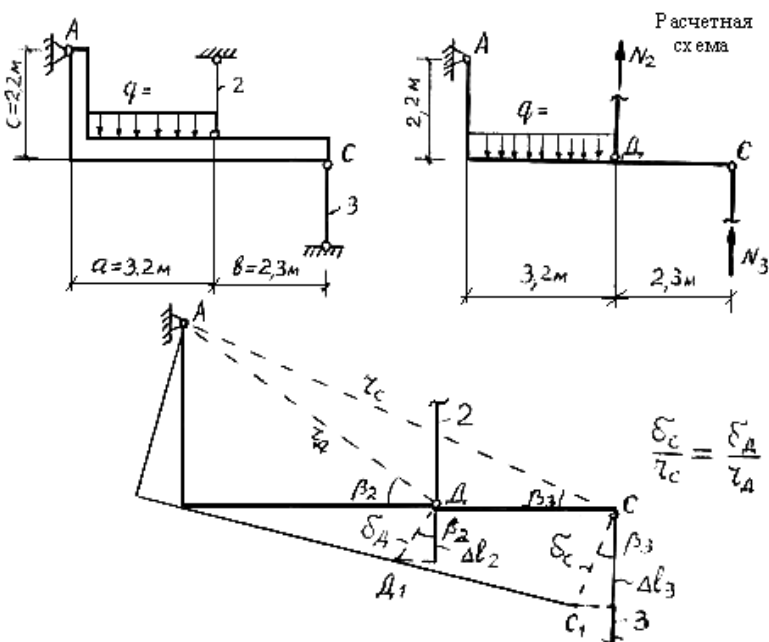
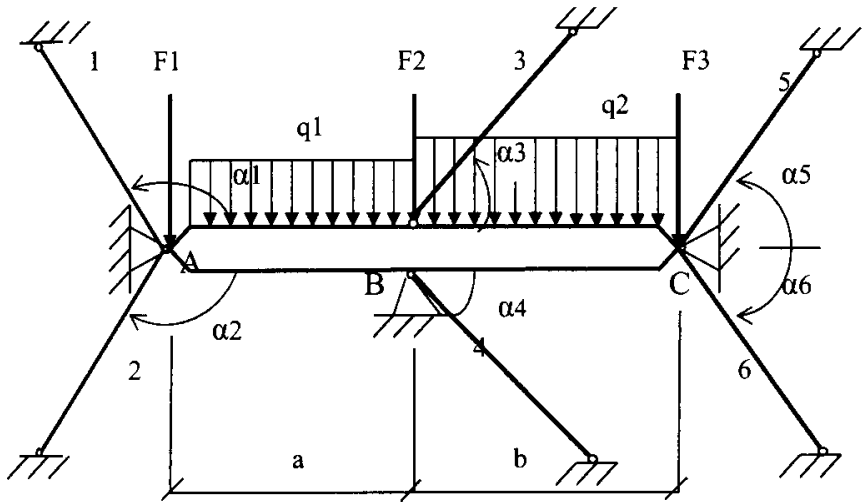


Рис. 1.7. Пример выполнения графической части задачи 4



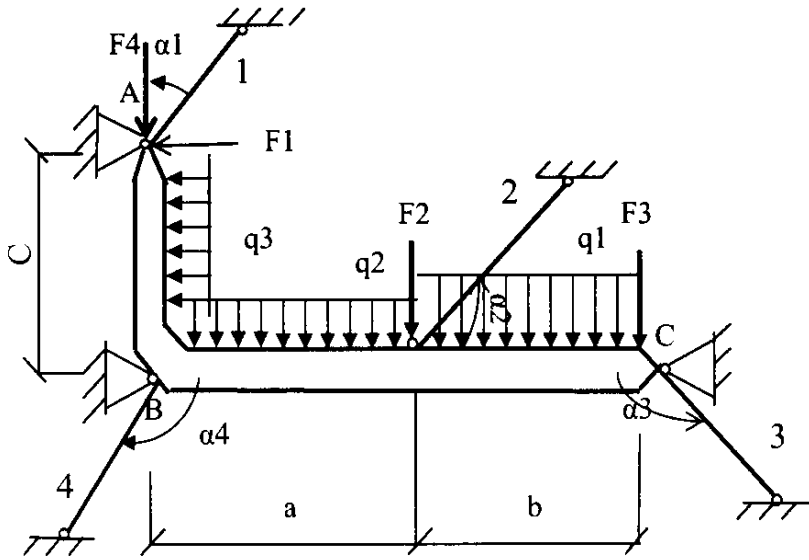
Схемы 1 – 15



Номер схемы	Номер стержня и угол			Опора в точке	Индекс нагр.	
	45	90	135		F	q
1		6	3	A		1
2		2	6	B		2
3		3	2	C	1	
4		3	6	A	3	
5	6	1		B	3	
6	2	3		C		1
7	3	6		A		2
8	1,2			B	3	
9		3	4	C	1	
10		4	5	A	3	
11		1	5	B		1
12		2	3	C	1	
13		5	4	A	2	
14	1,5			B	1	
15	1,2			C	2	

Рис. 1.8. Схемы конструкций к задаче 4

Схемы 16 – 30



Номер схемы	Номер стержня и угол			Опора в точке	Индекс нагр.	
	45	90	135		F	q
16	5	4		A		2
17	4	2		A	3	
18		1	3	B		2
19	4	1		C	4	
20		2,3		A		3
21	1	3		B	2	
22	2	4		C	1	
23		3	4	A		1
24		2	4	A	2	
25	1	2		B		3
26	2		4	C	1	
27		2,3		A		2
28	2	3		B		2
29	4	2		C	4	
30	4	3		A		3

Рис. 1.8. Схемы конструкций к задаче 4 (окончание)

Числовые данные к задаче 4

Номер варианта	Длины участков, см			Стержни			Нагрузки, МН	
	а	b	с	Длина	Сечения		q, кН/м	F, кН
				l, м	Д, см	Швеллер		
1	2,0	3,2	1,5	1,5	5		35	220
2	3,1	2,8	1,6	1,2		8	40	240
3	3,9	2,0	1,7	1,4	6		50	320
4	2,1	3,2	1,8	1,6		10	55	340
5	3,2	2,7	1,9	1,3	7		80	480
6	4,0	2,0	2,0	1,1		12	70	450
7	2,2	3,4	1,5	1,2	8		95	560
8	3,3	2,6	1,6	1,3		14	90	500
9	4,0	2,0	1,7	1,4	9		120	700
10	2,3	3,2	1,8	1,5		16	90	550
11	3,4	2,3	1,9	1,6	10		140	880
12	2,8	3,0	2,0	1,3		18	110	680
13	2,4	3,2	1,5	1,5	5		40	200
14	3,5	2,0	1,6	1,2		20	130	720
15	3,8	2,2	1,7	1,4	6		55	300
16	2,5	3,0	1,8	1,6		22	130	860
17	3,6	2,1	1,9	1,3	7		75	450
18	2,0	3,8	2,0	1,5		8	35	220
19	2,6	3,2	1,5	1,2	8		90	550
20	3,7	2,3	1,6	1,6		10	50	300
21	2,1	3,8	1,7	1,3	9		110	720
22	2,7	3,0	1,8	1,5		12	65	420
23	3,8	2,1	1,9	1,2	10		150	850
24	2,2	3,7	2,0	1,4		14	80	480
25	2,8	3,2	1,5	1,6	5		30	230
26	3,9	2,0	1,6	1,3		16	85	500
27	3,1	2,4	1,7	1,5	6		45	310
28	3,0	2,7	1,8	1,4		18	100	650
29	4,0	2,0	1,9	1,2	7		70	490
30	2,3	3,2	2,0	1,5		20	120	700

## 2. РАСЧЕТ ЗАКЛЕПОЧНЫХ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### Задача 5

Элемент конструкции 2 (лист, швеллер, уголок) присоединяется внахлестку к элементу 1 или элементы 2 соединяются между собой при помощи накладок. Заданная расчетная нагрузка приложена к каждому элементу 2. Соединение рассчитывается в заклепочном и сварном вариантах.

**1.** Для заклепочного варианта соединения требуется:

1) для элемента 2 определить номер прокатного профиля или толщину листа  $t_л$ ;

2) для накладки определить номер профиля или толщину ее  $t_н$ ;

3) окончательную толщину листа и накладки принять в соответствии с сортаментом ( $t = 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30$  мм);

4) вычертить в удобном масштабе заклепочное соединение и указать в числах все используемые в расчете размеры.

**Примечания:**

1) учесть, что отверстиями под заклепки площадь сечения уменьшается, примерно, на 15 %;

2) заклепки располагаются в 1, 2 или 3 ряда, как показано на схемах;

3) минимальное расстояние от края элемента до центра заклепки равно  $1,5 d$ , а между центрами заклепок –  $3 d$  (где  $d$  – диаметр заклепки).

**2.** Для сварного варианта соединения требуется:

1) определить необходимую длину угловых швов при допускаяемом напряжении на срез  $[\tau] = 180$  МПа. Значение катета углового шва указано на схеме;

2) вычертить в удобном масштабе сварное соединение, показав расположение и размеры швов.

Схемы к задаче приведены на рис. 2.1, а числовые данные в табл. 2.1.

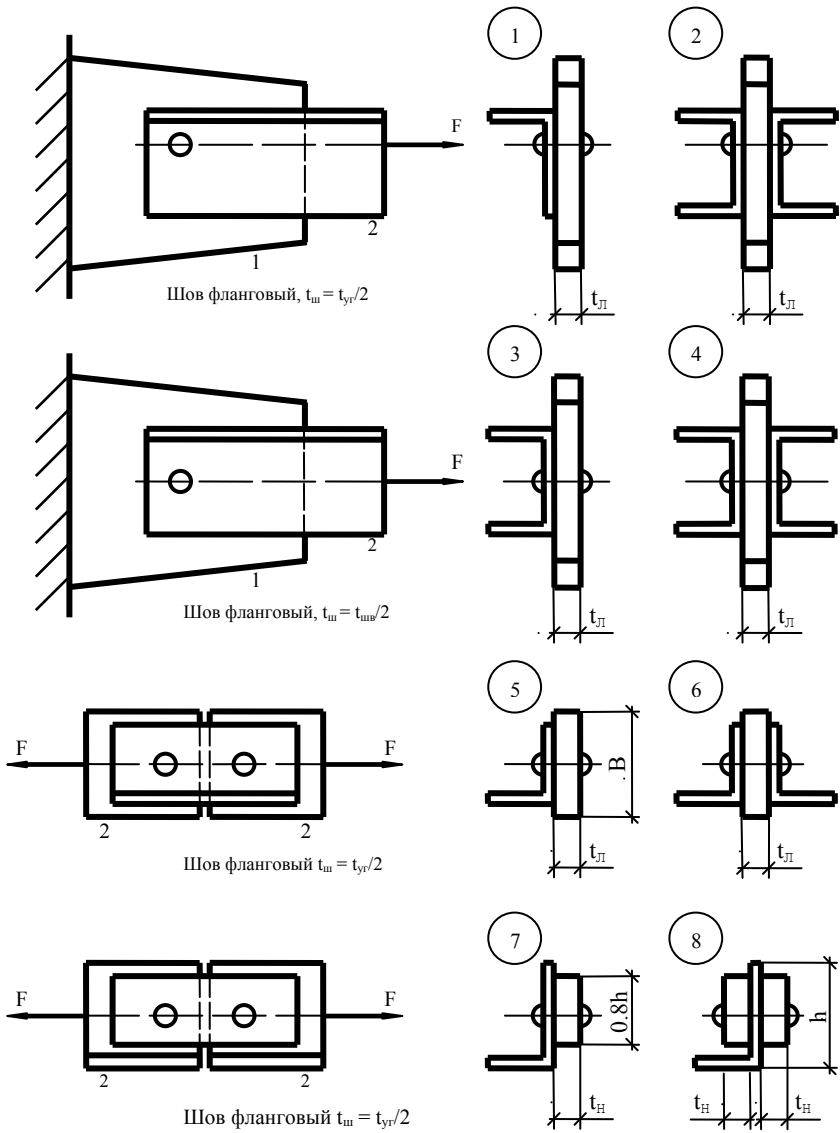


Рис. 2.1. Схемы соединений к задаче 5

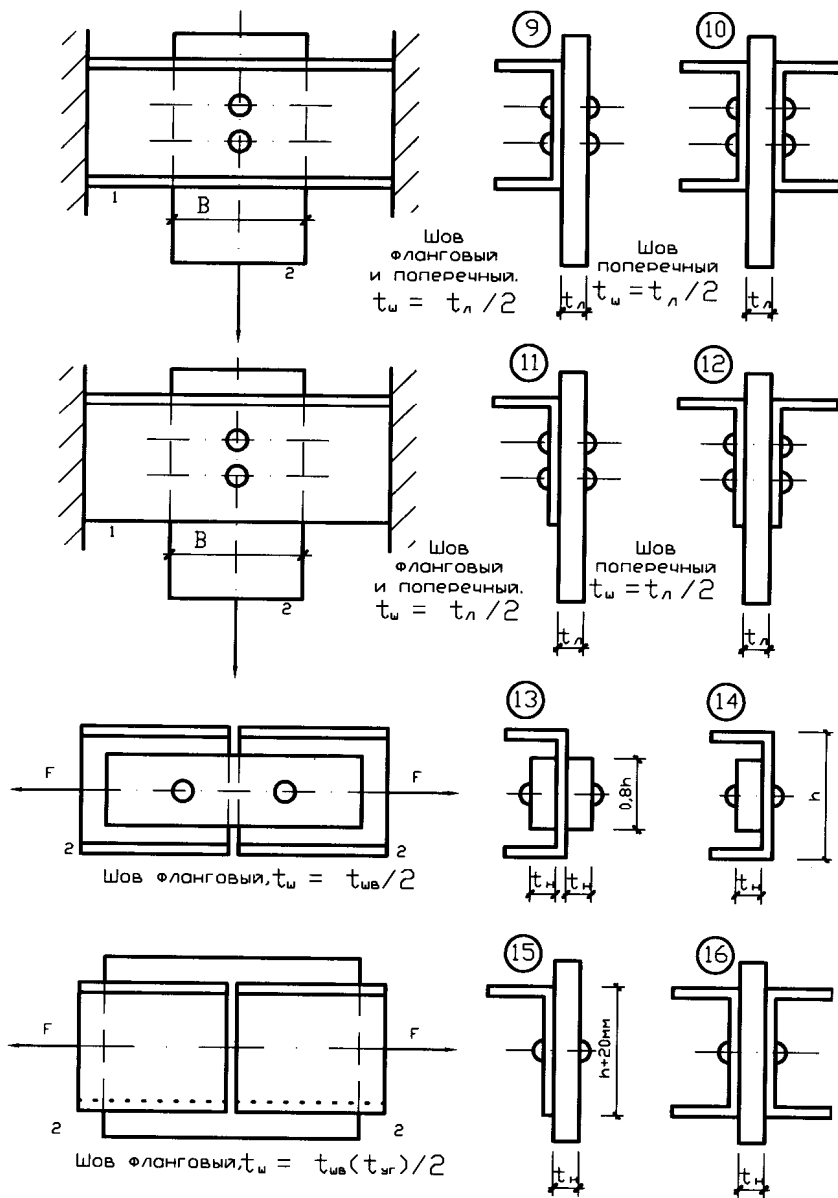


Рис. 2.1. Схемы соединений к задаче 5 (окончание)

Числовые данные к задаче 5

Номер вари- анта	Нагрузка F, кН	Для элементов				Диаметр заклеп- ки d, мм
		1			2	
		t <sub>л</sub> , мм	Уголок не- равнобокий	Щвеллер	B, мм	
1	210	5	80x50x5	8	150	16
2	320	6	100x63x6	10	270	22
3	430	9	125x80x8	12	350	30
4	240	5	140x90x8	14	220	18
5	350	8	160x100x9	16	300	24
6	460	8	200x125x11	20	370	30
7	270	5	100x63x7	10	240	20
8	380	7	125x80x10	12	320	27
9	490	9	140x90x10	14	380	30
10	300	6	160x100x10	16	250	20
11	420	9	140x90x8	14	330	27
12	220	5	100x63x8	10	190	16
13	330	6	125x80x12	12	280	22
14	440	8	180x110x10	18	360	30
15	250	7	200x125x12	20	220	18

### 3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ

#### Задача 6

Для заданного плоского сечения, имеющего одну ось симметрии и состоящего из прямоугольных, треугольных и круглых фигур требуется:

- 1) определить положение центра тяжести относительно удобно выбранной вспомогательной оси;
- 2) определить значения осевых и центробежного моментов инерции относительно центральных осей;
- 3) установить главные центральные оси инерции сечения;
- 4) записать максимальное ( $I_{\max}$ ) и минимальное ( $I_{\min}$ ) значения моментов инерции сечения;
- 5) начертить сечение в удобном масштабе, показав все оси и размеры, используемые в расчете.

Схемы к задаче приведены на рис. 3.2, а числовые данные в табл. 3.1.

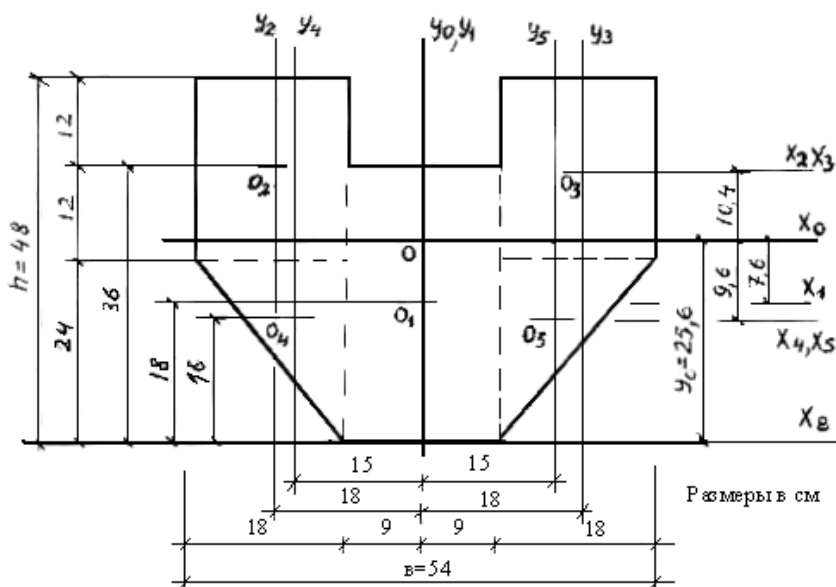


Рис. 3.1. Пример выполнения графической части задачи 6



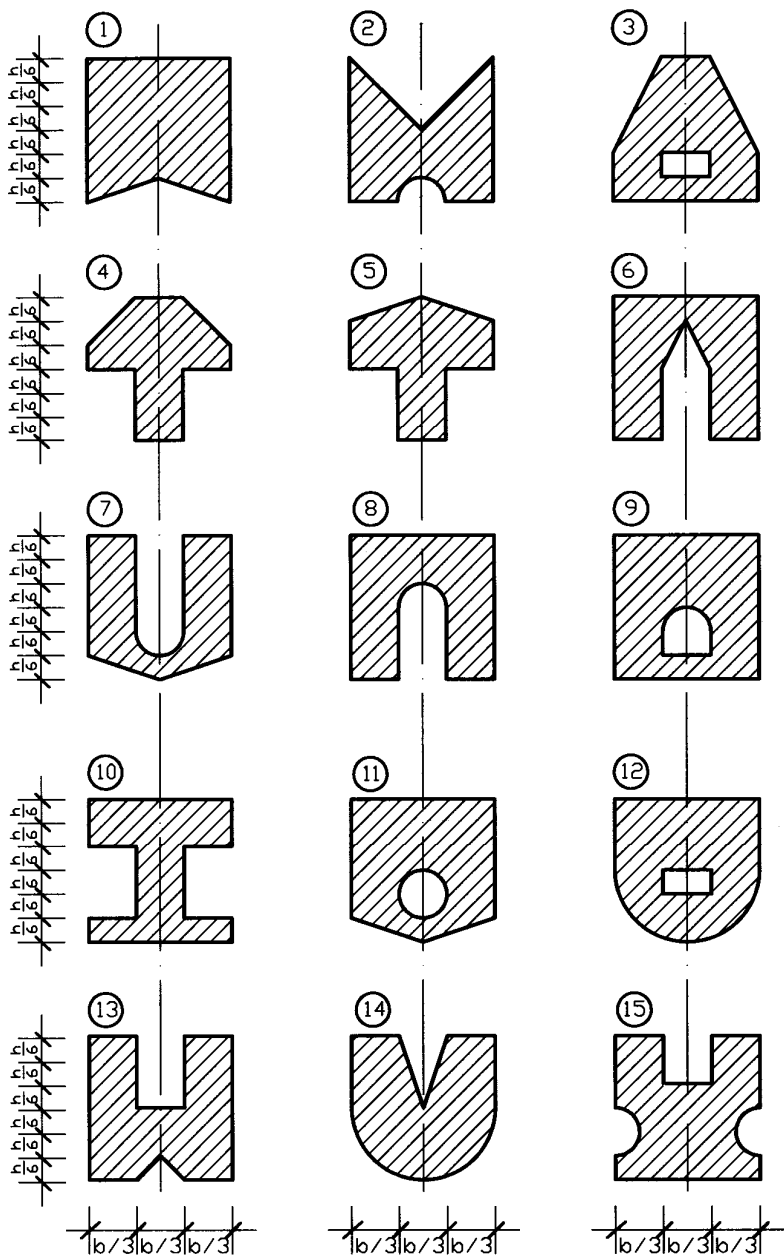


Рис. 3.2. Схемы сечений к задаче 6

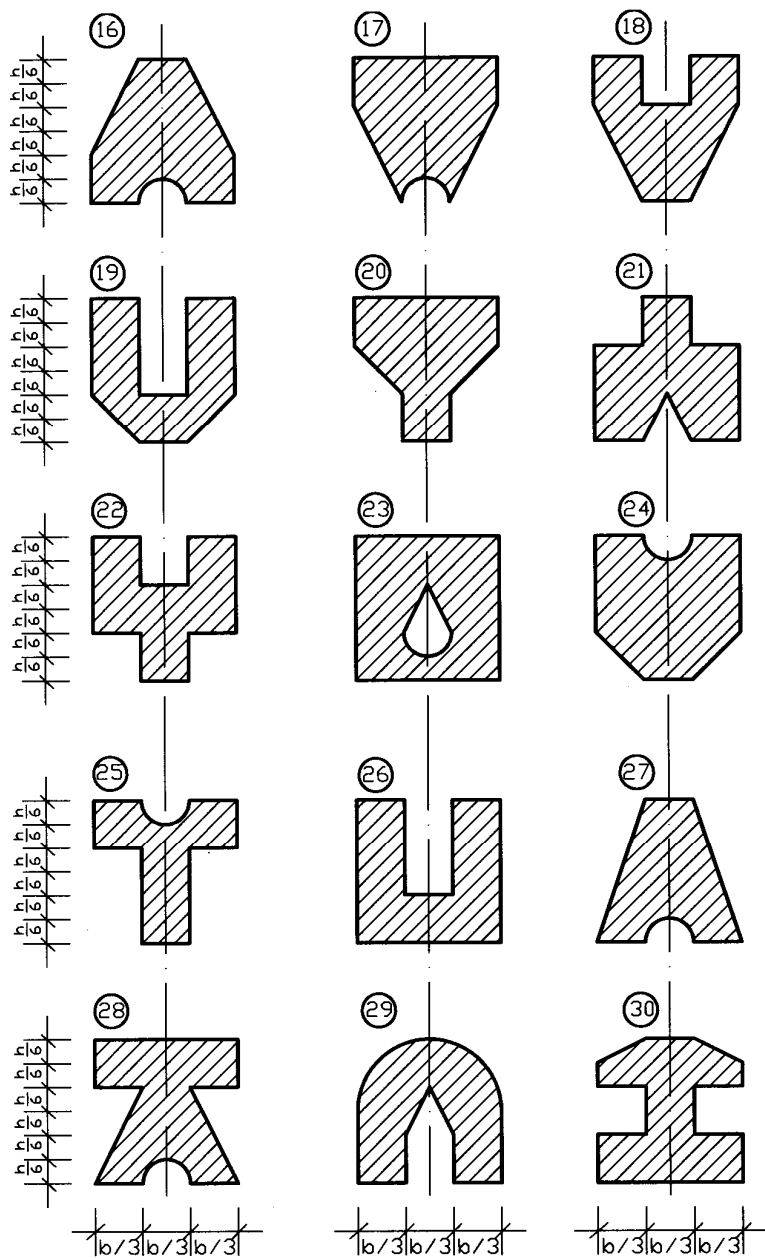


Рис. 3.2. Схемы сечений к задаче 6 (окончание)

Т а б л и ц а 3.1

## Числовые данные к задаче 6 и 7

Но- мер вари- анта	К задаче 6		К задаче 7					
	Размеры сечения		Двутавр	Швеллер	Уголок равнобо- кий	Уголок неравно- бокий	Лист, см	
	h, см	b, см					h	b
1	12	15	14	30	60x4		22	1,2
2	36	24	22	20		65x50x5	18	1,4
3	24	12	30	14	75x5		25	1,0
4	18	18	16	27		80x60x6	24	1,1
5	42	27	24	22	60x6		20	0,9
6	30	50	33	16		65x50x6	25	1,3
7	24	12	18	24	70x8		22	1,2
8	12	15	27	18		80x60x7	25	1,0
9	36	18	36	20	60x8		30	0,7
10	30	21	20	22		65x50x8	24	1,2
11	18	12	30	30	75x6		28	0,8
12	42	21	16	14		80x60x8	15	1,5
13	36	24	24	20	63x4		22	0,8
14	24	18	33	27		70x45x5	30	0,6
15	12	15	14	14	75x7		14	1,5
16	42	27	27	18		65x50x5	23	0,9
17	30	21	36	24	63x6		30	0,5
18	18	24	18	14		75x60x6	16	1,5
19	12	18	30	16	70x5		24	1,3
20	36	24	20	27		80x50x5	22	1,0
21	24	18	18	30	60x10		26	0,9
22	18	15	33	14		75x60x8	24	0,8
23	42	27	16	30	70x7		26	1,0
24	30	12	22	20		63x40x8	20	0,8
25	24	18	36	16	75x5		25	1,1
26	12	15	14	22		80x50x5	20	0,7
27	36	18	24	27	60x8		26	0,9
28	30	21	22	18		70x45x5	20	1,2
29	18	12	14	27	60x10		18	1,4
30	42	24	30	16		80x50x6	24	0,8

## Задача 7

Для заданного плоского сечения элемента конструкции, состоящего из прямоугольников (листов) и прокатных профилей, требуется:

- 1) определить положение центра тяжести относительно удобно выбранных вспомогательных осей;
- 2) определить значения осевых и центробежного моментов инерции относительно центральных осей, параллельных ранее выбранным;
- 3) определить положение главных центральных осей;
- 4) вычислить значения главных центральных моментов инерции;
- 5) записать максимальное ( $I_{\max}$ ) и минимальное ( $I_{\min}$ ) значения моментов инерции сечения;
- 6) начертить сечение в удобном масштабе и показать все оси и размеры, используемые в расчете. Схемы к задаче приведены на рис. 3.4.

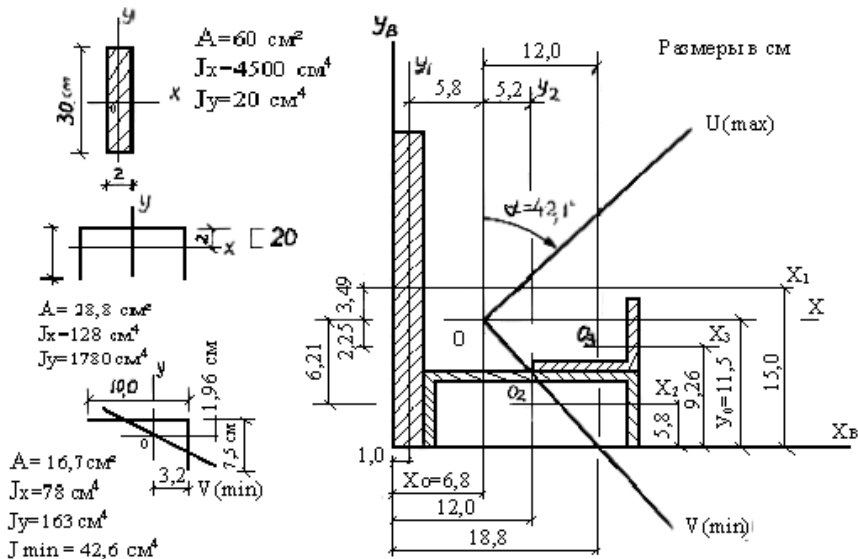


Рис. 3.3. Пример выполнения графической части задачи 7

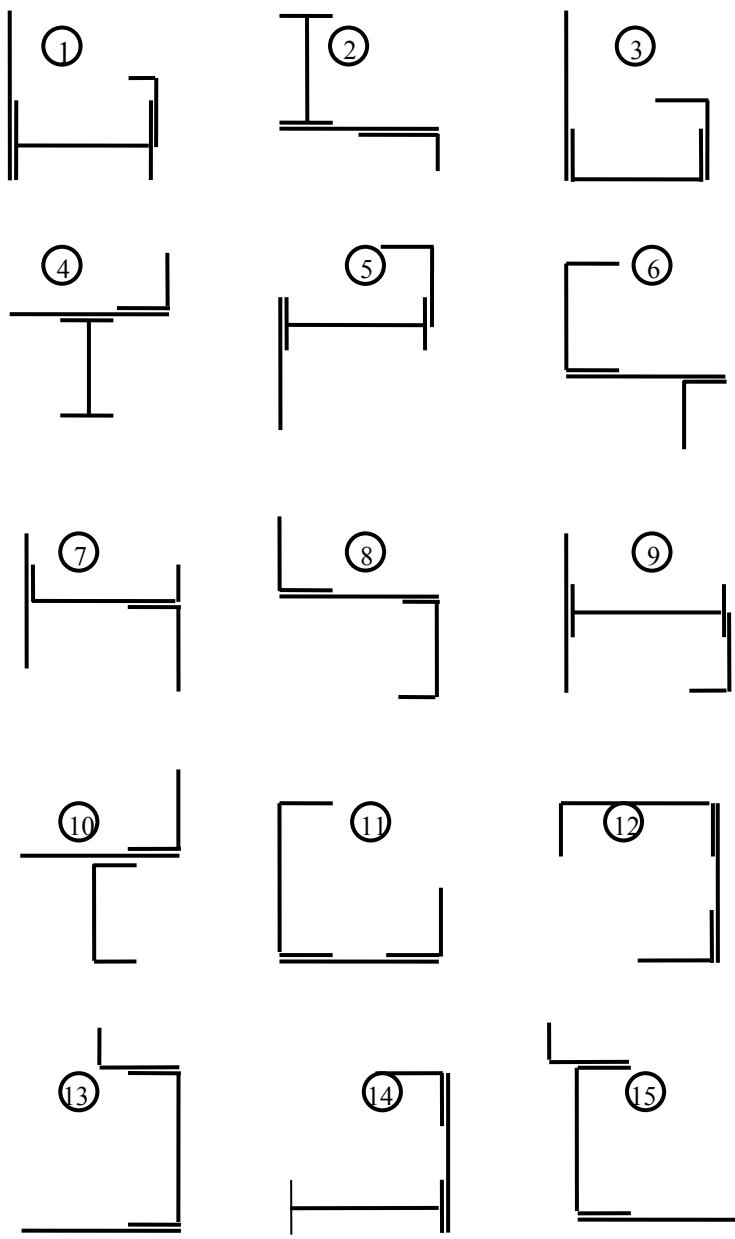


Рис. 3.4. Схемы сечений к задаче 7

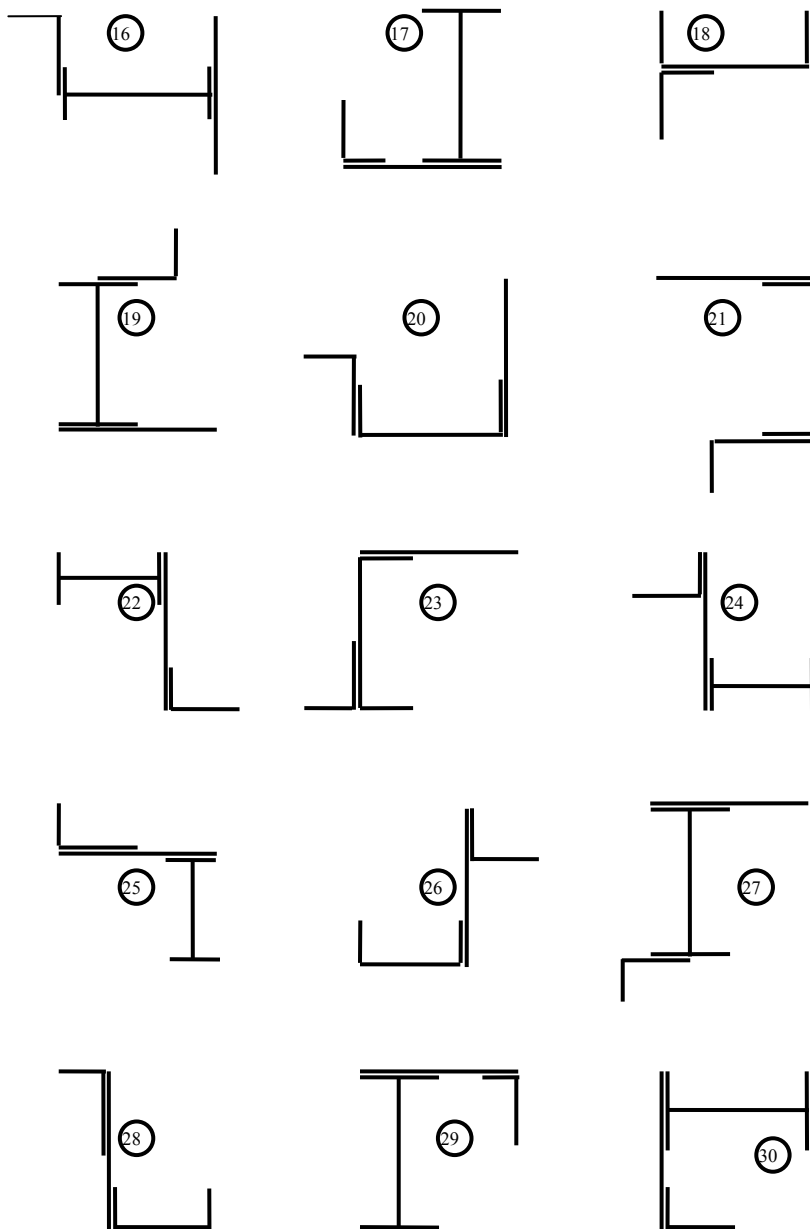


Рис. 3.4. Схемы сечений к задаче 7 (окончание)

## 4. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ПРИ КРУЧЕНИИ

### Задача 8

Стальной вал круглого поперечного сечения нагружен скручивающими моментами. Допускаемое напряжение для материала вала  $[\tau] = 120$  МПа. Допустимый относительный угол закручивания  $\theta = 0,02$  рад/м.

Требуется:

- 1) построить эпюру крутящих моментов (в схемах 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30 предварительно определить  $T_0$ );
- 2) определить диаметр вала из условия прочности и жесткости, приняв окончательное значение его согласно стандарту ( $d = 15, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 52, 55, 58, 60$  мм);
- 3) вычислить углы закручивания на участках стержня и построить их эпюру;
- 4) вычислить наибольшее касательное напряжение в поперечном сечении вала и построить эпюру этих напряжений;
- 5) вычислить наибольший относительный угол закручивания;
- 6) сопоставить наибольшее касательное напряжение и наибольший относительный угол закручивания с допустимыми значениями.

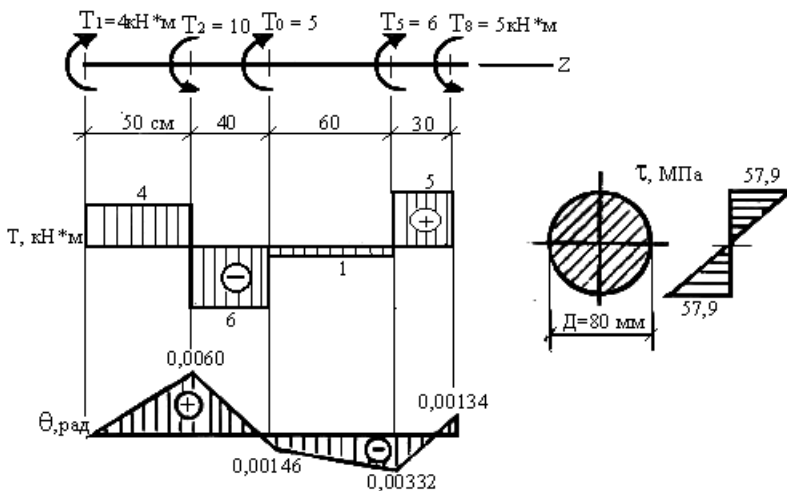
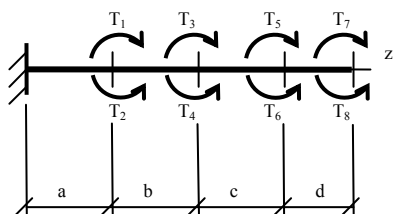


Рис. 4.1. Пример выполнения графической части задачи 8

Схемы 1-15



Схемы 16-30

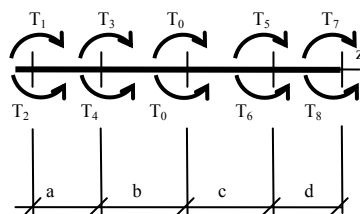


Рис.4.2. Схемы вала к задаче 8

Числовые данные к задаче 8

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

Номер вари- анта	Длины участков, см				Скручивающие моменты, кН·м			
	a	b	c	d	T <sub>1,2</sub>	T <sub>3,4</sub>	T <sub>5,6</sub>	T <sub>7,8</sub>
1	30	60	40	30	1	5	3	8
2	50	30	60	30	5	1	6	3
3	40	50	30	40	8	4	2	1
4	60	30	40	50	2	6	5	7
5	30	60	40	40	6	2	8	4
6	70	30	60	50	1	5	7	2
7	50	60	30	50	3	7	1	6
8	30	40	50	30	7	3	4	6
9	40	60	30	40	2	6	4	5
10	50	40	60	30	4	8	3	4



## 5. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ПРИ ИЗГИБЕ

### Задача 9

Балки, нагруженные расчетной нагрузкой, проектируются из стали или древесины.

Расчетные сопротивления: для стали  $R = 210$  МПа;  $R_s = 130$  МПа; для древесины  $R = 10,0$  МПа;  $R_s = 6,0$  МПа.

При подборе размеров сечений балок допускается перенапряжение до 5 %.

Требуется:

1. Для всех балок и рамы вычислить в характерных сечениях значения поперечных сил, изгибающих моментов и продольных сил (для рамы) и построить их эпюры.

2. Для балки по схеме 9.1, проектируемой из древесины:

1) определить размеры поперечного сечения в двух вариантах – диаметр круглого и стороны прямоугольного (при  $h / b = 1,4$ ), округлив полученные значения до целого или 0,5 сантиметра;

2) вычислить значения наибольших нормальных и касательных напряжений (от принятых размеров сечения) и построить их эпюры;

3) сопоставить значения максимальных напряжений с расчетными сопротивлениями, а в вариантах сечений – затраты объема материала.

3. Для балок, проектируемых из стали:

1) по схеме 9.2 подобрать сечение из прокатного двутавра (одного или двух), по схеме 9.3 – из прокатных швеллеров (сдвоенных);

2) вычислив для прокатных профилей значения наибольших нормальных и касательных напряжений, сопоставить их с расчетными сопротивлениями;

3) изобразить эпюры нормальных и касательных напряжений.

Схемы к задаче 9 приведены на рис. 5.2 – 5.6, а числовые данные в табл. 5.1.

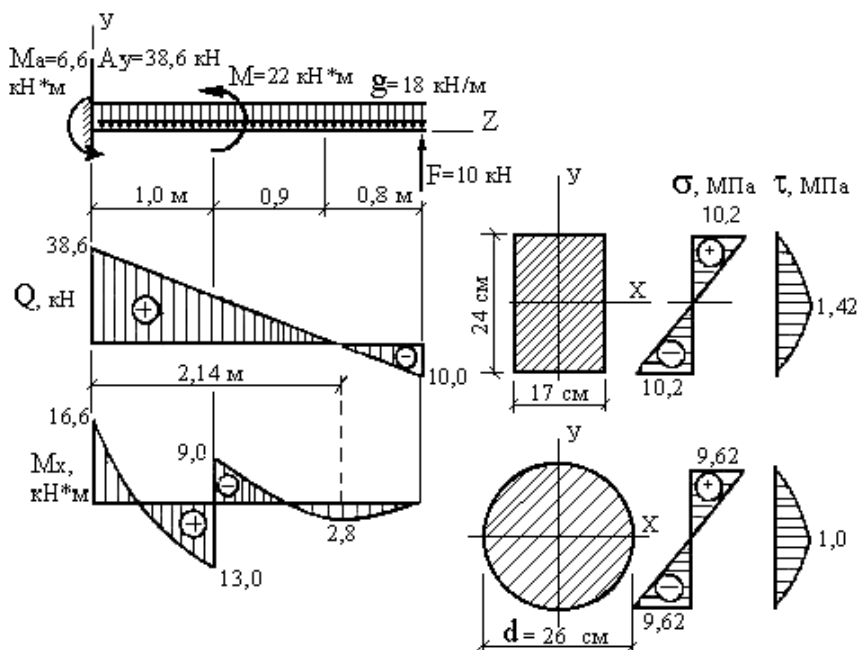
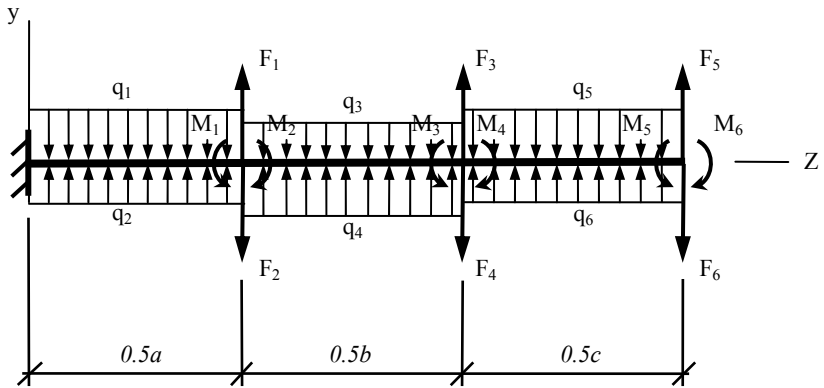


Рис. 5.1. Пример выполнения графической части задачи 9(1)

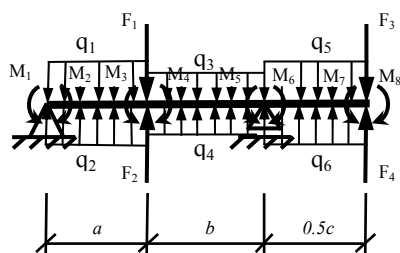


Номер схемы	Индекс нагрузки		
	q	F	M
1	1	3	6
2	3	2	5
3	5	3	1
4	2	6	4
5	4	2	6
6	6	1	6
7	1,3	6	1
8	2,4	6	4
9	3,5	3	3
10	4,6	2	4
11	1,5	4	1
12	2,6	2	6
13	1,6	2	4
14	2,5	5	2
15	1,3,5	1	3

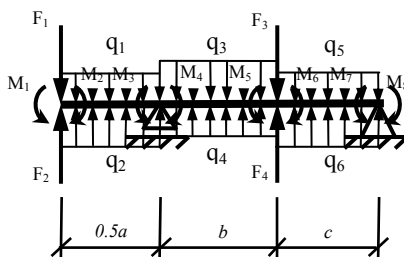
Номер схемы	Индекс нагрузки		
	q	F	M
16	1	6	3
17	3	5	2
18	5	1	4
19	2	4	5
20	4	6	2
21	6	1	4
22	1,3	4	5
23	2,4	4	6
24	3,5	1	5
25	4,6	4	2
26	1,5	2	5
27	2,6	1	4
28	1,6	6	4
29	2,5	2	4
30	1,3,5	6	1

Рис. 5.2. Схемы балок к задаче 9 (1)

Схемы 1-15



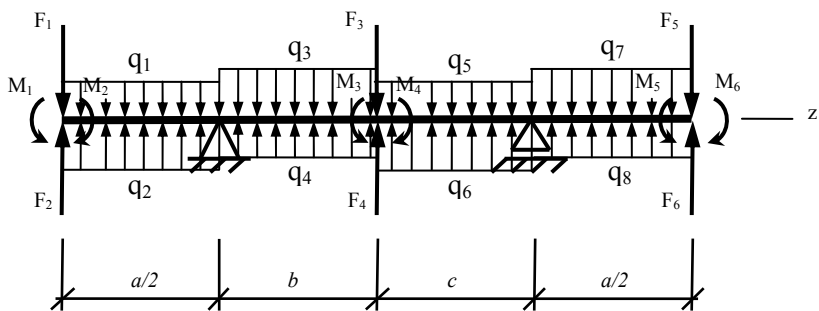
Схемы 16-30



Номер схемы	Индекс нагрузки		
	q	F	M
1	2,3		8
2	2,5	4	
3	1,3,5		5
4	1,3		7
5	3,5		2
6	1,5		4
7	1	4	8
8	3	2	7
9	5		1,4
10	2	3	7
11	4	1	8
12	6		2,3
13	2	4	1
14	1	4	7
15	5	2	3

Номер схемы	Индекс нагрузки		
	q	F	M
16	2,4		8
17	4,6	3	
18	1,3		3
19	3,5		1
20	2,4	2	
21	4,6		5
22	4	1	8
23	6	1	4
24	2	2	3
25	1,5	2	
26	2,3		6
27	2,5	1	
28	1	4	7
29	2	3	6
30	2	1	5

Рис. 5.3. Схемы балок к задаче 9 (2)



Номер схемы	Индекс нагрузки		
	q	F	M
1	1,3,6,8		
2	1	3	6
3	3,7		1
4	5	2	6
5	7	1	3
6	2	4	6
7	6	1	5
8	4,6	3	5
9	1,5	5	
10	6,8	1	4
11	1,3,5		6
12	2,4	6	1
13	1,3,5,7	4	
14	3,5	5	1
15	8	4	2

Номер схемы	Индекс нагрузки		
	q	F	M
16	5,7	4	2
17	1,3	6	3
18	2,4	5	
19	4,8	2	
20	5,8	1	
21	1,4		6
22	3,6	6	
23	4,5		2
24	2,3	5	
25	2,8		4
26	4	5	2
27	3	6	1
28	6,7		2
29	1,7	3	
30	4,6,8	2	

Рис. 5.4. Схемы балок к задаче 9 (3)

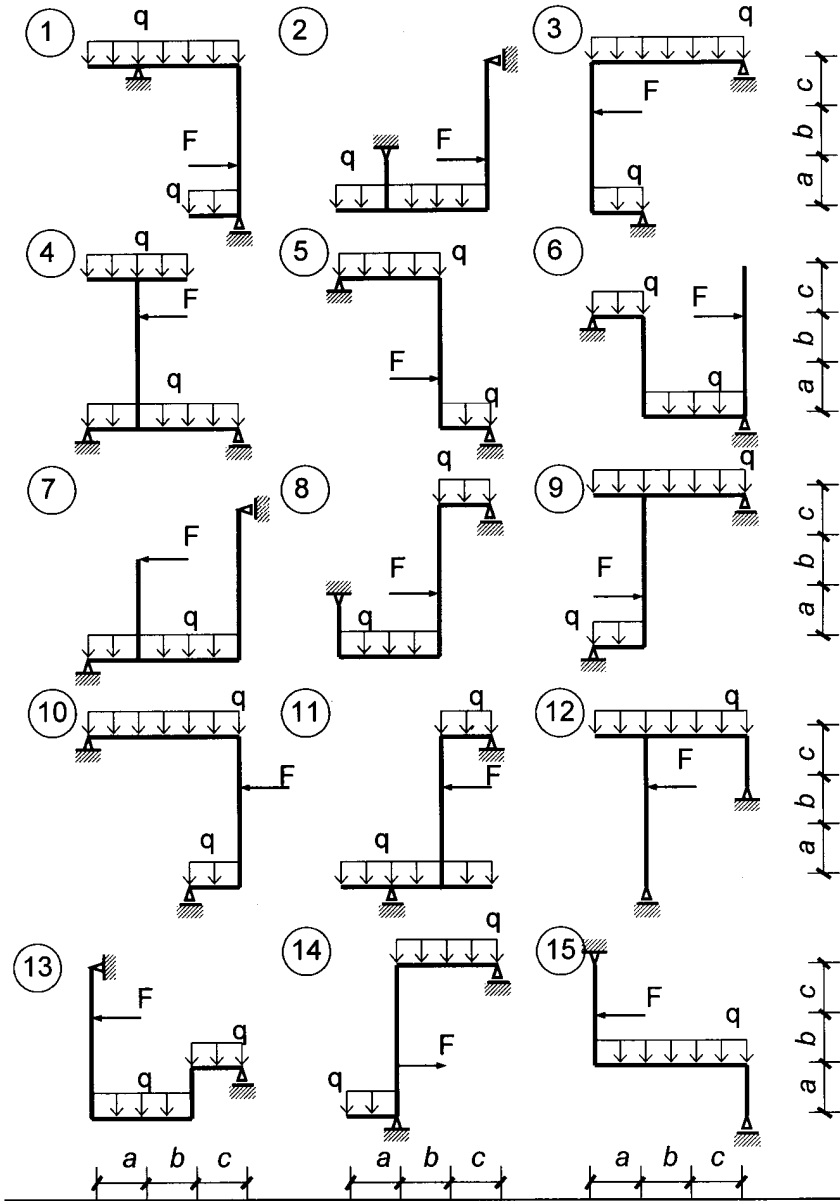


Рис. 5.5. Схемы рам к задаче 9 (4)

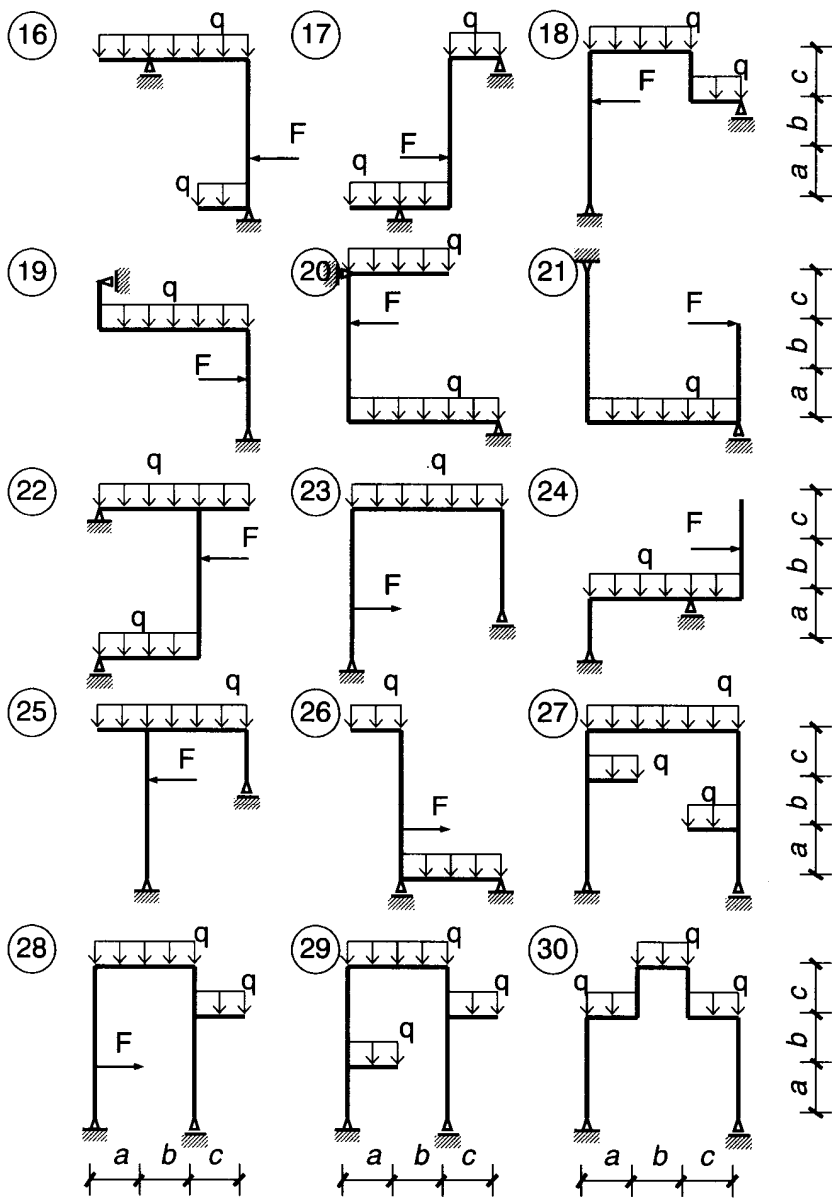
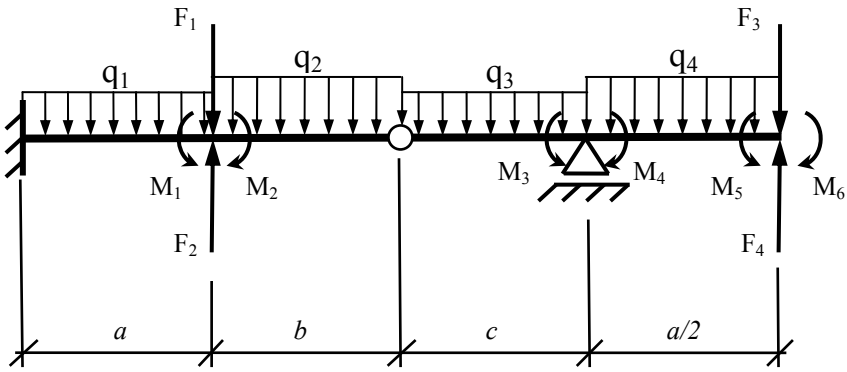


Рис. 5.5. Схемы рам к задаче 9 (4) (окончание)



Номер схемы	Индекс нагрузки		
	q	F	M
1	2	4	1
2	1,2,3		
3	1	1	6
4	2,3,4	1	
5	1,2,3,4		
6	1,3,4	1	4
7	1,2,4	1	
8	3,4	2	
9	1,2		6
10	1,3		1
11	2,3	3	
12	2,4	2	
13	2,3	2	
14	3,4	2	
15	2,3,4		3

Номер схемы	Индекс нагрузки		
	q	F	M
16	1,2,3		6
17	2,4	2	
18	1,2,3,4		4
19	1,3	1	
20	1,3		1
21	1,4	1	
22	2,4	3	
23	2,4		4
24	3	4	1
25	2	3	
26	4	1	2
27	4		2,3
28	2	3	4
29	3		1,4
30	1	5	3

Рис. 5.6. Схемы балок к задаче 9 (5)



Числовые данные к задаче 9 (1-5)

Номер варианта	Длины, м			Нагрузки		
	a	b	c	q, кН/м	F, кН	M, кН·м
1	1,6	2,0	1,4	4	38	10
2	1,8	1,2	1,6	20	18	12
3	2,0	1,6	1,8	16	12	20
4	1,6	1,0	2,0	6	40	24
5	1,8	1,6	2,2	18	10	18
6	2,0	1,4	2,6	12	40	14
7	1,6	1,2	2,4	8	32	16
8	1,8	1,0	2,2	16	12	20
9	2,0	1,4	2,2	8	26	18
10	1,6	1,2	2,4	10	34	12
11	1,8	1,4	1,8	14	28	22
12	2,0	1,6	2,2	6	36	10
13	1,6	1,8	1,6	12	34	16
14	1,8	1,2	2,2	8	30	14
15	2,0	1,0	2,6	4	40	18
16	1,6	2,0	1,4	14	28	22
17	1,8	1,6	1,8	10	32	10
18	2,0	1,2	2,2	8	26	20
19	1,6	1,4	2,4	16	30	12
20	1,8	1,6	2,0	10	34	16
21	2,0	1,4	1,8	4	36	10
22	1,6	2,0	2,2	18	12	28
23	1,8	1,4	2,0	14	38	14
24	2,0	1,2	1,6	6	34	18
25	1,6	1,8	2,2	20	16	24
26	1,8	1,4	1,8	8	28	16
27	2,0	1,2	2,4	14	20	20
28	1,6	1,6	2,6	4	32	14
29	1,8	1,0	2,2	20	14	16
30	2,0	1,8	1,6	18	10	22

### Задача 10

Балка подвергается плоскому изгибу расчетной нагрузкой. Материал балки - сталь с расчетными сопротивлениями  $R = 210$  МПа,  $R_s = 130$  МПа.

Требуется:

1) вычислить (в долях от силы  $F$ ) значения поперечных сил и изгибающих моментов в характерных сечениях балки и построить их эпюры;

2) определить положение центра тяжести сечения и вычислить значения главных центральных моментов инерции;

3) расположив балку рационально по отношению к нагрузке, соблюдая требования плоского изгиба, определить из условия прочности по нормальным напряжениям наибольшую допустимую нагрузку;

4) построить эпюру нормальных напряжений для опасного сечения балки. Схемы к задаче 10 приведены на рис. 5.8.

**Примечание:**

1)  $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F$ ;

2)  $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q$ ;

3)  $q = F / a$ .

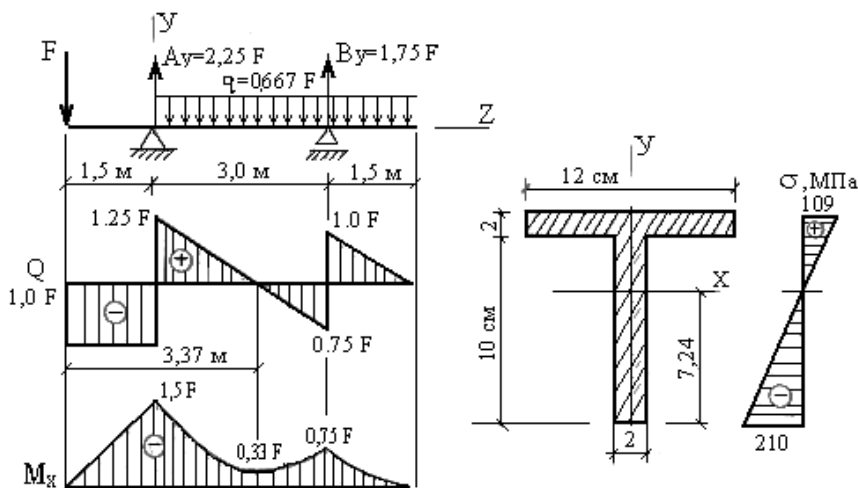
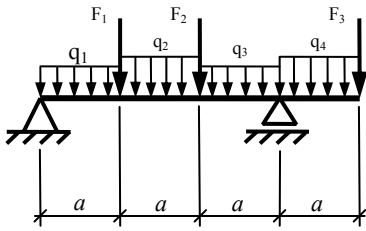
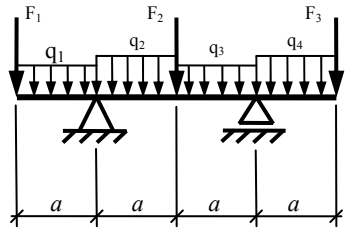


Рис. 5.7. Пример выполнения графической части задачи 10

Схемы 1-15



Схемы 16-30



Номер схемы	Индекс нагрузки	
	q	F
1	1	2,3
2	2	2,3
3	3	1,3
4	4	1,2
5	1,2	3
6	2,3	3
7	3,4	2
8	1,3	3
9	1,2	4
10	1,2,3	3
11	2,3,4	2
12	1,2,3,4	1
13	1,4	2
14	1,2	2
15	2,3	2

Номер схемы	Индекс нагрузки	
	q	F
16	1	2,3
17	2	2,3
18	3	1,3
19	4	1,2
20	1,2	3
21	2,3	1
22	3,4	2
23	1,3	2
24	2,4	1
25	1,2,3	3
26	2,3,4	2
27	1,2,3,4	2
28	1,4	2
29	2,4	2
30	2,3,4	1

Рис. 5.8. Схемы балок к задаче 10

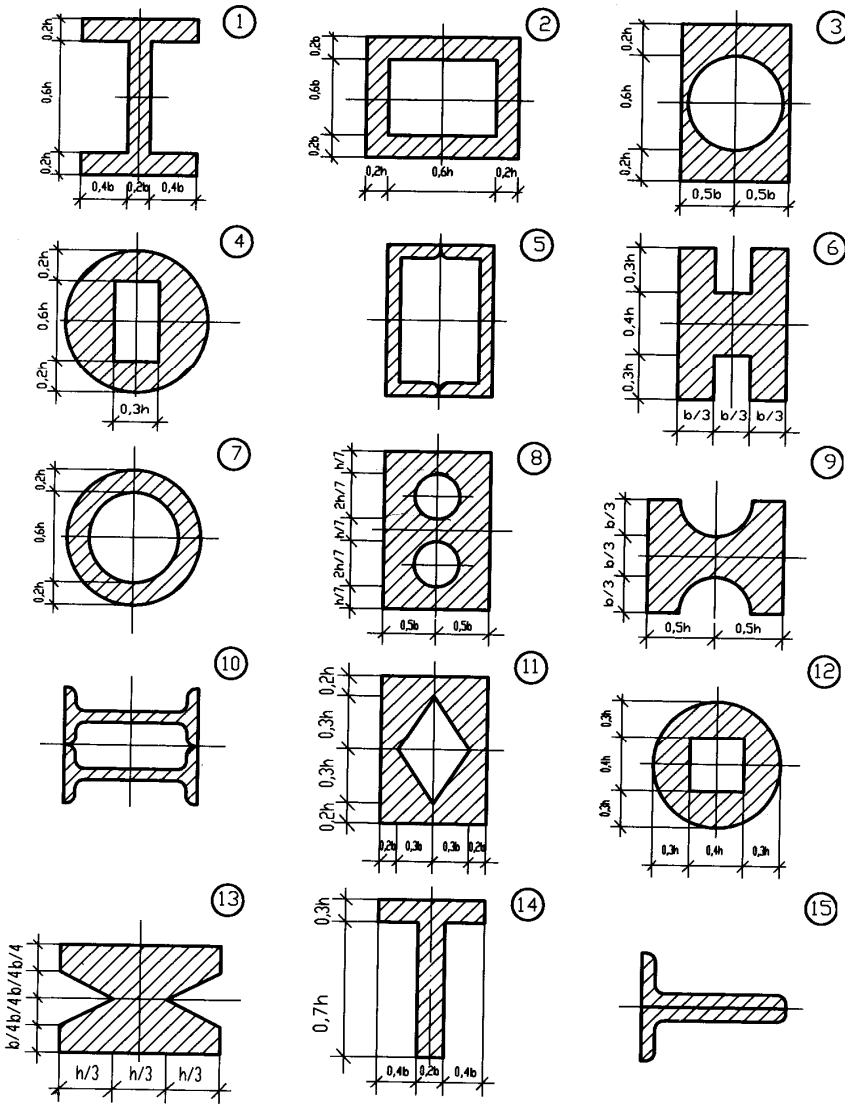


Рис. 5.9. Схемы сечений к задаче 10

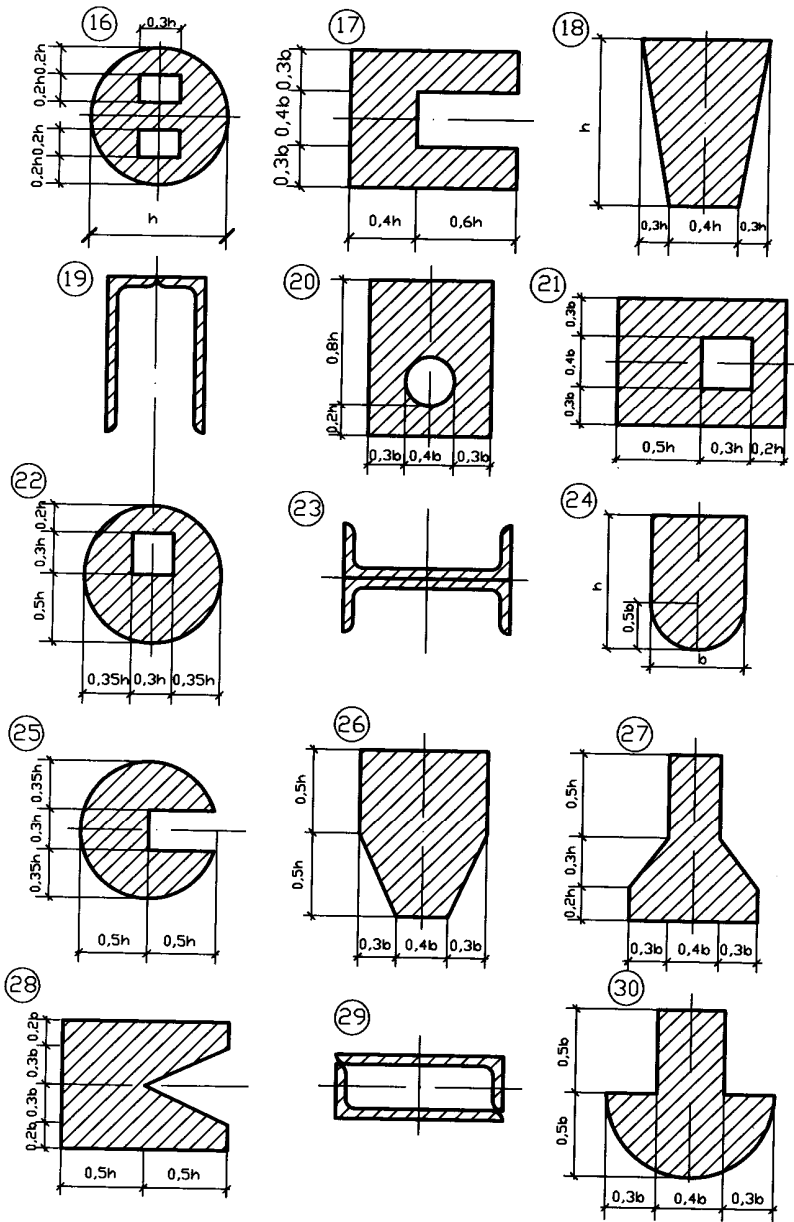


Рис. 5.9. Схемы сечений к задаче 10 (окончание)

Т а б л и ц а 5.2

## Числовые данные к задаче 10

Номер варианта	Длина а, м	Типы и размеры сечений				
		h, см	b, см	Двутавр	Швеллер	Уголок
1	1,0	14	10	10	8	100x63x7
2	1,1	18	13	16	16	110x70x8
3	1,2	22	16	14	10	125x80x7
4	1,3	15	11	12	20	140x90x8
5	1,4	20	14	18	12	160x100x9
6	1,5	24	17	16	8	180x110x10
7	1,0	17	12	14	14	200x125x12
8	1,1	21	15	20	10	100x63x8
9	1,2	14	11	10	16	125x80x8
10	1,3	18	14	12	20	140x90x10
11	1,4	22	15	16	18	160x100x12
12	1,5	15	10	20	12	180x110x12
13	1,1	20	13	10	20	100x63x6
14	1,2	24	18	14	8	125x80x10
15	1,3	17	11	18	12	160x100x10
16	1,4	21	16	10	10	180x110x11
17	1,5	14	12	16	14	100x63x10
18	1,0	18	12	20	18	125x80x12
19	1,1	22	17	12	8	160x100x14
20	1,2	16	10	16	16	200x125x14
21	1,3	21	14	18	20	100x63x7
22	1,4	25	17	14	10	110x70x8
23	1,5	18	12	10	14	125x80x7
24	1,0	22	15	20	18	140x90x10
25	1,1	16	10	12	8	160x100x12
26	1,2	17	13	16	20	200x125x12
27	1,3	21	16	18	12	100x63x10
28	1,4	16	12	10	10	125x80x10
29	1,5	22	14	14	16	140x90x8
30	1,0	25	18	20	18	160x100x9

## Задача 11

Однопролетная балка с консолью нагружена расчетной нагрузкой. Материал балки – сталь с расчетными сопротивлениями  $R = 210$  МПа,  $R_s = 130$  МПа и модулем продольной упругости  $E = 200$  ГПа.

Требуется:

- 1) построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов;
- 2) подобрать сечение балки двутаврового профиля;
- 3) проверить прочность по нормальным и касательным напряжениям с учетом собственного веса балки;
- 4) в одном из сечений балки, имеющем одновременно большие значения  $Q$  и  $M$ , определить главные напряжения на уровне примыкания полки к стенке и проверить прочность, используя энергетическую теорию прочности;
- 5) построить эпюры нормальных, касательных, главных и максимальных касательных напряжений для сечения, указанного в пункте 4;
- 6) используя универсальные уравнения оси изогнутой балки определить прогибы посередине пролета и на конце консоли балки, а также углы поворота сечений на опорах;
- 7) с учетом вычисленных значений прогибов и углов поворота показать на схеме балки очертание изогнутой оси;
- 8) проверить жесткость балки при допустимом относительном прогибе

$$\frac{v_{\max}}{\ell} = \frac{1}{500}$$

Схемы к задаче приведены на рис. 5.11, а числовые данные в табл. 5.3.

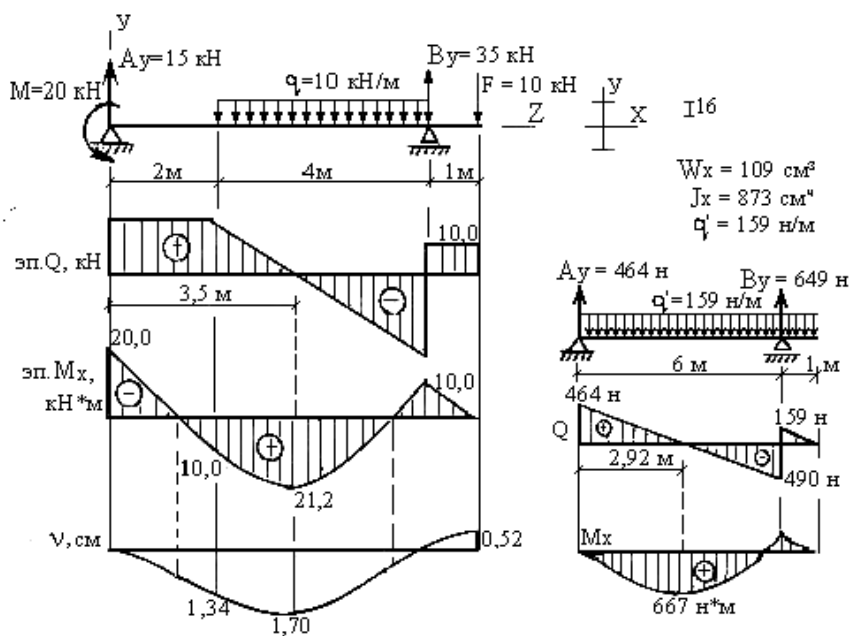
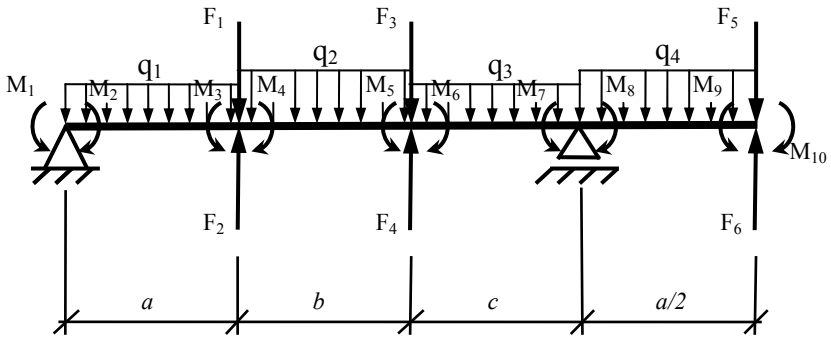


Рис. 5.10. Пример выполнения графической части задачи 11





Номер схемы	Индекс нагрузки		
	q	F	M
1	1,2,3,4	4	
2	3,4	2	1
3	1,2	5	6
4	2,3	2	9
5	1,3		4,10
6	2,3	5	4
7	3,4	1	9
8	1,2,3,4	2	5
9	2,3,4	4	3
10	1,3	2,4	
11	1,4		6
12	1,2,3	2	10
13	1,4	2	1
14	1,2,4		5
15	1,2	4	10

Номер схемы	Индекс нагрузки		
	q	F	M
16	2,4	2	8
17	1,3,4	1	
18	2,4		5
19	2,3,4	2	1
20	1,2,3	4	3
21	1	5	8
22	3	2	10
23	2	6	1
24	1,2,4	4	
25	4	1	6
26	1,3,4		1,4
27	3		1,7
28	4	3	1
29	1		10,6
30	2	5	6

Рис. 5.11. Схемы балок к задаче 11

Т а б л и ц а 5.3

## Числовые данные к задаче 11

Номер варианта	Длины, м			Нагрузки		
	a	b	c	q, кН/м	F, кН	M, кН·м
1	1,0	3,0	1,2	7	38	15
2	1,3	2,8	1,4	10	26	12
3	1,5	2,6	1,6	13	21	14
4	1,8	2,4	1,8	16	12	20
5	2,1	2,2	2,0	8	31	12
6	1,1	2,7	2,0	11	25	10
7	1,4	2,5	1,3	14	20	16
8	1,7	2,3	1,1	17	19	13
9	2,0	1,9	1,5	9	30	26
10	1,2	2,8	1,7	12	27	19
11	1,5	1,8	1,9	15	18	21
12	1,8	2,2	1,2	18	15	20
13	1,0	2,9	1,5	7	40	27
14	1,3	2,6	1,3	9	31	14
15	1,6	2,2	1,6	11	26	18
16	1,9	2,7	1,8	13	22	27
17	1,1	2,9	1,1	15	13	23
18	1,4	2,6	1,3	17	17	14
19	1,6	2,2	2,0	8	38	27
20	1,8	2,4	1,6	12	23	28
21	2,0	2,9	1,4	16	14	18
22	1,9	2,0	1,8	20	18	26
23	1,5	2,6	1,0	7	39	14
24	1,7	2,3	1,4	12	22	30
25	1,3	2,8	1,5	18	16	12
26	1,1	3,0	1,7	14	24	21
27	1,4	2,6	1,2	9	29	24
28	2,0	2,1	1,6	11	24	19
29	1,8	2,3	1,4	13	20	23
30	1,1	2,7	1,3	8	28	20

## Задача 12

Неразрезная балка нагружена расчетной нагрузкой. Материал балки – сталь с расчетными сопротивлениями  $R = 210$  МПа,  $R_s = 130$  МПа и модулем продольной упругости  $E = 200$  ГПа.

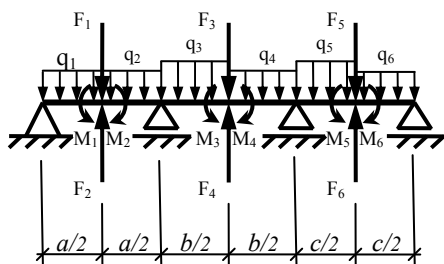
Требуется:

- 1) установить степень статической неопределимости;
- 2) выбрать основную и эквивалентную системы и записать канонические уравнения метода сил;
- 3) для выбранной основной системы построить эпюры изгибающих моментов от заданных нагрузок и единичных загрузений;
- 4) вычислить коэффициенты и свободные члены канонических уравнений, составить систему и определить значения неизвестных;
- 5) построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов;
- 6) выполнить проверку правильности проделанного расчета путем перемножения окончательной эпюры изгибающих моментов на одну из единичных эпюр;
- 7) подобрать номер прокатного двутавра и проверить прочность по касательным напряжениям;
- 8) определить прогибы посередине длины каждого пролета балки, используя правила Верещагина, и показать общий вид упруго изогнутой оси балки;
- 9) проверить жесткость балки, если предельный прогиб

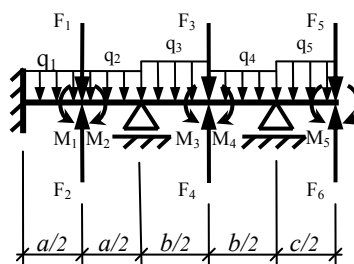
$$f_u = \frac{l}{500}.$$

Схемы к задаче приведены на рис. 5.12, а числовые данные в табл. 5.4.

Схемы 1-15



Схемы 16-30



Номер схемы	Индекс нагрузки		
	q	F	M
1	1	3	5
2	2	5	1
3	3	1	6
4	4	2	3
5	5	4	2
6	2,3	5	1
7	4,5	1	4
8	1,4		3
9	2,3	2	6
10	4,5	2	6
11	1	3	5
12	2,3	6	2
13	4,5	4	1
14	2	2	6
15	3	6	2

Номер схемы	Индекс нагрузки		
	q	F	M
16	1	3	6
17	2	6	4
18	3	5	1
19	4	2	6
20	5	3	2
21	1,2	6	4
22	3,4	3	5
23	1,2	4	6
24	1	2,6	3
25	2	3	2,6
26	3,5	3	2
27	4	2,5	3
28	4	2	5
29	3	6	1
30	3,4	5	1

Рис. 5.12. Схемы балок к задаче 12

Числовые данные к задаче 12

Номер варианта	Длины, м			Нагрузки		
	a	b	c	q, кН/м	F, кН	M, кН·м
1	3,0	8,0	5,8	10	25	20
2	3,6	7,0	5,4	14	32	27
3	4,2	6,4	5,0	16	41	21
4	5,0	6,0	4,6	18	44	39
5	5,8	6,2	3,2	17	40	35
6	3,2	7,4	6,0	14	31	26
7	3,8	6,6	5,6	18	39	30
8	4,6	7,2	4,8	12	33	26
9	5,2	6,4	4,0	14	38	30
10	6,0	5,8	3,0	18	42	36
11	3,4	7,6	5,4	12	29	23
12	4,0	6,2	4,6	15	43	37
13	4,2	6,0	4,0	17	45	41
14	4,8	7,0	5,0	15	30	24
15	5,4	6,6	3,6	17	37	32
16	3,0	7,8	5,2	11	26	20
17	4,0	5,8	3,8	20	46	42
18	5,6	5,4	3,4	19	48	41
19	4,2	5,6	3,6	14	50	45
20	5,0	6,8	4,4	15	36	33
21	3,2	7,6	5,0	12	27	22
22	4,4	5,4	3,2	18	49	41
23	5,2	6,8	4,2	16	35	30
24	3,4	7,4	4,8	13	28	22
25	4,6	5,2	3,0	20	50	44
26	5,4	6,2	3,8	16	51	46
27	3,6	7,2	4,6	13	32	30
28	4,8	5,0	3,4	20	52	48
29	5,6	5,4	3,6	19	54	50
30	3,8	6,8	4,2	16	34	28

## 6. РАСЧЕТЫ НА СЛОЖНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

### Задача 13

Балка нагружена в вертикальной и горизонтальной плоскостях расчетной нагрузкой. Материал балки – сталь с расчетным сопротивлением  $R = 210$  МПа.

Требуется:

- 1) построить эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
- 2) вычислить расчетный изгибающий момент в ряде сечений и установить наиболее опасное из них;
- 3) подобрать сечение из двух прокатных швеллеров, расположив его рационально по отношению к нагрузке;
- 4) определить положение нейтральной линии в опасном сечении балки;
- 5) вычислить нормальные напряжения в характерных точках опасного сечения балки и построить их эпюры в главных плоскостях и результирующую. Сопоставить  $\sigma_{\max}$  с  $R$ .

Схемы к задаче приведены на рис.6.2, 6.3 а числовые данные в табл. 6.1.

**Примечания:**

- 1) для двоянных швеллеров соотношение моментов сопротивления  $W_x/W_y \approx 1,4$
- 2) допускается перенапряжение в материале балки до 5 %.

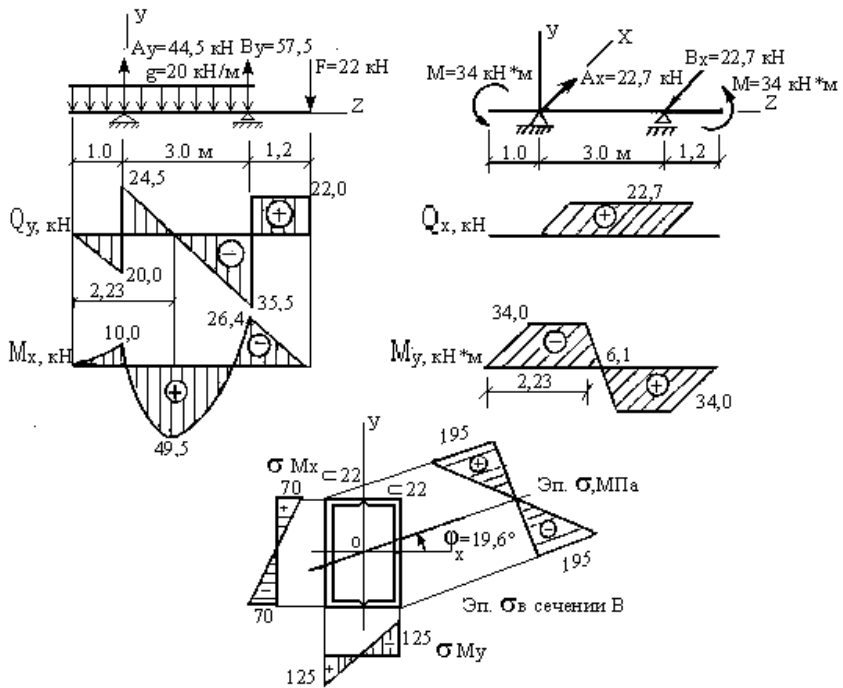
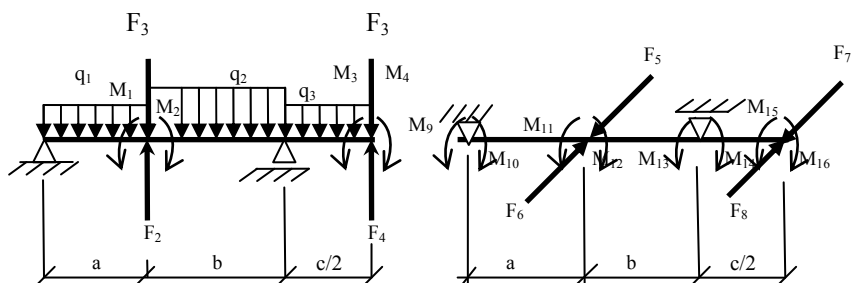


Рис. 6.1. Пример выполнения графической части задачи 13

Вертикальная плоскость

Горизонтальная плоскость



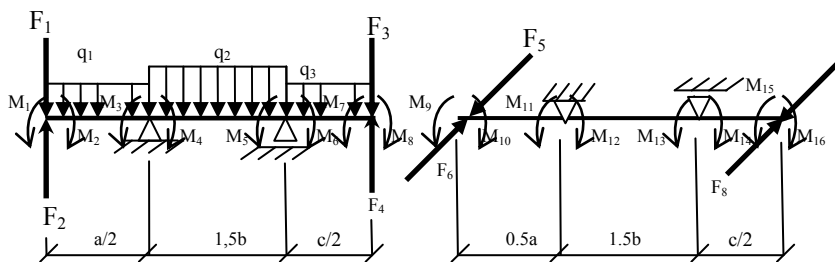
Номер схемы	Индекс нагрузки				
	вертикальной			горизонтальной	
	q	F	M	F	M
1	1,2		2	6,8	
2	1,3	2			6,10
3	1,2,3				7,10
4	2,3	2		8	6
5	1,2	4			10,12
6	3		1	7	5
7	2	4			5,10
8	1		3	5	12
9	1,3			5	11
10	1,2,3			7	7
11	3,4	2		8	9
12	1,2	3			6,11
13	3	1		8	8
14	2		4	5	10
15	1	3		7	7

Рис. 6.2. Схемы 1-15 к задаче 13



Вертикальная плоскость

Горизонтальная плоскость



Номер схемы	Индекс нагрузки				
	вертикальной			горизонтальной	
	q	F	M	F	M
16	1,2	3			9,15
17	1,3		6	6	14
18	1,2,3		4	8	9
19	2,3		2	5	14
20	1,2	4		8	12
21	3	2		7	9
22	2	2	8	8	11,14
23	1	3		6	15
24	1,3		4	5	13
25	1,2,3	3		8	13
26	2,3		1	7	9
27	1,2		6	5	15
28	3		1	6	16
29	2	1	7	7	12
30	1		7	8	9

Рис. 6.3. Схемы 16-30 к задаче 13

Т а б л и ц а 6.1

## Числовые данные к задаче 13

Номер варианта	Длины, м			Нагрузки		
	a	b	c	q, кН/м	F, кН	M, кН·м
1	1,5	3,0	1,1	10	40	26
2	1,7	2,8	1,2	12	38	30
3	1,9	3,3	1,3	14	36	20
4	2,0	3,1	1,2	16	24	22
5	1,6	2,9	1,0	18	20	26
6	1,5	3,4	1,2	20	30	28
7	1,8	3,8	1,0	10	38	22
8	2,0	3,2	1,3	12	36	26
9	1,5	3,0	1,0	14	34	34
10	1,7	3,5	1,2	16	26	30
11	1,9	3,6	1,3	18	22	24
12	1,5	3,0	1,1	20	28	36
13	1,7	3,3	1,2	10	36	28
14	1,8	3,6	1,3	12	34	26
15	2,0	3,8	1,2	14	30	20
16	1,6	3,4	1,4	16	24	24
17	1,9	3,0	1,0	18	20	30
18	1,5	3,4	1,1	20	26	28
19	1,9	3,7	1,3	10	34	30
20	1,5	3,0	1,1	12	32	22
21	1,7	3,2	1,3	14	28	28
22	1,9	3,5	1,2	16	22	30
23	2,0	3,8	1,0	18	32	24
24	1,6	3,4	1,3	20	24	22
25	1,8	3,1	1,1	10	32	26
26	1,5	3,6	1,0	12	30	32
27	1,7	3,9	1,2	14	26	26
28	1,9	3,8	1,0	16	20	24
29	1,6	3,0	1,3	18	26	28
30	1,8	3,7	1,1	20	22	34

## Задача 14

Колонна заданного поперечного сечения сжимается расчетной силой  $F$ , направленной параллельно продольной оси и приложенной в точке, показанной на сечении. Расчетные сопротивления для материала колонны: на растяжение  $R_t = 1,4$  МПа, на сжатие  $R_c = 22$  МПа.

Требуется:

- 1) определить геометрические характеристики сечения колонны;
- 2) найти положение нулевой линии;
- 3) вычислить значения наибольшего сжимающего и наибольшего растягивающего напряжений и построить их эпюру;
- 4) сделать заключение о прочности колонны;
- 5) при заданных размерах поперечного сечения и точки приложения нагрузки определить наибольшую допустимую нагрузку на колонну;
- 6) построить ядро сечения.

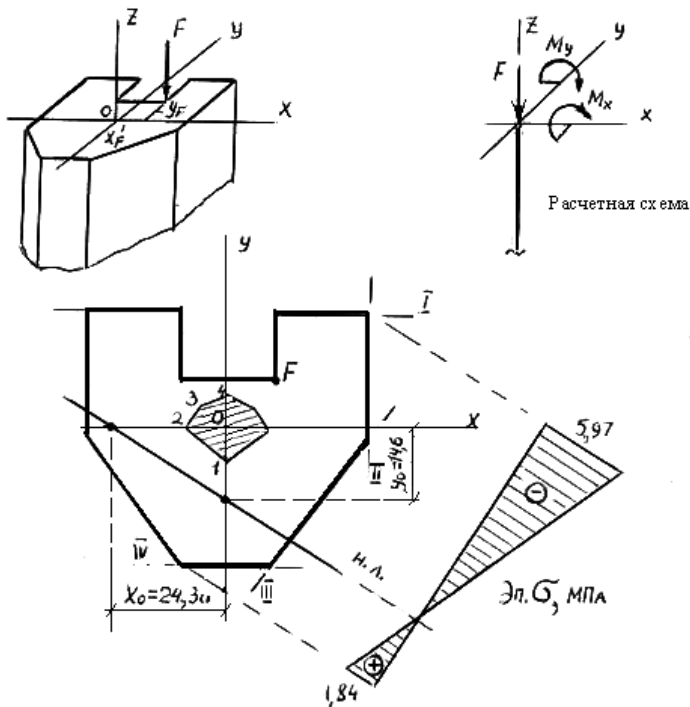


Рис. 6.4. Пример выполнения графической части задачи 14



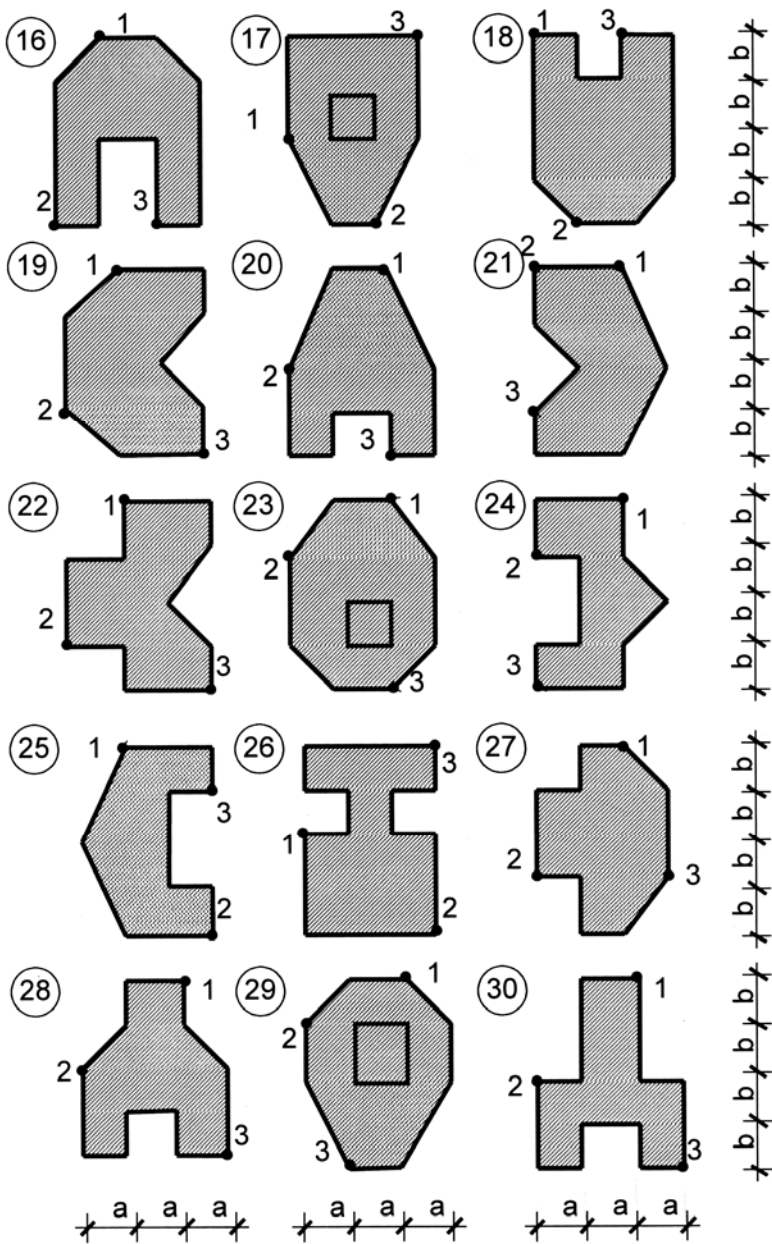


Рис. 6.5. Схемы сечений к задаче 14 (окончание)

Т а б л и ц а 6.2

Числовые данные к задаче 14

Номер варианта	Нагрузка F, кН	Размеры сечения		Точка приложения силы
		a, см	b, см	
1	100	20	12	1
2	280	28	16	2
3	440	36	20	3
4	120	22	14	1
5	300	32	20	2
6	460	38	18	3
7	140	20	14	1
8	320	24	18	2
9	480	40	20	3
10	220	26	16	1
11	160	22	14	2
12	340	36	26	3
13	500	42	24	1
14	240	26	18	2
15	180	24	16	3
16	360	38	26	1
17	240	28	18	2
18	410	32	20	3
19	200	26	18	1
20	380	24	12	2
21	500	40	22	3
22	380	36	20	1
23	220	24	16	2
24	400	30	14	3
25	380	28	16	1
26	240	30	14	2
27	420	36	22	3
28	340	32	20	1
29	300	30	18	2
30	260	28	16	3

## Задача 15

На стальной вал диаметром  $d$ , вращающийся со скоростью  $n$  оборотов в минуту, через ведущий шкив 1 с помощью ременной передачи передается мощность  $P$ , которая затем распределяется между ведомыми шестернями 2 и 3 в заданном соотношении ( $P_2/P_3$ ). Предел текучести материала вала  $\sigma_y = 240$  МПа. Значение коэффициента запаса прочности  $K$  приведено в таблице вариантов.

Требуется:

1) определить нагрузки, действующие на вал, т. е. крутящие моменты, силы натяжения ведомой и ведущей ветвей ременной передачи, окружные и радиальные составляющие силы сцепления на зубчатых колесах;

2) силы, действующие на вал, разложить на соответствующие в вертикальной и горизонтальной плоскостях;

3) построить эпюры: крутящих моментов, изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях и суммарную изгибающих моментов;

4) вычислить значения расчетного момента по энергетической теории прочности в характерных сечениях вала и установить из них опасное;

5) определить диаметр вала, округлив его до стандартных значений ( $d = 15, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 52, 55, 58, 60$  мм).

В расчете использовать следующие зависимости:

1) крутящий момент на шкиве и зубчатом колесе  $T = 9550 P/n$  ( $P$ , кВт;  $n$ , об/мин;  $T$ , Н·м);

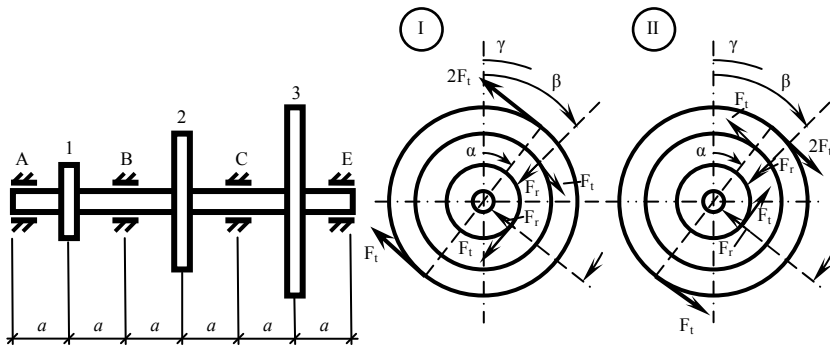
2) сила натяжения ведомой ветви ремня  $F_t = 2000 T/D$  ( $D$ , мм;  $F_t$ , Н);

3) сила натяжения ведущей ветви ремня –  $2 F_t$ ;

4) окружная составляющая силы зацепления на зубчатом колесе  $F_t = 2000 T/D$ , а радиальная составляющая –  $F_r = 0,36 F_t$ ;

5)  $D$  – диаметр шкива, зубчатого колеса.

Схемы к задаче приведены на рис. 6.6, а числовые данные в табл. 6.3.



Номер схемы	Опоры	Положение колес(слева направо)	Направле ние вращения	Углы		
				$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
1	A,E	1,2,3	I	30	90	270
2	B,E	1,3,2	II	45	180	90
3	A,C	3,2,1	I	60	270	180
4	B,C	2,1,3	II	120	0	180
5	A,E	2,3,1	I	135	180	270
6	B,E	3,1,2	II	150	270	0
7	A,C	1,2,3	I	210	0	90
8	B,C	1,3,2	II	225	90	270
9	A,E	3,2,1	I	240	270	0
10	B,E	2,1,3	II	300	90	180
11	A,C	2,3,1	I	315	0	90
12	B,C	3,1,2	II	330	180	0
13	A,E	1,2,3	I	30	90	180
14	B,E	1,3,2	II	45	270	90
15	A,C	3,2,1	I	60	180	270

Номер схемы	Опоры	Положение колес(слева направо)	Направле ние вращения	Углы		
				$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
16	B,C	2,1,3	II	120	180	0
17	A,E	2,3,1	I	135	270	180
18	B,E	3,1,2	II	150	0	270
19	A,C	1,2,3	I	210	90	270
20	B,C	1,3,2	II	225	0	90
21	A,E	3,2,1	I	240	27	0
22	B,E	2,1,3	II	300	180	90
23	A,C	2,3,1	I	315	0	180
24	B,C	3,1,2	II	330	90	0
25	A,E	1,2,3	I	30	270	180
26	B,E	1,3,2	II	45	180	0
27	A,C	3,2,1	I	60	90	270
28	B,C	2,1,3	II	120	0	180
29	A,E	2,3,1	I	135	0	270
30	B,E	3,1,2	II	150	180	270

Рис. 6.6. Схемы к задаче 15



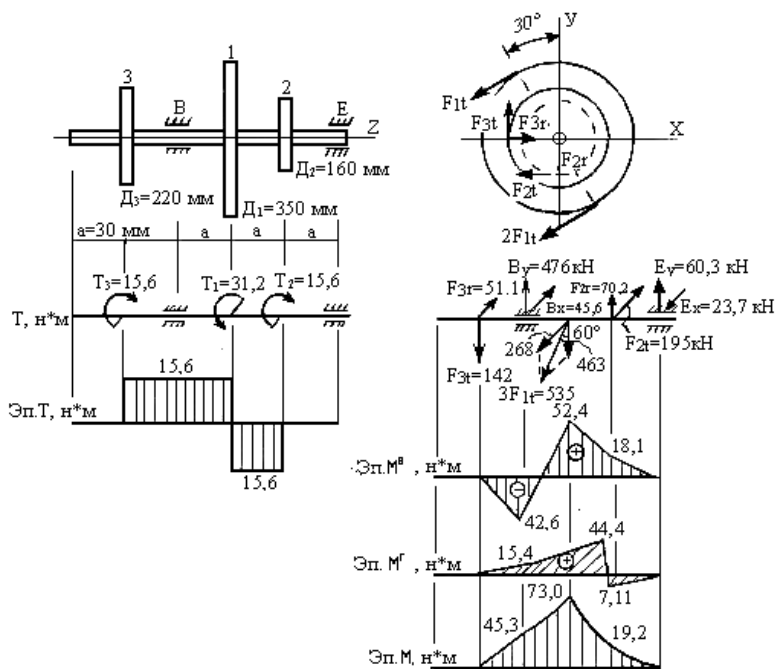


Рис. 6.7. Пример выполнения графической части к задаче 15

Т а б л и ц а 6.3

Числовые данные к задаче 15

Номер варианта	$P$ , кВт	$n$ , об/мин	$P_2 / P_3$	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$D_3$ , мм	$K$	$a_1$ , мм
1	6	960	0,5	300	80	120	4,0	200
2	16	730	2,0	320	110	200	3,0	250
3	8	1420	1,0	360	130	280	3,8	210
4	18	480	0,5	310	250	100	2,8	260
5	10	970	1,5	280	90	210	3,6	220
6	20	720	3,0	290	240	150	2,5	270
7	12	1430	2,0	330	140	250	3,4	230
8	22	980	1,5	380	210	100	2,4	280
9	14	710	2,5	300	230	140	3,2	240
10	24	1440	1,0	350	160	220	2,3	300

## Задача 16

Пространственная система, состоящая из трех стержней, жестко соединенных между собой под прямым углом, нагружена расчетной нагрузкой в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Стержни системы имеют одинаковые длины и диаметры поперечных сечений. Материал стержней – сталь с расчетными сопротивлениями  $R = 210 \text{ МПа}$  и  $R_s = 130 \text{ МПа}$ .

Требуется:

- 1) построить эпюры изгибающих и крутящих моментов поперечных и продольных сил;
- 2) для каждого стержня системы установить вид сопротивления, выявить опасное сечение и наиболее напряженную точку;
- 3) проверить прочность каждого стержня по условию прочности, соответствующего виду сопротивления. Схемы к задаче приведены на рис. 6.9, а числовые данные в табл. 6.4.

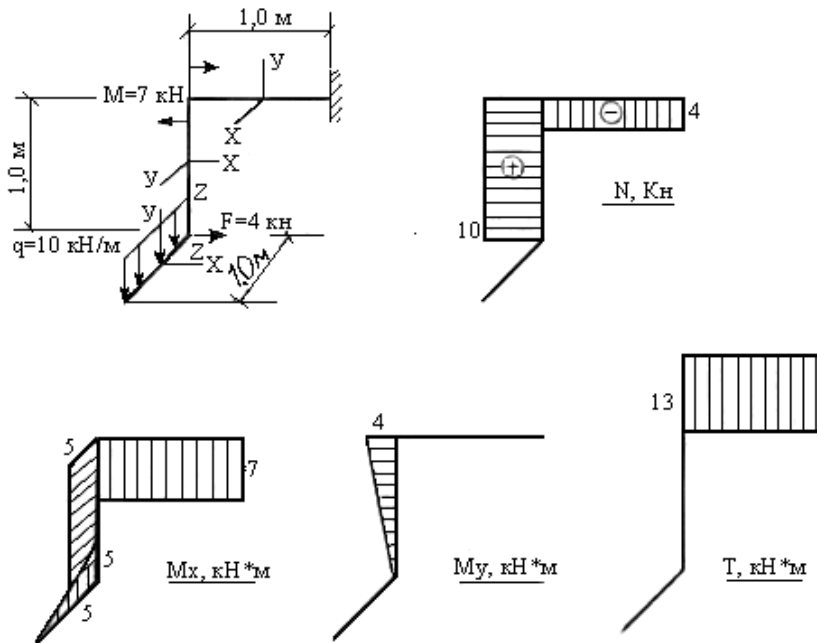


Рис. 6.8. Пример выполнения графической части задачи 16

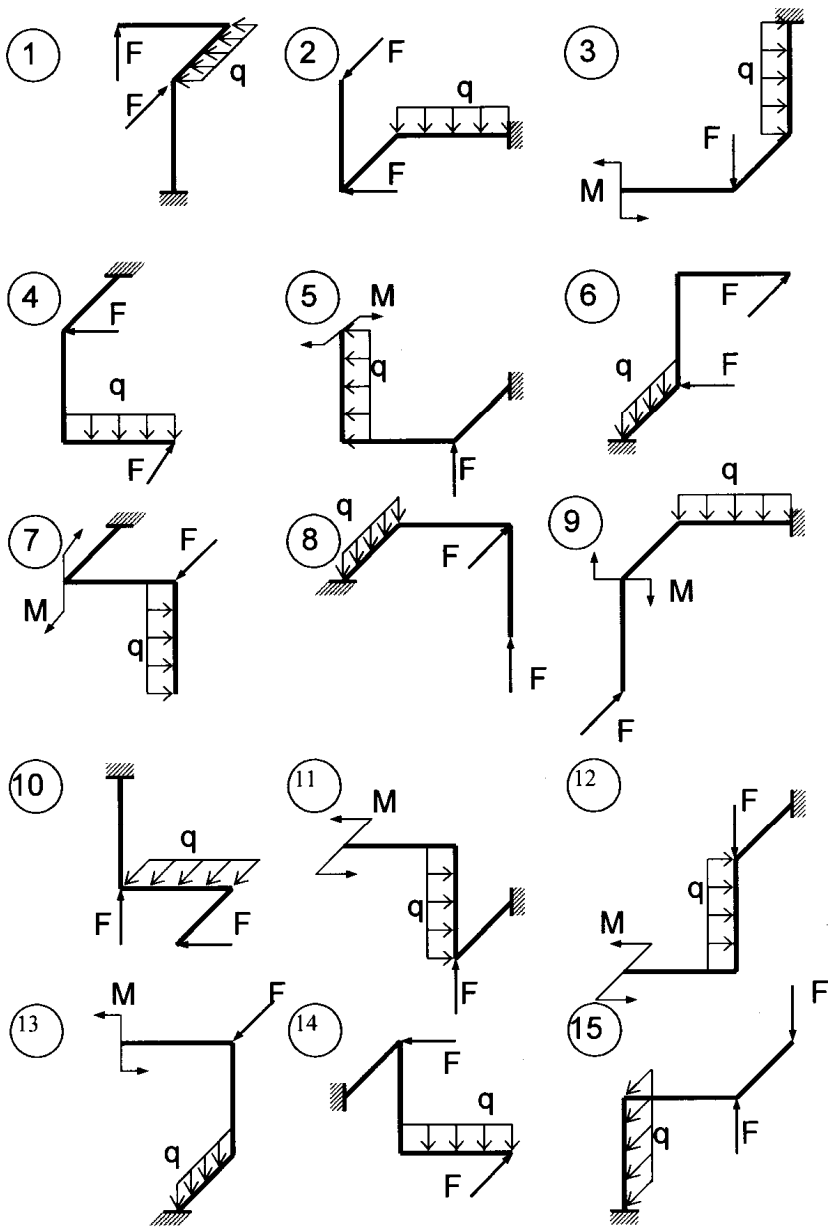


Рис. 6.9. Схемы к задаче 16

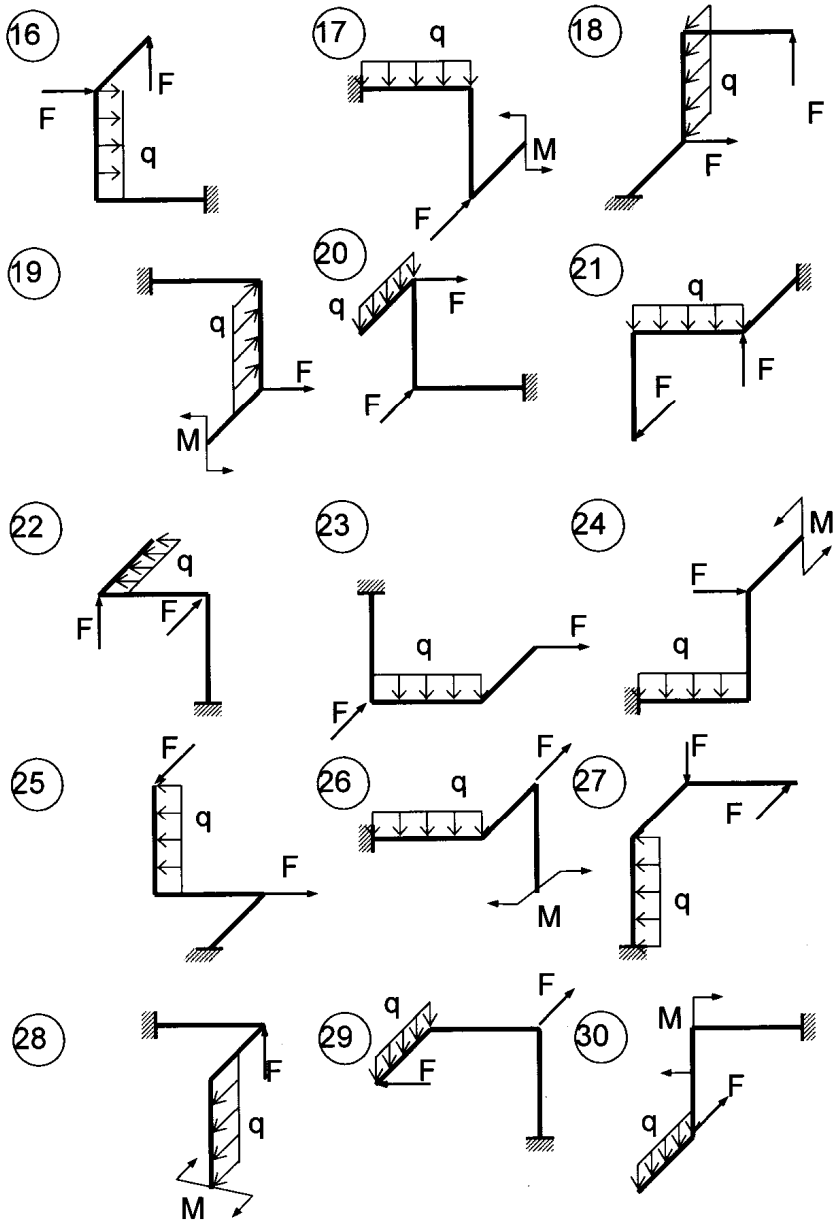


Рис. 6.9. Схемы к задаче 16 (окончание)

Числовые данные к задаче 16

Номер варианта	Нагрузки			Длина $l$ , м	Диаметр стержня $d$ , см
	$q$ , кН/м	$F$ , кН	$M$ , кН·м		
1	8	6	5	0,4	4
2	20	6	7	0,9	10
3	13	3	4	0,6	7
4	8	2	3	0,4	5
5	17	4	5	0,8	9
6	19	5	7	1,0	10
7	11	3	6	0,5	6
8	15	3	8	0,8	8
9	10	2	2	0,5	4
10	12	3	2	0,6	7
11	7	3	4	0,4	5
12	18	6	5	0,9	9
13	14	4	3	0,7	8
14	12	3	4	0,6	6
15	11	2	2	0,5	5
16	16	5	3	0,8	9
17	14	3	2	0,7	7
18	13	3	3	0,6	4
19	20	6	5	1,0	10
20	15	4	5	0,7	9
21	8	3	4	0,4	5
22	10	2	3	0,5	6
23	18	4	5	0,9	8
24	19	5	4	0,9	10
25	7	3	4	0,4	5
26	9	4	3	0,5	7
27	8	3	5	0,4	4
28	15	5	6	0,7	8
29	9	4	5	0,5	6
30	18	4	7	0,9	9

## 7. РАСЧЕТ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

### Задача 17

Стальной стержень сжимается продольной расчетной нагрузкой  $F$ . Для материала стержня: расчетное сопротивление  $R = 210$  МПа; модуль продольной упругости  $E = 200$  ГПа.

Требуется:

1) подобрать размеры поперечного сечения стержня из условия устойчивости;

2) вычислить значение критической силы;

3) определить значение коэффициента запаса устойчивости.

Схемы к задаче приведены на рис. 7.1, а числовые данные в табл. 7.1.

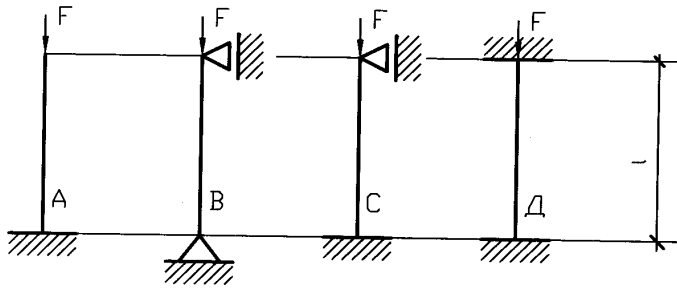
**Примечание.** В схемах А указанные в таблице варианты значения длин уменьшить в 2 раза.

Т а б л и ц а 7.1

Варианты значений длин стержней и нагрузок

Вариант	$l$ , м	$F$ , МН
1	4,0	1,1
2	5,8	0,6
3	4,4	1,0
4	4,1	1,05
5	5,9	0,55
6	5,4	0,85
7	4,2	1,0
8	6,0	0,5
9	5,7	0,65
10	4,3	0,95
11	5,0	0,95
12	5,8	0,75
13	4,4	0,9
14	5,1	0,7
15	5,9	0,55

Вариант	$l$ , м	$F$ , МН
16	4,5	0,85
17	5,2	0,8
18	6,0	0,5
19	4,6	0,8
20	5,3	0,95
21	5,9	0,85
22	4,7	0,75
23	4,4	1,05
24	5,8	0,95
25	4,8	0,7
26	5,6	0,9
27	5,2	0,8
28	4,9	0,65
29	5,7	0,85
30	4,1	1,1



Номер схемы и сечения	Варианты опор
1	А
2	В
3	С
4	Д
5	А
6	В
7	С
8	Д
9	А
10	В

Номер схемы и сечения	Варианты опор
11	С
12	Д
13	А
14	В
15	С
16	Д
17	А
18	В
19	С
20	Д

Номер схемы и сечения	Варианты опор
21	А
22	В
23	С
24	Д
25	А
26	В
27	С
28	Д
29	А
30	В

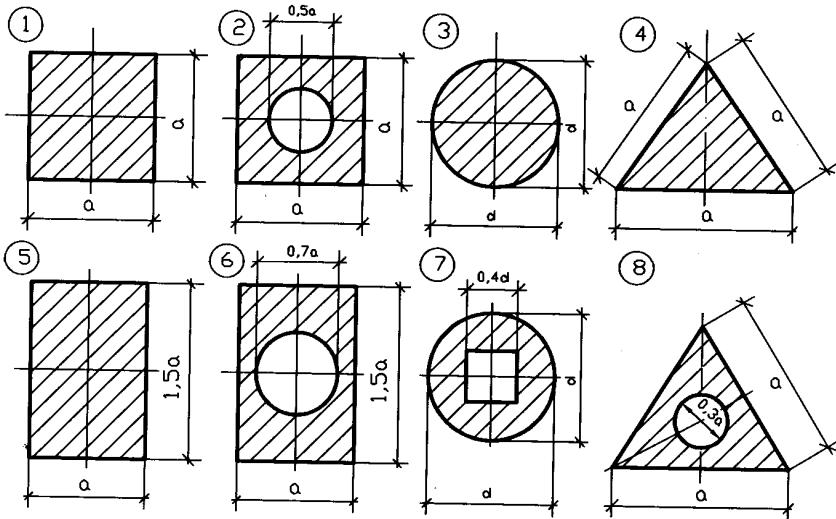


Рис. 7.1. Схемы стержней и сечений к задаче 17

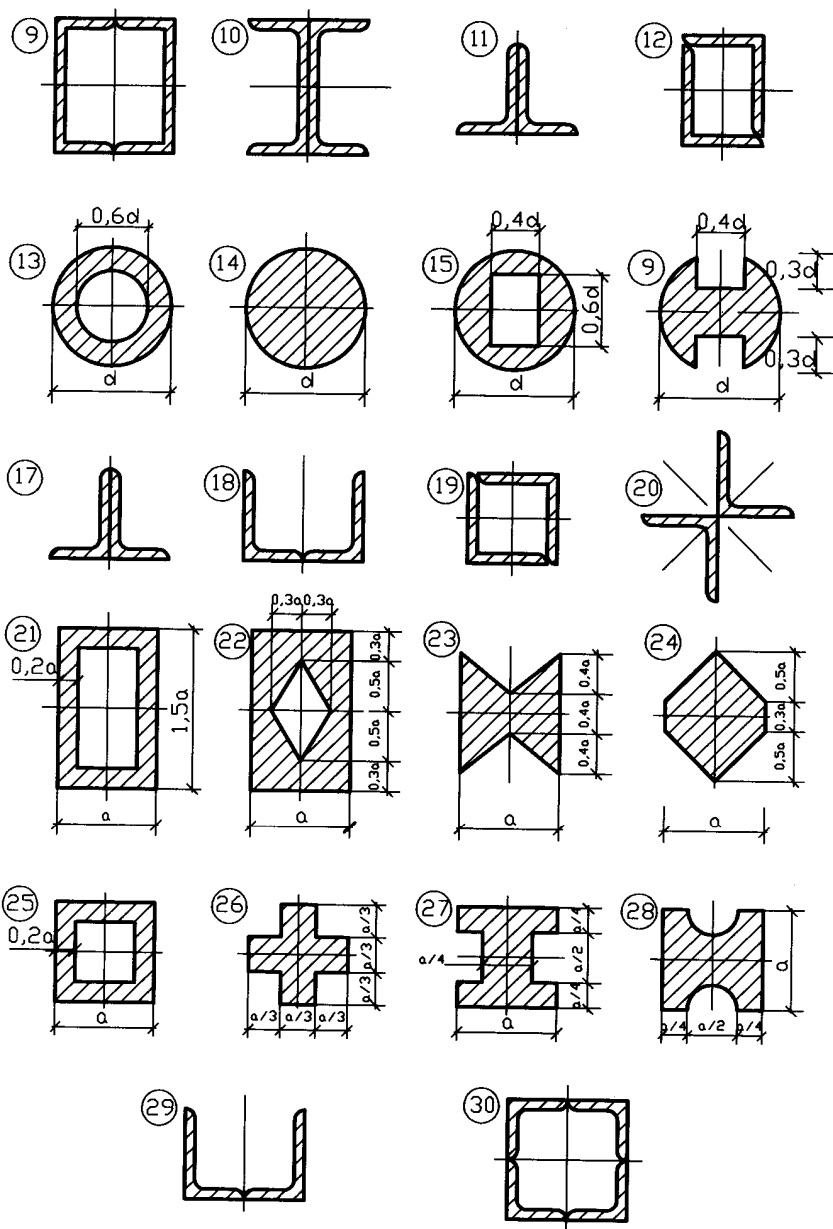


Рис. 7.1. Схемы стержней и сечений к задаче 17 (окончание)

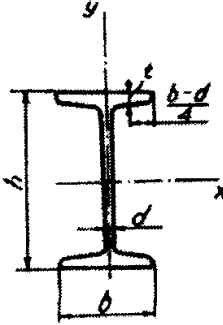


## Л и т е р а т у р а

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. – М.: Высш. школа, 1995.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1986.
3. Писаренко Г.С., Агарев В.А. и др. Сопротивление материалов. – Киев: Вища школа, 1986.
4. Заяц В.Н., Балыкин М.К., Голубев И.А. Сопротивление материалов. – Мн.: БГПА, 1998.
5. Балыкин М.К., Пенькевич В.А., Заяц В.Н., Голубев И.А. Сопротивление материалов: Лабораторный практикум. – Мн.: БГПА, 1999.
6. Винокуров Е.Ф., Петрович А.Г., Шевчук Л.И. Сопротивление материалов: Расчетно-проектировочные работы. – Мн.: Высш. школа, 1987.
7. Петрович А.Г., Рудь Б.В., Пенькевич В.А. и др. Сборник заданий расчетно-проектировочных работ по курсу «Сопротивление материалов». В 2 ч. Ч. 1. – Мн.: БПИ, 1979.
8. Петрович А.Г., Рудь Б.В., Пенькевич В.А. и др. Сборник заданий расчетно-проектировочных работ по курсу «Сопротивление материалов». В 2 ч. Ч. 2. – Мн.: БПИ, 1979.
9. Смирнов А.Ф. и др. Сопротивление материалов. – М.: Высш. школа, 1975.
10. СНиП 2.01.07-85. Нагрузка и воздействие / Госстрой СССР, 1985.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**  
**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

Сталь горячекатаная. Балки двутавровые (по ГОСТ 8239-89\*)

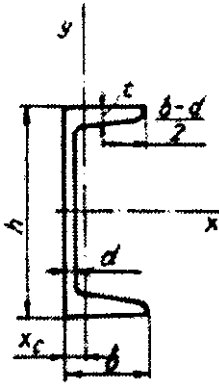


$I$  – момент инерции  
 $W$  – момент сопротивления  
 $S$  – статический момент площади полусечения  
 $i$  – радиус инерции

Номер профиля	Размеры, мм				Площадь сечения $A$ , см <sup>2</sup>	Линейная плотность $\rho_p$ , кг/м	Геометрические характеристики относительно осей						
	$h$	$b$	$d$	$t$			$x$			$y$			
							$I_x$ , см <sup>4</sup>	$W_{x3}$ , см <sup>3</sup>	$i_x$ , см	$S_{x3}$ , см <sup>3</sup>	$I_y$ , см <sup>4</sup>	$W_{y3}$ , см <sup>3</sup>	$i_y$ , см
10	100	55	4,5	7,2	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	11,5	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	13,7	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	160	81	5	7,8	20,2	15,9	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,7
18	180	90	5,1	8,1	23,4	18,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
20	200	100	5,2	8,4	26,8	21	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
22	220	110	5,4	8,7	30,6	24	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
24	240	115	5,6	9,5	34,8	27,3	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
27	270	125	6	9,8	40,2	31,5	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
30	300	135	6,5	10,2	46,5	36,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
33	330	140	7	11,2	53,8	42,2	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	48,6	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	400	155	8,3	13	72,6	57	19062	953	16,2	545	667	86	3,03
45	450	160	9	14,2	84,7	66,5	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	500	170	10	15,2	100	78,5	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	550	180	11	16,5	118	92,6	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	600	190	12	17,8	138	108	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54

\* Здесь и далее звездочка в обозначении шифра указывает на переиздание соответствующего стандарта с учетом внесенных изменений.

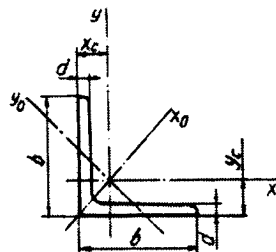
Сталь горячекатаная. Швеллеры (по ГОСТ 8240-89)



$I$  – момент инерции  
 $W$  – момент сопротивления  
 $S$  – статический момент площади полусечения  
 $i$  – радиус инерции

Номер профиля	Размеры, мм				Площадь сечения $A$ , см <sup>2</sup>	Линейная плотность $\rho$ , кг/м	Геометрические характеристики относительно осей							$x_c$ , см
	$h$	$b$	$d$	$t$			$x$			$y$				
							$I_{x_1}$ , см <sup>4</sup>	$W_{x_1}$ , см <sup>3</sup>	$i_{x_1}$ , см	$S_{x_1}$ , см <sup>3</sup>	$I_{y_1}$ , см <sup>4</sup>	$W_{y_1}$ , см <sup>3</sup>	$i_{y_1}$ , см	
5	50	32	4,4	7	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	5,6	2,75	0,95	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	5,9	48,6	15	2,54	9	8,7	3,68	1,08	1,24
8	80	40	4,5	7,4	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	23,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	10,9	8,59	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	13,3	10,4	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	15,6	12,3	491	70,2	5,6	40,8	45,4	11	1,7	1,67
16	160	64	5	8,4	18,1	14,2	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,8
16a	160	68	5	9	19,5	15,3	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2
18	180	70	5,1	8,7	20,7	16,3	1090	121	7,24	69,8	86	17	2,04	1,94
18a	180	74	5,1	9,3	22,2	17,4	1190	132	7,32	76,1	105	20	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9	23,4	18,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,2	2,07
22	220	82	5,4	9,5	26,7	21	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
24	240	90	5,6	10	30,6	24	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,6	2,42
27	270	95	6	10,5	35,2	27,7	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11	40,5	31,8	5810	387	12	224	327	43,6	2,84	2,52
33	330	105	7	11,7	46,5	36,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	360	110	7,5	12,6	53,4	41,9	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,1	2,68
40	400	115	8	13,5	61,5	48,3	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

Рекомендуемый сортамент равнополочных уголков  
(по ГОСТ 8509-86)



$b$  – ширина полки  
 $d$  – толщина полки  
 $I$  – момент инерции  
 $i$  – радиус инерции  
 $x_c, y_c$  – расстояние от центра тяжести до наружных граней полок

Т а б л и ц а П 3.1

Номер профиля	Размеры, мм		Площадь сечения $A$ , см <sup>2</sup>	Линейная плотность $\rho_p$ , кг/м	Геометрические характеристики относительно осей							$x_c, y_c$ , см
	$b$	$d$			$x$		$x_0$		$y$		$I_{xy}$ , см <sup>4</sup>	
					$I_{x_c}$ , см <sup>4</sup>	$i_{x_c}$ , см	$I_{x_0}$ , см <sup>4</sup>	$i_{x_0}$ , см	$I_{y_0}$ , см <sup>4</sup>	$i_{y_0}$ , см		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	20	3	1,13	0,89	0,4	0,59	0,63	0,75	0,17	0,39	0,23	0,6
		4	1,46	1,15	0,5	0,58	0,78	0,73	0,22	0,38	0,28	0,64
3	30	3	1,74	1,36	1,45	0,91	2,3	1,15	0,6	0,59	0,85	0,85
		4	2,27	1,78	1,84	0,9	2,92	1,13	0,77	0,58	1,08	0,89
4	40	3	2,35	1,85	3,55	1,23	5,63	1,55	1,47	0,79	2,08	1,09
		4	3,08	2,42	4,58	1,22	7,26	1,53	1,9	0,78	2,68	1,13
		5	3,79	2,98	5,53	1,21	8,75	1,52	2,3	0,78	3,22	1,17

Продолжение табл. П 3.1

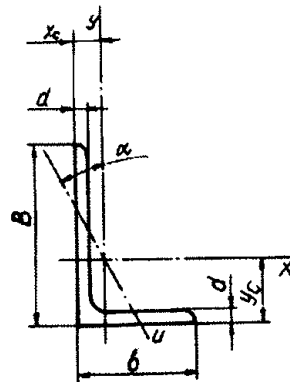
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	50	3	2,96	2,32	7,11	1,55	11,27	1,95	2,95	1	4,16	1,33
		4	3,89	3,05	9,21	1,54	14,63	1,94	3,8	0,99	5,42	1,38
		5	4,8	3,77	11,2	1,53	17,77	1,92	4,63	0,98	6,57	1,42
		6	5,69	4,47	13,07	1,52	20,72	1,91	5,43	0,98	7,65	1,46
6,3	63	4	4,96	3,9	18,86	1,95	29,9	2,45	7,81	1,25	11	1,69
		5	6,13	4,81	23,1	1,94	36,8	2,44	9,52	1,25	13,7	1,74
		6	7,28	5,72	27,06	1,93	42,91	2,43	11,18	1,24	15,9	1,78
7	70	5	6,86	5,38	31,94	2,16	50,67	2,72	13,22	1,39	18,7	1,9
		6	8,15	6,39	37,58	2,15	59,64	2,71	15,52	1,38	22,1	1,94
		7	9,42	7,39	42,98	2,14	68,19	2,69	17,77	1,37	25,2	1,99
		8	10,67	8,37	48,16	2,12	76,35	2,68	19,97	1,37	28,2	2,02
7,5	75	5	7,39	5,8	39,53	2,31	62,65	2,91	16,41	1,49	23,1	2,02
		6	8,78	6,89	46,57	2,3	73,87	2,9	19,28	1,48	27,3	2,06
		7	10,15	7,97	53,34	2,29	84,61	2,89	22,07	1,47	31,2	2,1
		8	11,5	9,02	59,84	2,28	94,89	2,87	24,8	1,47	35	2,15
		9	12,83	10,07	66,1	2,27	104,72	2,86	27,48	1,46	38,6	2,18
8	80	6	9,38	7,36	56,97	2,47	90,4	3,11	23,54	1,58	33,4	2,19
		7	10,85	8,51	65,31	2,45	103,6	3,09	26,97	1,58	38,3	2,23
		8	12,3	9,65	73,36	2,44	116,3	3,08	30,32	1,57	43	2,27
9	90	6	10,61	8,33	82,1	2,78	130	3,5	33,97	1,79	48,1	2,43
		7	12,28	9,64	94,3	2,77	149,6	3,49	38,94	1,78	55,4	2,47
		8	13,93	10,93	106,1	2,76	168,4	3,48	43,8	1,77	62,3	2,51
		9	15,6	12,2	118	2,75	186	3,46	48,6	1,77	68	2,55

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10	100	7	13,75	10,79	130,5	3,08	207	3,88	54,16	1,98	76,4	2,71
		8	15,6	12,25	147,1	3,07	233	3,87	60,92	1,98	86,3	2,75
		10	19,24	15,1	178,9	3,05	283	3,84	74,08	1,96	110	2,83
		12	22,8	17,9	208,9	3,03	330	3,81	86,84	1,95	122	2,91
		14	26,28	20,63	237,1	3,00	374	3,78	99,32	1,94	138	2,99
12,5	125	8	19,69	15,46	294	3,87	466	4,87	121,9	2,49	172	3,36
		9	22	17,3	327	3,86	520	4,86	135,8	2,48	192	3,4
		10	24,33	19,1	359	3,85	571	4,84	148,5	2,47	211	3,45
		12	28,89	22,68	422	3,82	670	4,82	174,4	2,46	248	3,53
		14	33,37	26,2	481	3,8	763	4,78	199,6	2,45	282	3,61
		16	37,77	29,65	538	3,78	852	4,75	224,2	2,44	315	3,68
14	140	9	24,72	19,41	465	4,34	739	5,47	192	2,79	274	3,78
		10	27,33	21,45	512	4,33	813	5,46	210	2,78	301	3,82
		12	32,49	25,5	602	4,31	956	5,43	248	2,76	354	3,9
16	160	10	31,43	24,67	774	4,96	1229	6,25	319	3,19	455	4,3
		11	34,42	27,02	844	4,95	1340	6,24	347	3,18	496	4,35
		12	37,39	29,35	912	4,94	1450	6,23	375	3,17	537	4,39
		14	43,57	33,97	1046	4,92	1662	6,2	430	3,16	615	4,47
		16	49,07	38,52	1175	4,89	1865	6,17	484	3,14	690	4,55
		18	54,79	43,01	1290	4,87	2061	6,13	537	3,13	771	4,63
		20	60,4	47,44	1418	4,85	2248	6,1	589	3,12	830	4,7

Окончание табл. П 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
20	200	12	47,1	36,97	1822	6,22	2896	7,84	749	3,99	1073	5,37
		13	50,85	39,92	1960	6,21	3116	7,83	805	3,98	1156	5,42
		14	54,6	42,8	2097	6,2	3333	7,81	861	3,97	1236	5,46
		16	61,98	48,65	2362	6,17	3755	7,78	969	3,96	1393	5,54
		20	76,54	60,08	2871	6,12	4560	7,72	1181	3,93	1689	5,7
		25	94,29	74,02	3466	6,06	5494	7,63	1438	3,91	2028	5,89
		30	111,54	87,56	4019	6	6351	7,55	1698	3,89	2332	6,07
25	250	16	78,4	61,55	4717	7,76	7492	9,78	1942	4,98	2775	6,75
		18	87,72	68,86	5247	7,73	8336	9,75	2157	4,96	3089	6,83
		20	96,96	76,11	5764	7,71	9159	9,72	2370	4,94	3395	6,91
		22	106,12	83,31	6270	7,09	9961	9,69	2579	4,93	3691	7
		25	119,71	93,97	7006	7,65	11125	9,64	2887	4,91	4119	7,11
		28	133,12	104,5	7716	7,61	12243	9,59	3189	4,9	4527	7,23
		30	141,96	111,44	8176	7,59	12964	9,56	3388	4,89	4788	7,31

Рекомендуемый сортамент неравнополочных уголков  
(по ГОСТ 8510-86)



$B$  – ширина большой полки

$b$  – ширина малой полки

$d$  – толщина полки

$I$  – момент инерции

$i$  – радиус инерции

$x_c, y_c$  – расстояние от центра тяжести до  
наружных граней полок

$\alpha$  – угол наклона главной центральной оси

Т а б л и ц а П 4.1

Номер профи- ля				Пло- щадь сечения $A, \text{см}^2$	Линей- ная плот- ность $\rho_p, \text{кг/м}$	Геометрические характеристики относительно осей						$x_c, \text{см}$	$y_c, \text{см}$	$I_{xy}, \text{см}^4$	$\text{tg}\alpha$
	$B$	$b$	$d$			$x$		$x_0$		$u$					
						$I_x, \text{см}^4$	$i_x, \text{см}$	$I_y, \text{см}^4$	$i_y, \text{см}$	$I_u, \text{см}^4$	$i_u, \text{см}$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2,5/1,6	25	16	3	1,16	0,91	0,70	0,78	0,22	0,44	0,13	0,34	0,42	0,86	0,22	0,392



Продолжение табл. П 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3,2/2	32	20	3	1,49	1,17	1,52	1,01	0,46	0,55	0,28	0,43	0,49	1,08	0,47	0,382
			4	1,94	1,52	1,93	1	0,57	0,54	0,35	0,43	0,53	1,12	0,59	0,374
4/2,5	40	25	3	1,89	1,48	3,06	1,27	0,93	0,70	0,56	0,54	0,59	1,32	0,96	0,385
			4	2,47	1,94	3,93	1,26	1,18	0,69	0,71	0,54	0,63	1,37	1,22	0,281
			5	3,03	2,37	4,73	1,25	1,41	0,68	0,86	0,53	0,66	1,41	1,44	0,374
5/3,2	50	32	3	2,42	1,9	6,18	1,6	1,99	0,91	1,18	0,7	0,72	1,60	2,01	0,403
			4	3,17	2,4	7,98	1,59	2,56	0,9	1,52	0,69	0,76	1,65	2,59	0,401
6,3/4,0	63	40	4	4,04	3,17	16,33	2,01	5,16	1,13	3,07	0,87	0,91	2,03	5,25	0,397
			5	4,98	3,91	19,91	2	6,26	1,12	3,73	0,86	0,95	2,08	6,41	0,396
			6	5,9	4,63	23,31	1,99	7,29	1,11	4,36	0,86	0,99	2,12	7,44	0,393
			8	7,68	6,03	29,6	1,96	9,15	1,09	5,58	0,85	1,07	2,2	9,27	0,386
7,5/5	75	60	5	6,11	4,79	34,81	2,39	12,47	1,43	7,24	1,09	1,17	2,39	12	0,436
			6	7,25	5,69	40,92	2,38	14,6	1,42	8,48	1,08	1,21	2,44	14,1	0,435
			7	8,37	6,57	46,77	2,36	16,61	1,41	9,69	1,08	1,25	2,48	16,18	0,435
			8	9,47	7,43	52,38	2,35	18,52	1,4	10,87	1,07	1,29	2,52	17,8	0,43
9/5,6	90	56	5,5	7,86	6,17	65,28	2,88	19,67	1,58	11,77	1,22	1,26	2,92	20,54	0,384
			6	8,54	6,7	70,58	2,88	21,22	1,58	12,7	1,22	1,28	2,95	22,23	0,384
			8	11,18	8,77	90,87	2,85	27,08	1,56	16,29	1,21	1,36	3,04	28,33	0,38
10/6,3	100	63	6	9,58	7,53	98,29	3,2	30,58	1,79	18,2	1,38	1,42	3,23	31,5	0,393
			7	11,09	8,7	112,86	3,19	34,99	1,78	20,83	1,37	1,46	3,28	36,1	0,392
			8	12,57	9,87	126,96	3,18	39,21	1,77	23,38	1,36	1,5	3,32	40,5	0,391
			10	15,47	12,14	153,95	3,15	47,18	1,75	28,34	1,35	1,58	3,4	48,6	0,387

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
12,5/8	125	80	7	14,06	11,04	226	4,01	73,73	2,29	43,4	1,76	1,8	4,01	74,7	0,407
			8	15,98	12,58	225	4	80,95	2,28	48,82	1,75	1,84	4,05	84,1	0,406
			10	19,7	15,47	311	3,98	100,47	2,26	59,33	1,74	1,92	4,14	102	0,404
			12	23,36	18,34	364	3,95	116,84	2,24	69,47	1,72	2	4,22	118	0,4
16/10	160	100	9	22,87	17,96	605	5,15	186	2,85	110,4	2,2	2,24	5,19	194	0,391
			10	25,28	19,85	666	5,13	204	2,84	121,16	2,19	2,28	5,23	213	0,390
			12	30,04	23,58	784	5,11	238	2,82	142,14	2,18	2,36	5,32	249	0,388
			14	34,72	27,26	897	5,08	271	2,8	162,49	2,16	2,43	5,4	282	0,385
20/12,5	200	125	11	34,87	27,37	1449	6,45	446	3,58	263	2,75	2,79	6,5	465	0,392
			12	37,89	29,74	1568	6,43	481	3,57	285	2,74	2,83	6,54	503	0,392
			14	43,87	34,43	1800	6,41	550	3,54	326	2,73	2,91	6,62	575	0,390
			16	49,77	39,07	2026	6,38	616	3,52	366	2,72	2,99	6,71	643	0,388

## С о д е р ж а н и е

В в е д е н и е.....	3
1. РАСТЯЖЕНИЕ – СЖАТИЕ.....	5
2. РАСЧЕТ ЗАКЛЕПОЧНЫХ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ. . .	20
3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ.....	24
4. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ПРИ КРУЧЕНИИ.....	31
5. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ПРИ ИЗГИБЕ..	33
6. РАСЧЕТЫ НА СЛОЖНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ.....	54
7. РАСЧЕТ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ. . .	70
Л и т е р а т у р а.....	73
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	74

Учебное издание

## СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Сборник заданий  
для расчетно-проектировочных работ  
для строительных специальностей

Составители: БАЛЫКИН Михаил Кириллович  
ПЕНЬКЕВИЧ Владимир Александрович  
ГОЛУБЕВ Иван Архипович и др.

Редактор В.В.Мохнач  
Компьютерная верстка Л.М.Чернышевич

---

Подписано в печать 03.10.2003.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 4,8. Уч.-изд. л. 3,8. Тираж 200. Заказ 328.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.  
Лицензия ЛВ №155 от 30.01.2003. 220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.