

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)»

Кафедра «Строительная механика»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой, д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_ / И.В. Демьянушко /

\_\_\_\_\_ 2023 г.

А.С. Груздев, В.С. Надеждин, О.В. Титов, Е.А. Балакирева

**Сборник практических заданий  
по курсу  
«Сопротивление материалов»  
для студентов очной формы обучения  
Часть 2**

**МОСКВА  
МАДИ  
2023**

УДК 539.31/6

ББК 30.121

С23

Составители:

А.С. Груздев, В.С. Надеждин, О.В. Титов, Е.А. Балакирева

**Груздев, А.С.**

С23 Сборник практических заданий по курсу «Сопротивление материалов». Ч.2 / А.С. Груздев, В.С. Надеждин, О.В. Титов, Е.А. Балакирева. – М.: МАДИ, 2023. – 52 с.

В сборнике представлены задания для самостоятельного выполнения студентами с целью успешного усвоения курса «Сопротивление материалов» по следующим темам: «Сложное сопротивление», «Основы теории напряженного и деформированного состояния в точке», «Кручение с изгибом», «Статически неопределимые стержневые системы», «Продольный и продольно-поперечный изгиб», «Ударное действие нагрузки». Представлен справочный материал, необходимый для решения приведенных задач.

Сборник предназначен для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», 23.05.02 «Транспортные средства специального назначения», а также может быть использован обучающимися родственными направлениями подготовки.

УДК 539.31/6

ББК 30.121

© МАДИ, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

Общие сведения .....	4
1. Расчет плоской статически определимой рамы.....	6
2. Косой изгиб .....	10
3. Внецентренное растяжение-сжатие .....	13
4. Исследование напряженного и деформированного состояния в точке тела.....	17
5. Расчет пространственного бруса.....	19
6. Расчет статически неопределимой плоской рамы.....	23
7. Расчет статически неопределимой многоопорной балки .....	29
8. Расчет плоско-пространственной статически неопределимой рамы .....	32
9. Продольный изгиб.....	36
10. Продольно-поперечный изгиб.....	38
11. Расчет на ударное воздействие.....	40
Список литературы .....	42
Приложение А. Геометрические характеристики простейших фигур.....	43
Приложение Б. Расчет бруса некруглого сечения при кручении .....	45
Приложение В. ГОСТ Р 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия. ....	46
Приложение Г. Коэффициенты приведения длины .....	48
Приложение Д. Зависимость коэффициента снижения допусаемого напряжения от гибкости стержня.....	49
Приложение Е. Характеристики материала.....	50

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Во всех задачах, если не указано иное, принимается:

- деформации предполагаются линейно-упругими;
- сопротивление материалов при растяжении и сжатии считается одинаковым, если не указано иное;
- собственный вес конструкции не учитывается;
- концентрация напряжений в сечениях не учитывается;
- при расчете на прочность использовать метод допускаемых напряжений.

При решении задач необходимо пользоваться Международной системой единиц (СИ). В частности, единица измерения силы –  $1 \text{ [кН]} = 10^3 \text{ [Н]}$ , единица измерения напряжений –  $1 \text{ [МПа]} = 10^6 \text{ [Па]}$  и т.д.

Номер расчетной схемы для каждой задачи, если не указано иное, берется согласно порядковому номеру обучающегося в списке группы.

Исходные данные для решения каждой задачи, если не указано иное, студент должен взять из таблиц в соответствии со своим личным номером варианта (шифром) – четырехзначным числом и первыми четырьмя буквами русского алфавита. Четырехзначный шифр студент берет в соответствии с номером своей зачетной книжки – четыре цифры, начиная с последней цифры, например:

номер зачетной книжки 6 1 0 9 6 3

четырехзначный вариант 3 6 9 0

Четыре буквы русского алфавита следует расположить под номером варианта, например:

вариант	3	6	9	0
буквы	А	Б	В	Г

Из каждого вертикального столбца любой таблицы, обозначенного внизу определенной буквой, надо взять только одно число, стоящее в той горизонтальной строке, номер которой совпадает с цифрой буквы.

Расчетно-графическая работа состоит из титульного листа, листа с исходными данными, расчетной части и графической части.

На титульном листе работы должны быть отображены: название вуза,

название кафедры, название дисциплины, номер расчетно-графической работы и ее название, ФИО студента, номер учебной группы, вариант, ФИО преподавателя.

Перед решением каждой задачи расчетно-графической работы необходимо привести полностью ее условие с числовыми данными, составить аккуратный эскиз в масштабе и указать на нем все величины, необходимые для расчета.

Расчетная часть работы должна быть выполнена на листах формата А4 (210x297 мм), сшитых между собой в виде брошюры.

Графическую часть работы следует выполнять карандашом с соблюдением правил черчения отдельно от расчетной части. Все расчетные схемы вычерчиваются в масштабе с указанием числовых значений размеров и силовых факторов, полученных в соответствии с исходными данными.

Решение должно сопровождаться краткими объяснениями и четкими схемами, на которых должны быть показаны все необходимые числовые величины.

При использовании формул необходимо: написать формулу в буквенном выражении, подставить числовые значения в системе СИ и привести окончательный результат с обязательным указанием размерности. Вычисления должны соответствовать точности, указываемой преподавателем. При решении можно использовать формулы для определения геометрических характеристик сечений в соответствии с приложением А.

## 1. РАСЧЕТ ПЛОСКОЙ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМОЙ РАМЫ

Для плоской рамы, изображенной на рис. 1.1, требуется:

1) построить эпюры изгибающих моментов, продольных и поперечных сил;

2) подобрать поперечное сечение рамы в виде прямоугольника с соотношением сторон  $h:b = 2:1$  ( $h$  – высота сечения,  $b$  – ширина сечения).

Принять допускаемое напряжение  $[\sigma] = 200$  МПа. Исходные данные для расчета следует взять из табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Исходные данные

№ строки	Длина, м			$P$ , кН	$M$ , кН·м	$q$ , кН/м
	$l_1$	$l_2$	$l_3$			
1	2,0	1,5	1,0	10	8	5
2	3,0	2,0	1,5	15	10	8
3	3,5	2,5	2,0	20	12	10
4	4,0	3,0	2,5	25	15	15
5	4,5	3,5	3,0	30	18	20
6	5,0	4,0	3,5	35	20	25
7	5,5	4,5	4,0	40	24	30
8	2,0	1,5	1,0	10	8	5
9	3,0	2,0	1,5	15	10	8
0	3,5	2,5	2,0	20	12	10
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>А</b>	<b>Б</b>

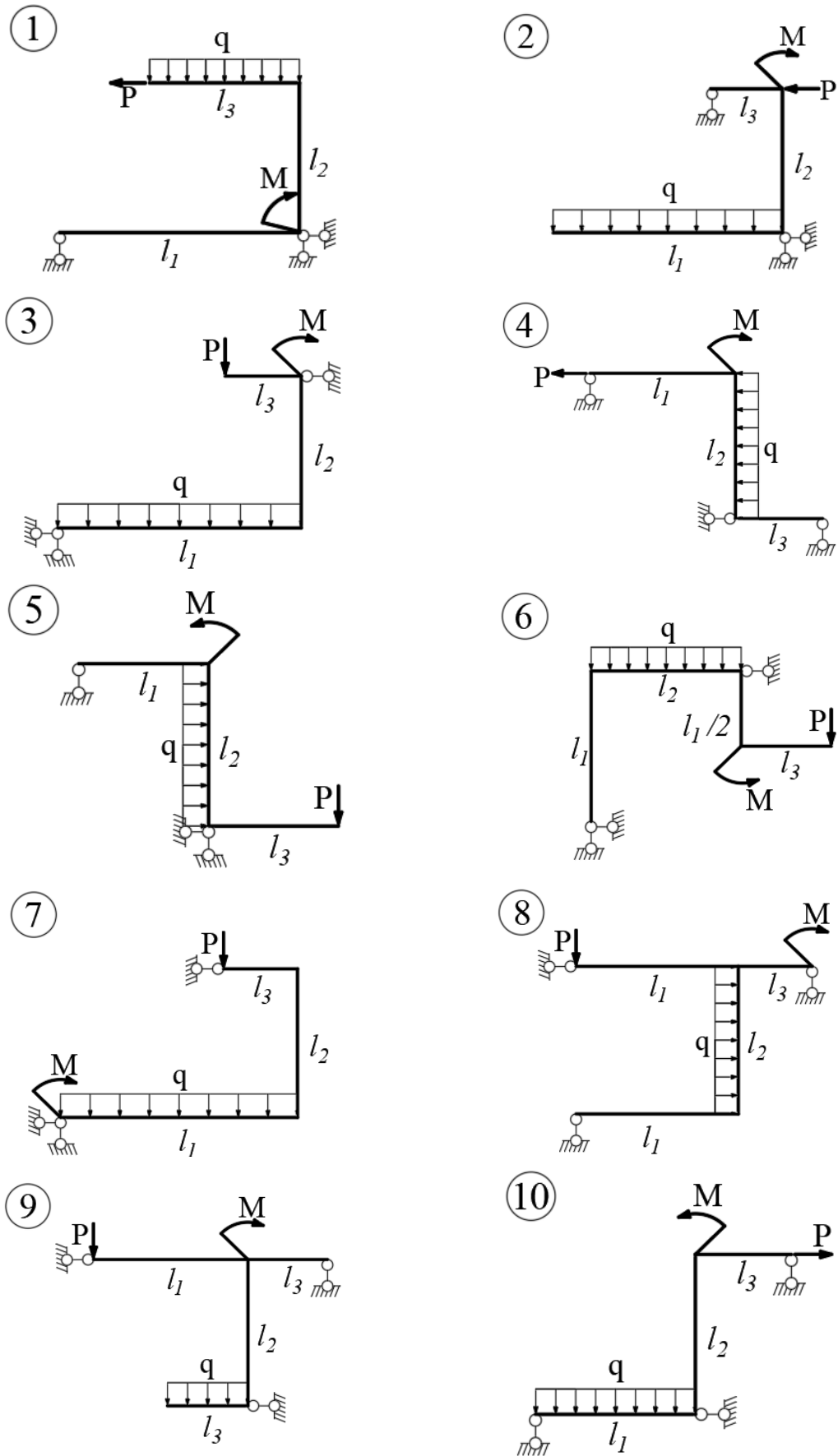


Рис. 1.1

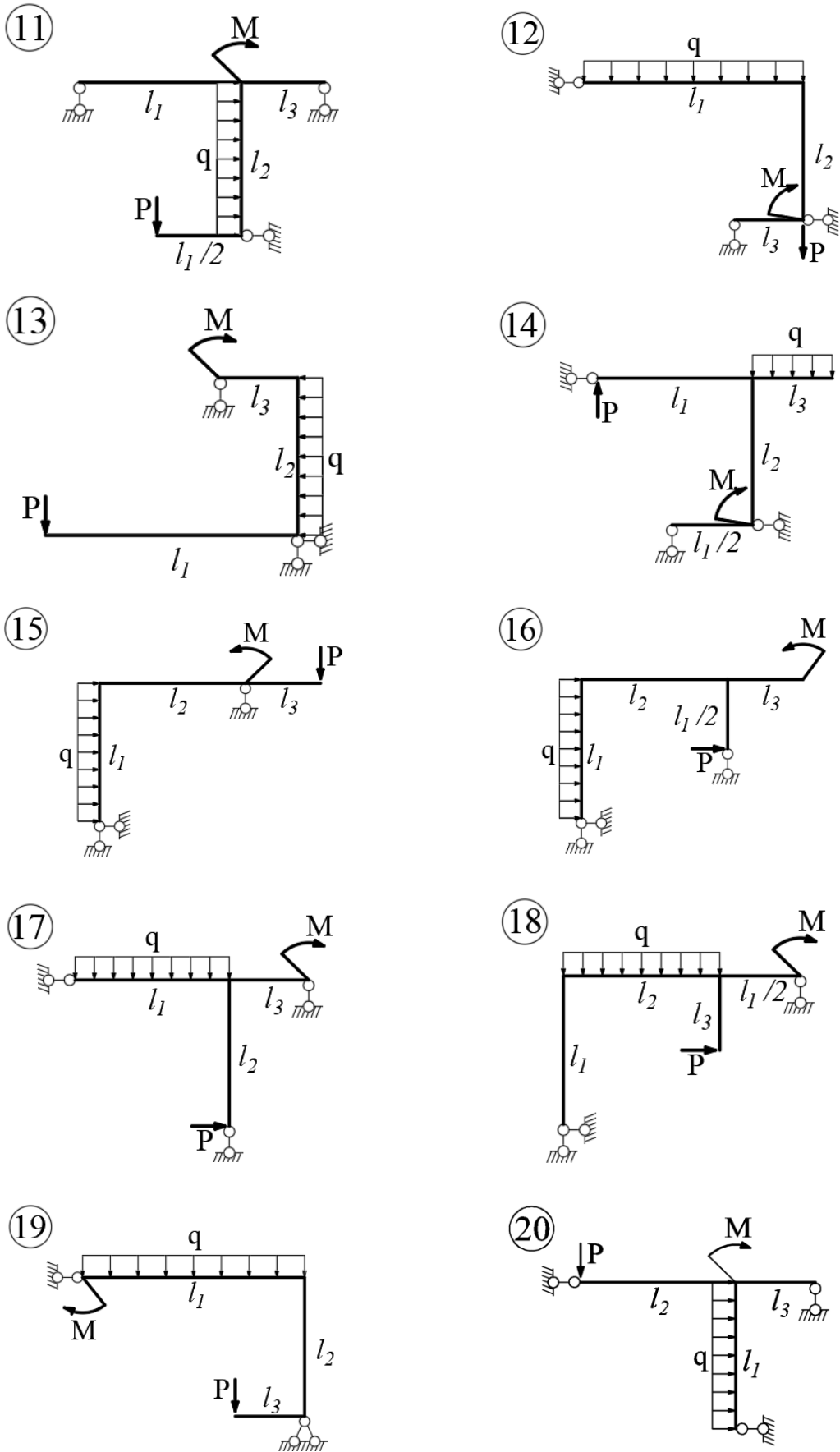


Рис. 1.1 (продолжение)

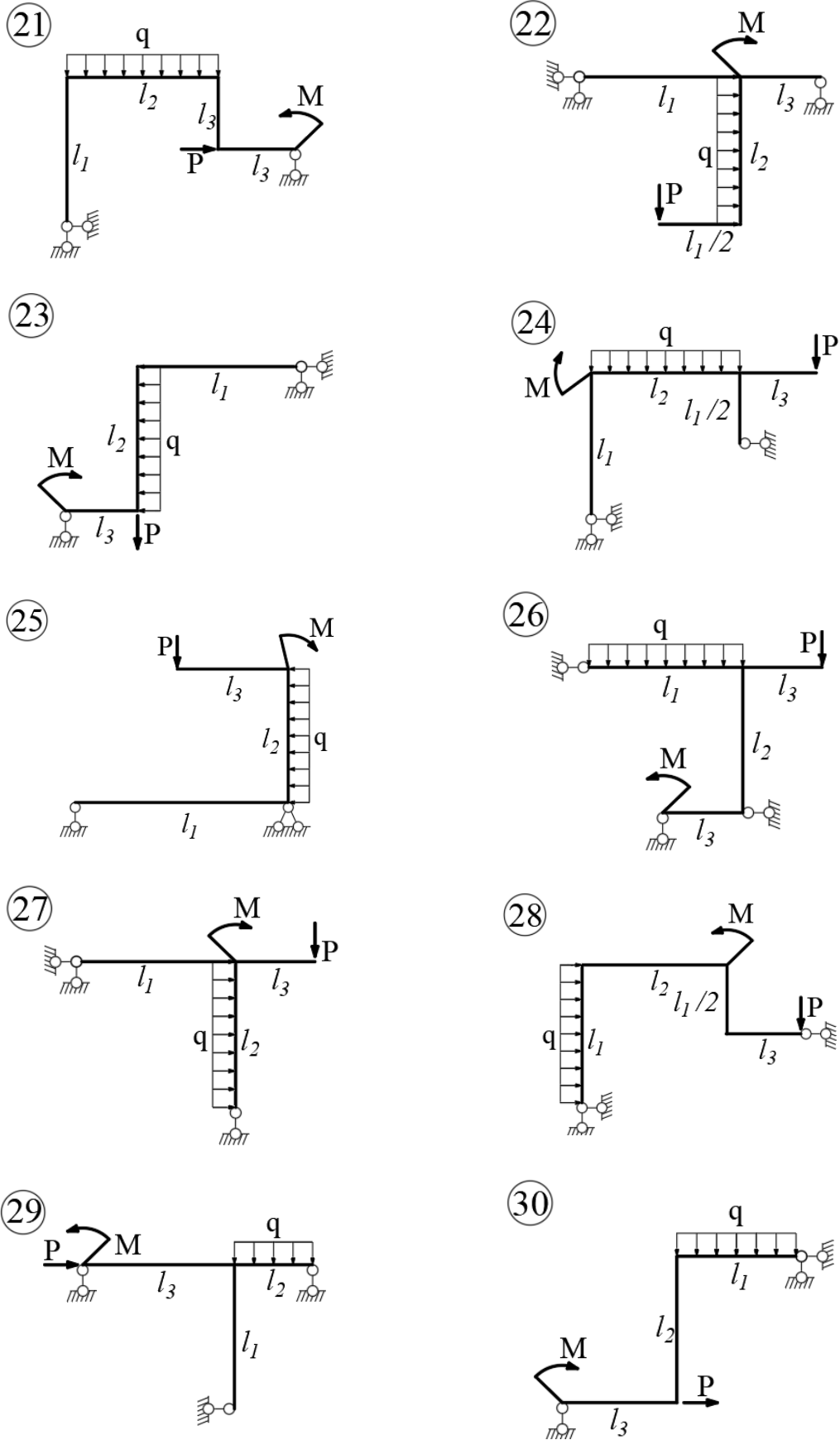


Рис. 1.1 (окончание)

## 2. КОСОЙ ИЗГИБ

Для консольного бруса (рис. 2.1) требуется:

- 1) определить максимальное нормальное напряжение;
- 2) из условия прочности определить характерный размер « $a$ » поперечного сечения бруса;
- 3) определить величину полного перемещения центра тяжести сечения «А», расположенного на свободном крае бруса.

Принять модуль упругости материала бруса  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа, допускаемое напряжение для материала бруса  $[\sigma] = 250$  МПа, интенсивность распределенной нагрузки  $q = 10 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$ , длина бруса  $L = 2$  м.

Ширину и длину одной клетки на рисунке 2.2 принять равными « $a$ ». Для определения геометрических характеристик сечения использовать приложение А.

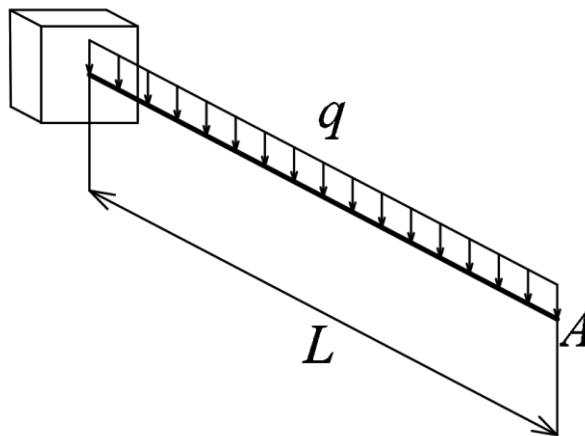


Рис. 2.1

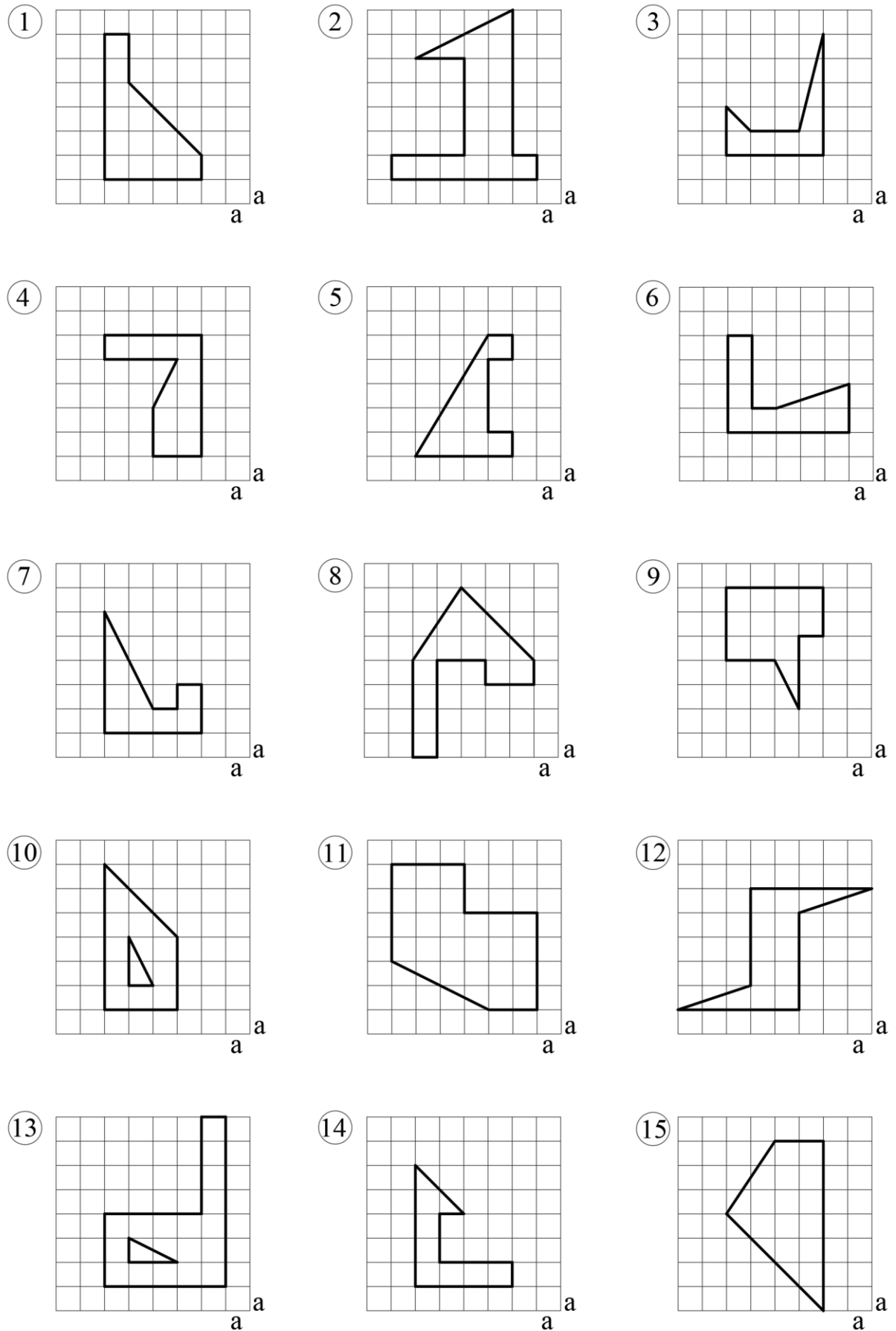


Рис. 2.2

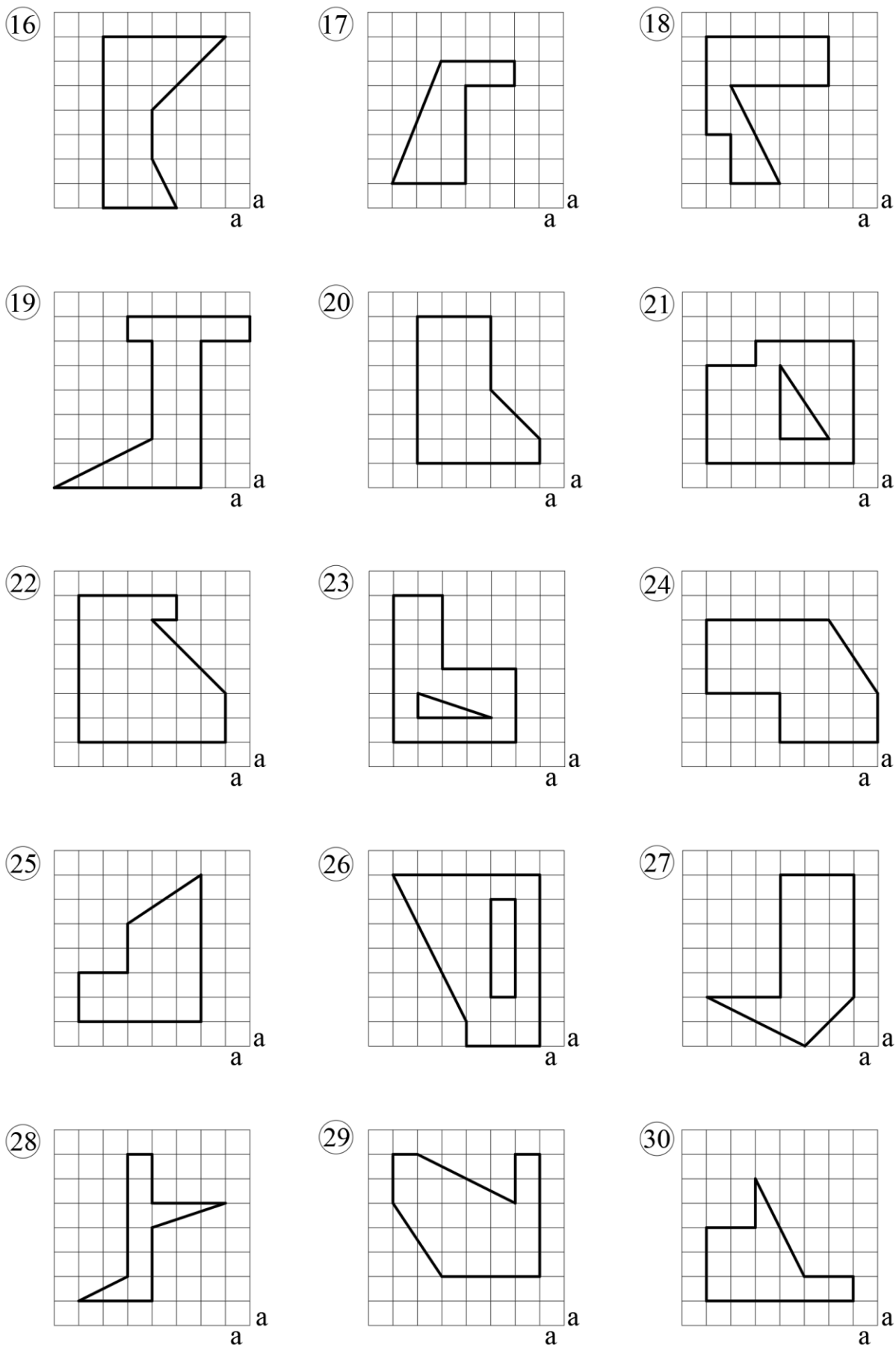


Рис. 2.2 (окончание)

### 3. ВНЕЦЕНТРЕННОЕ РАСТЯЖЕНИЕ-СЖАТИЕ

Колонна (рис. 3.1) заданного поперечного сечения (рис. 3.2) нагружена сжимающими силами  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$ . Требуется:

- 1) изобразить колонну с заданным поперечным сечением в аксонометрии;
- 2) определить наибольшее нормальное напряжение;
- 3) из условия прочности определить размер « $a$ » поперечного сечения, учитывая различное сопротивление материала колонны растяжению и сжатию;
- 4) определить положение нейтральной линии;
- 5) построить пространственную и плоскую эпюру напряжений для подошвы колонны;
- б) построить ядро сечения.

Исходные данные для расчета взять из таблицы 3.1. Размер одной клетки на рис. 3.2 принять равным « $a$ ».

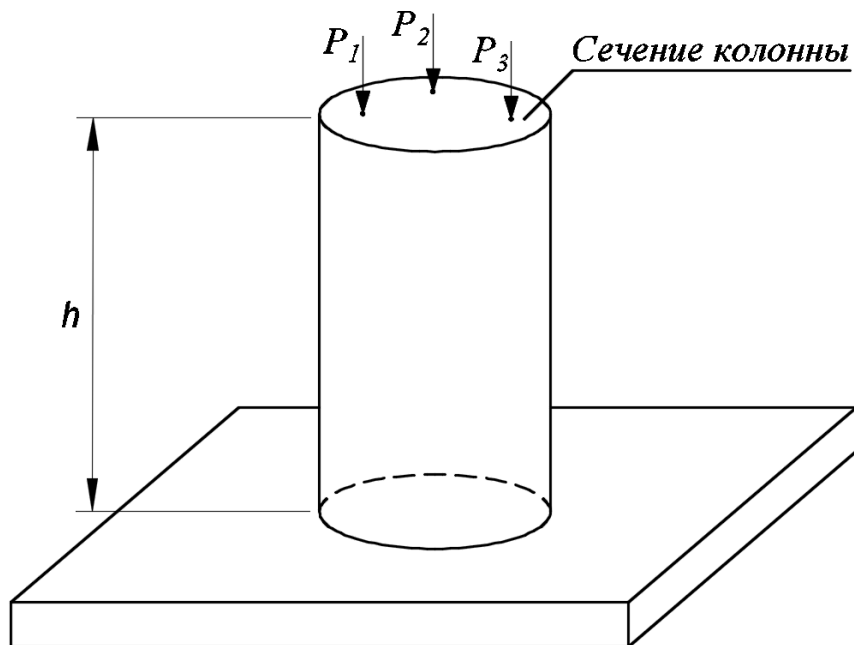


Рис. 3.1

Таблица 3.1.

## Исходные данные

№ строки	Высота $h$ , м	Объемный вес $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	Силы, кН			Допускаемое напряжение материала $[\sigma]$ , МПа	
			$P_1$	$P_2$	$P_3$	при сжатии	при растяжении
1	8,0	1,40	20	65	55	100	25
2	7,6	1,90	25	70	50	110	30
3	6,5	1,20	30	75	45	120	40
4	8,2	1,50	35	20	40	90	20
5	7,8	1,60	40	25	75	80	20
6	7,0	1,70	45	30	70	130	45
7	7,2	1,25	50	35	65	140	50
8	8,5	1,55	55	40	60	100	30
9	7,4	0,80	60	45	35	90	25
0	6,8	0,90	65	50	30	120	35
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>

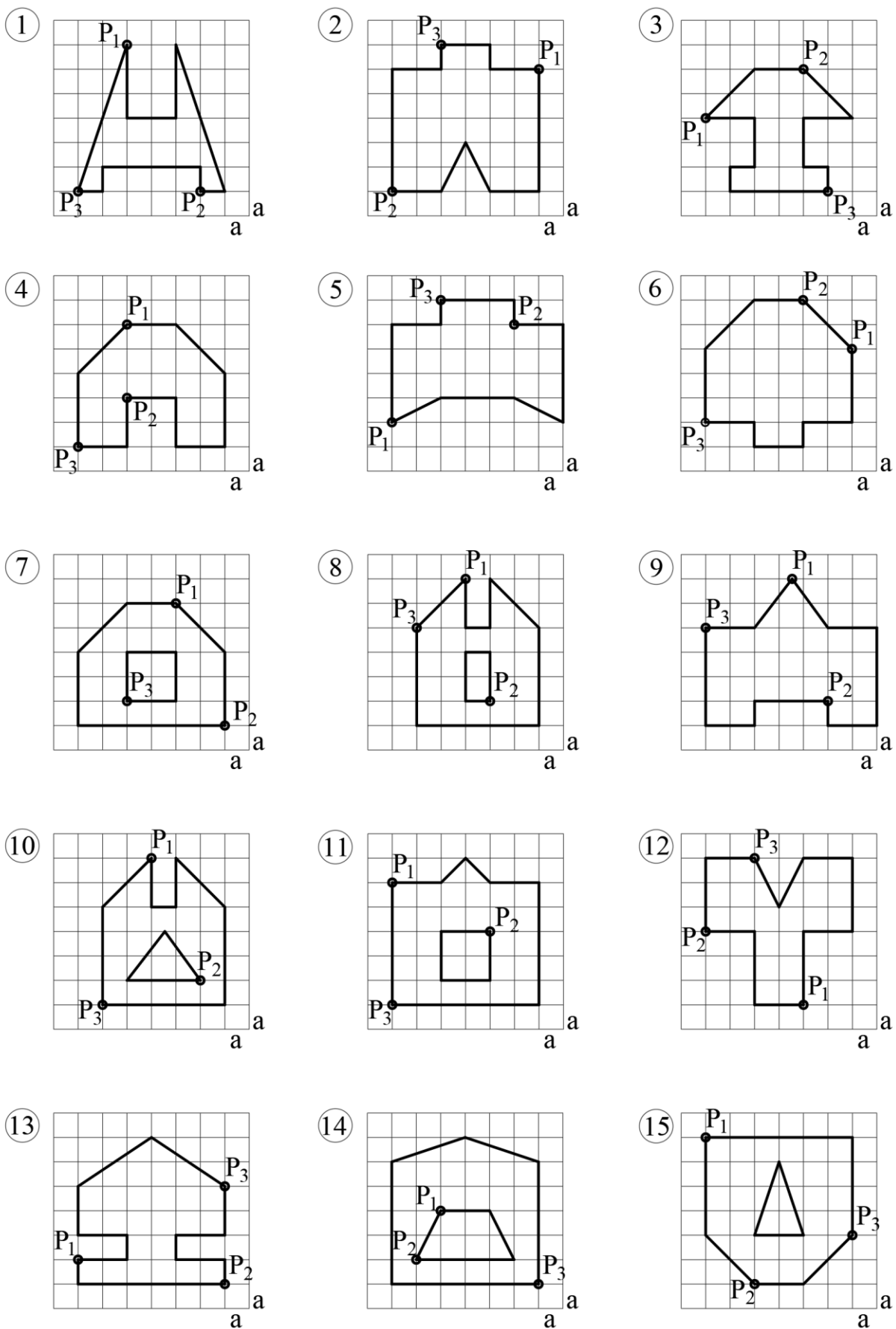


Рис. 3.2

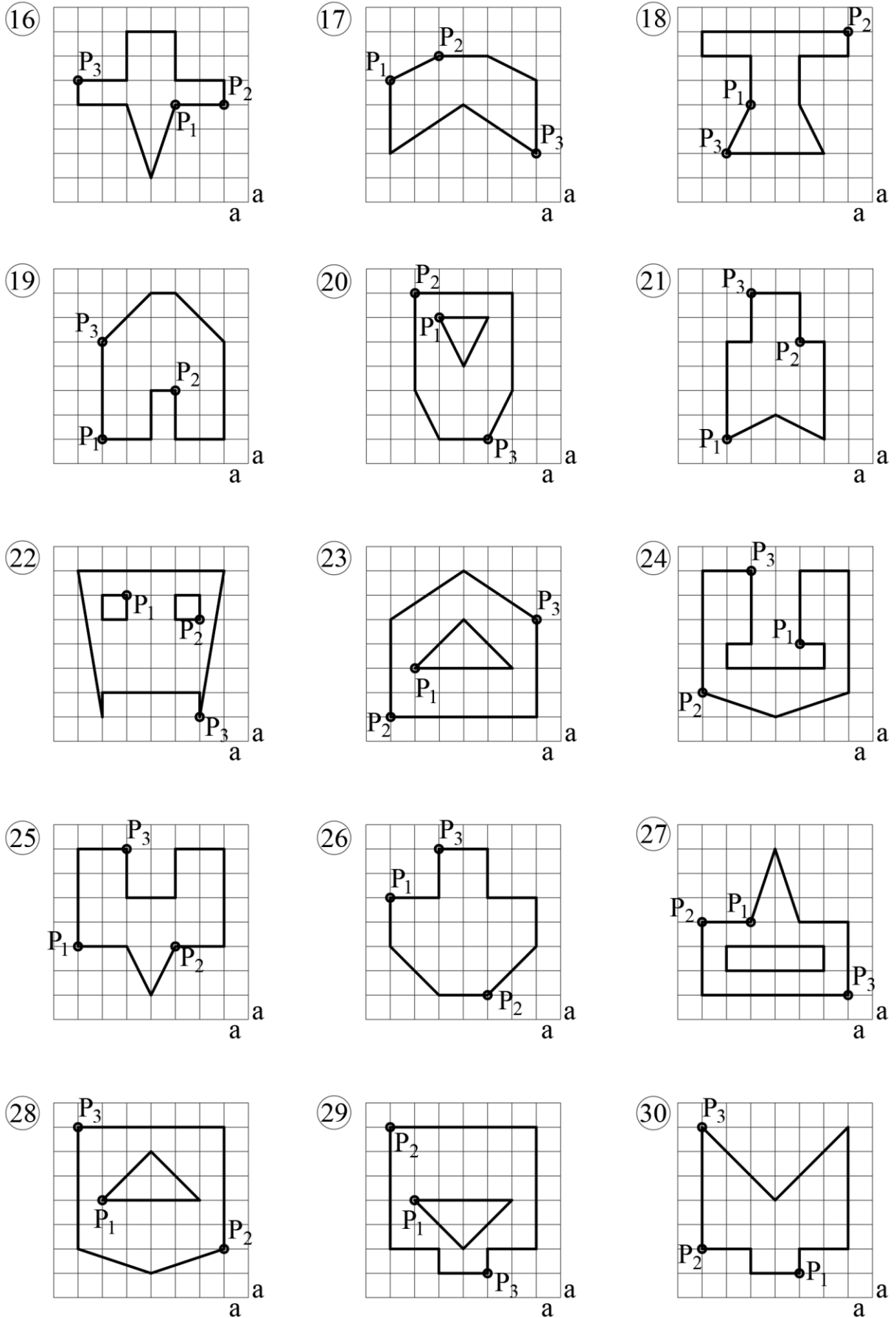


Рис. 3.2 (окончание)

#### 4. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО И ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ТОЧКЕ ТЕЛА

В окрестности произвольной точки тела выделен бесконечно малый параллелепипед, на гранях которого действуют напряжения (рис. 4.1). Требуется:

- 1) определить инварианты тензора напряжений;
- 2) определить главные напряжения;
- 3) определить линейные и угловые деформации по формулам обобщенного закона Гука;
- 4) определить полную удельную потенциальную энергию деформации и удельную потенциальную энергию формоизменения;
- 5) проверить правильность выполнения условия прочности.

При расчетах принять: модуль упругости первого рода  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,3$ , допускаемое напряжение  $[\sigma] = 200$  МПа.

Исходные данные для расчета взять из таблицы 4.1.

Таблица 4.1.

Исходные данные

№ строки	Нормальные напряжения, МПа			Касательные напряжения, МПа		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\tau_{xy}$	$\tau_{yz}$	$\tau_{xz}$
1	-20	20	20	-50	50	50
2	30	-20	40	30	-50	40
3	40	30	-30	20	40	-30
4	-50	30	50	-30	40	20
5	20	-40	20	50	-30	50
6	30	40	-40	30	30	-40
7	-40	50	30	-20	20	30
8	50	-50	50	40	-20	20
9	20	20	-20	50	50	-50
0	-30	20	40	-30	50	40
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>А</b>	<b>Б</b>

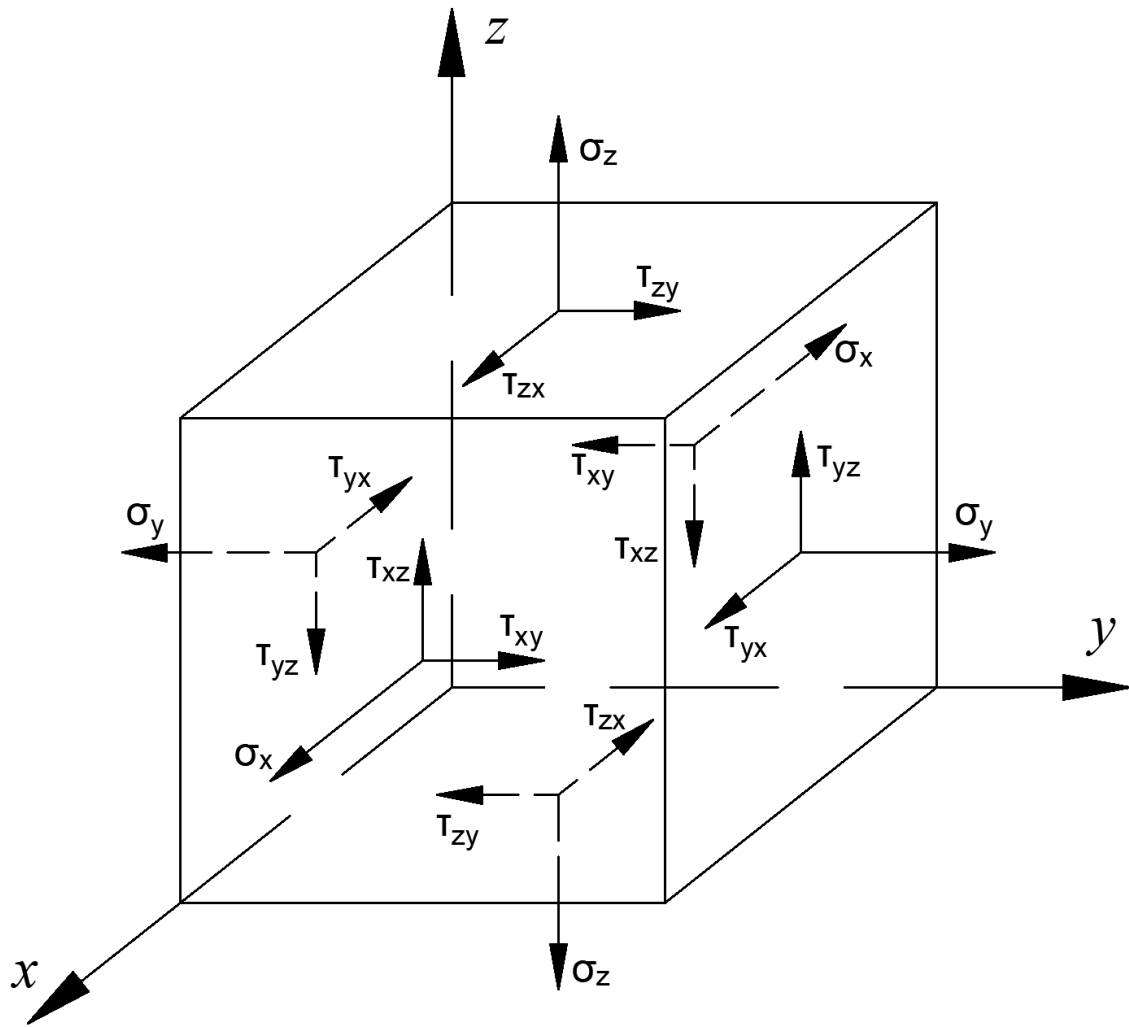


Рис. 4.1

## 5. РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОГО БРУСА

Для ломаного бруса (рис. 5.3) с заданными линейными размерами (рис. 5.1) требуется:

1) построить эпюры внутренних силовых факторов (продольных и поперечных сил, изгибающих и крутящих моментов);

2) для наиболее опасного сечения пространственного бруса подобрать размеры поперечного сечения трех типов (рис. 5.2). Для трубчатого сечения принять  $d:D = 0,8$ ; для прямоугольного сечения принять  $h:b = 2:1$  ( $h$  – высота сечения,  $b$  – ширина сечения); для коробчатого сечения принять  $h=20d$ ,  $b=10d$ .

Исходные данные для расчета взять из табл. 5.1. Допускаемое напряжение  $[\sigma] = 350$  МПа.

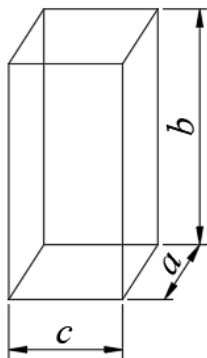


Рис. 5.1

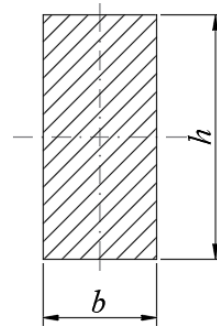
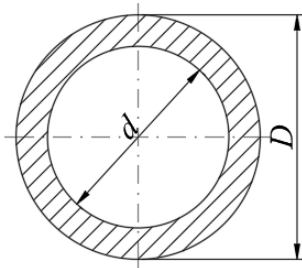


Рис. 5.2

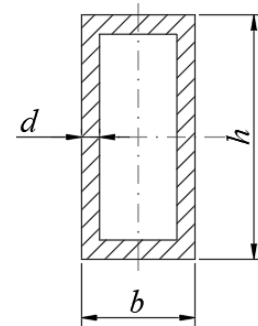


Таблица 5.1.

Исходные данные

№ строки	Нагрузки, кН			Размеры, м		
	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$a$	$b$	$c$
1	2	3	4	0,4	0,6	0,8
2	3	4	5	0,5	0,8	1,0
3	4	5	6	0,6	1,0	0,4
4	5	6	2	0,8	0,4	0,5
5	6	2	3	1,0	0,5	0,6
6	4	3	6	0,5	0,6	0,8
7	6	2	3	0,6	0,8	1,0
8	2	5	6	0,4	1,0	0,8
9	5	4	3	0,8	1,0	0,4
0	2	6	4	1,0	0,8	0,6
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>А</b>	<b>Б</b>

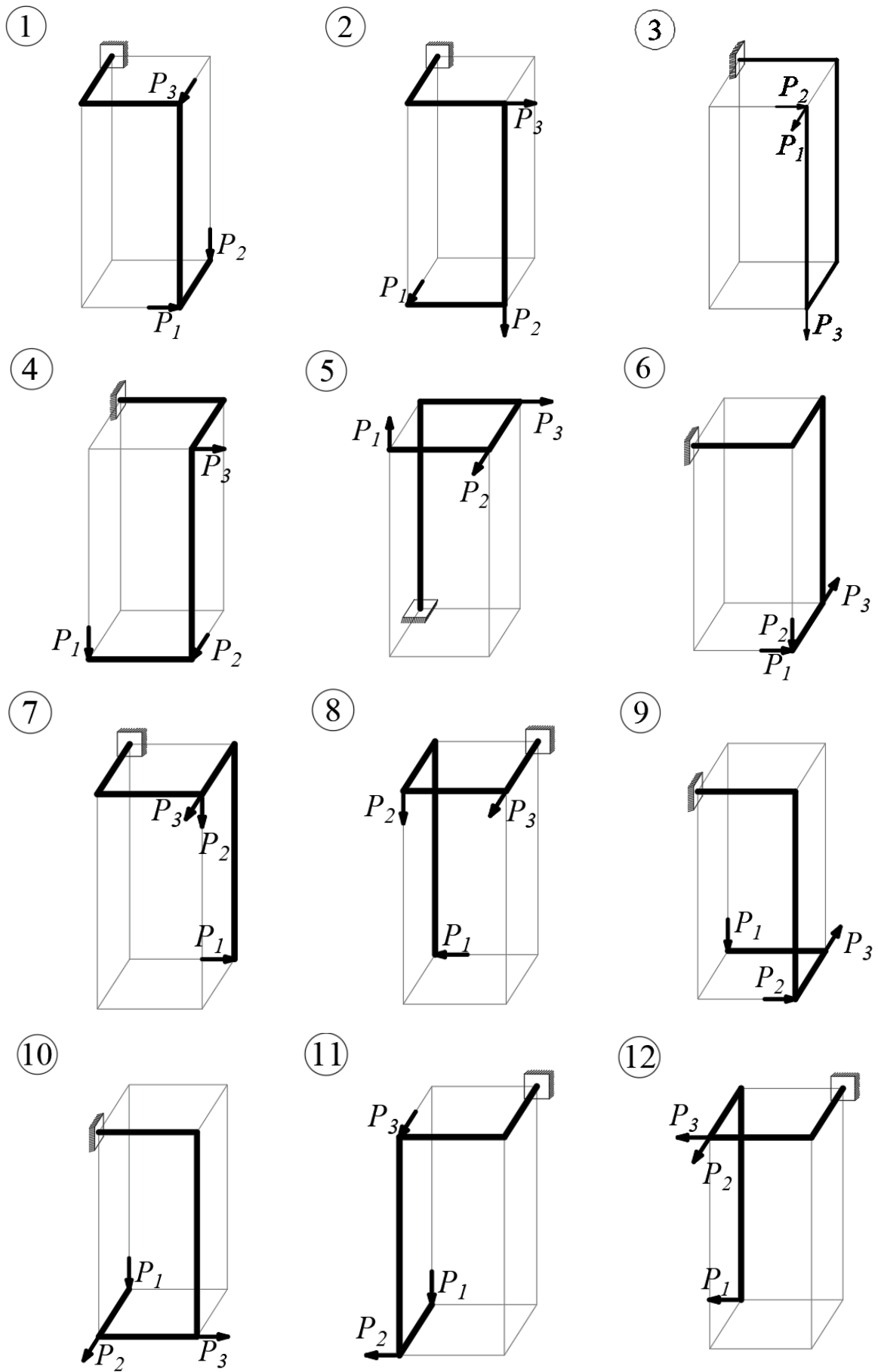


Рис. 5.3

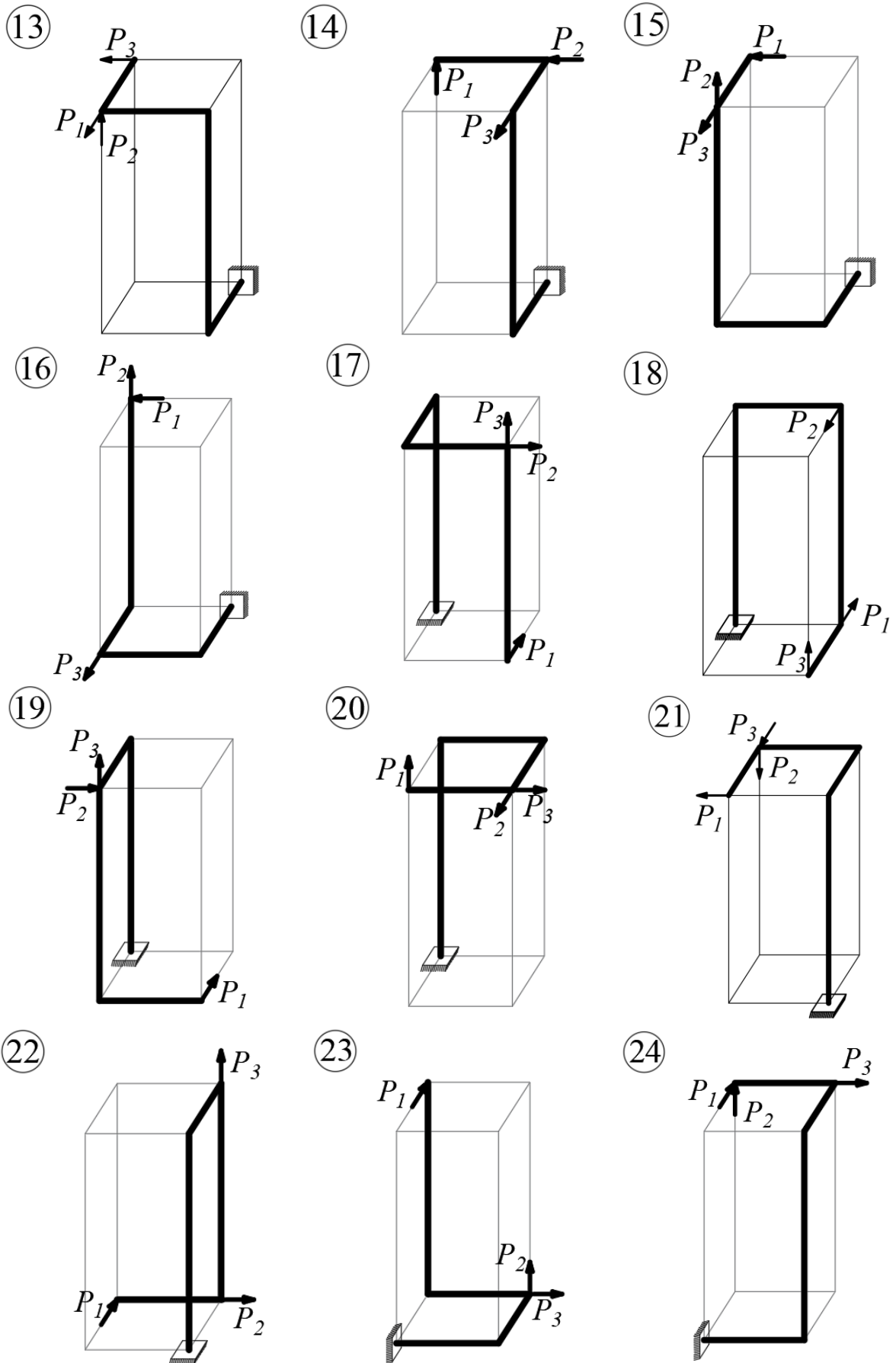


Рис. 5.3 (продолжение)

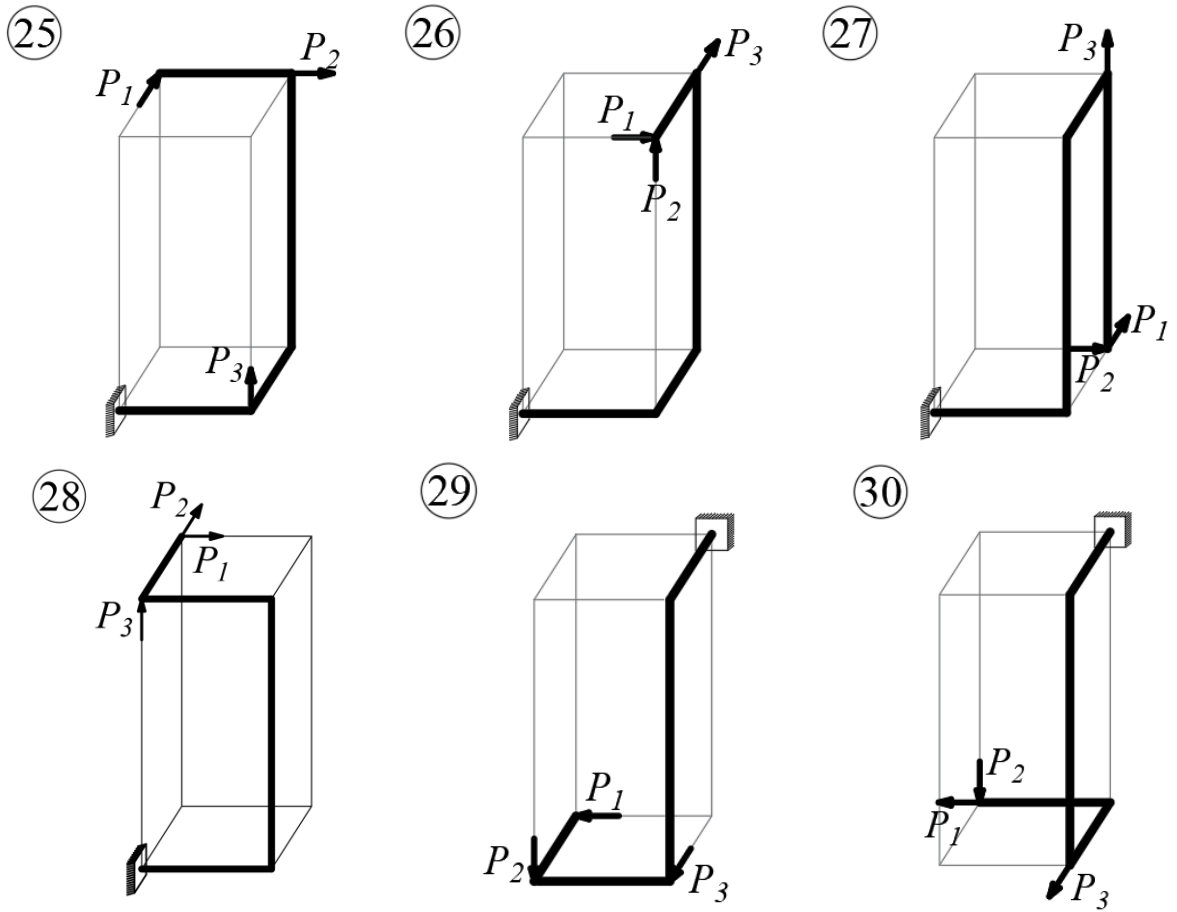


Рис. 5.3 (окончание)

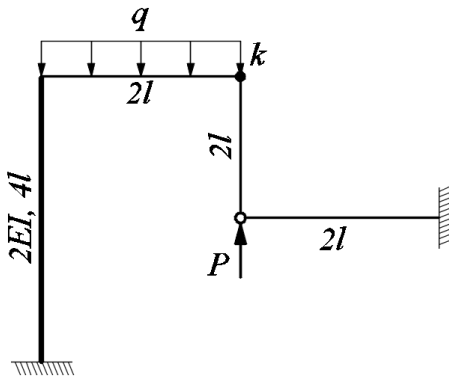
## 6. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ ПЛОСКОЙ РАМЫ

Для заданной статически неопределимой плоской рамы (рис. 6.1) требуется:

- 1) определить степень статической неопределимости;
- 2) используя метод сил, построить эпюры продольных сил, поперечных сил и изгибающих моментов;
- 3) произвести кинематическую проверку;
- 4) в соответствии с вариантом задания определить линейное перемещение  $\Delta$  или угол поворота  $\theta$  для указанной на расчетной схеме точки.

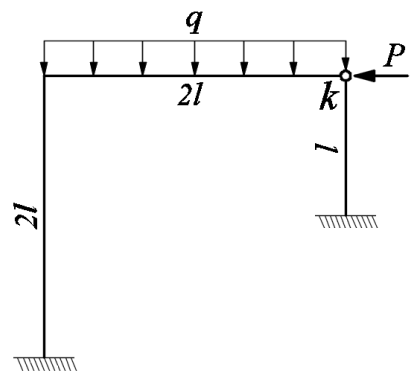
Расчеты проводить в общем виде в долях  $q$ ,  $l$ ,  $E$ ,  $I$ . Принять  $P = ql$ ,  $M = ql^2$ . Если на рисунке не указано иное, принять жесткость поперечного сечения на изгиб равной  $EI$ .

1



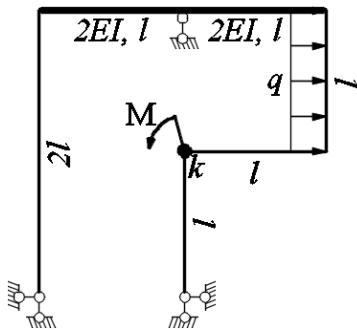
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

2



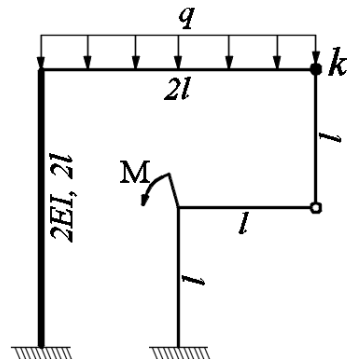
$$\Delta_k^{гор} = ?$$

3



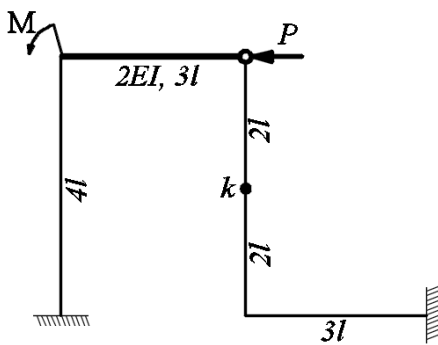
$$\theta_k = ?$$

4



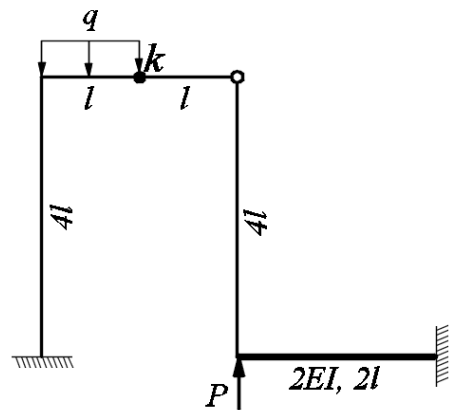
$$\Delta_k^{гор} = ?$$

5



$$\Delta_k^{гор} = ?$$

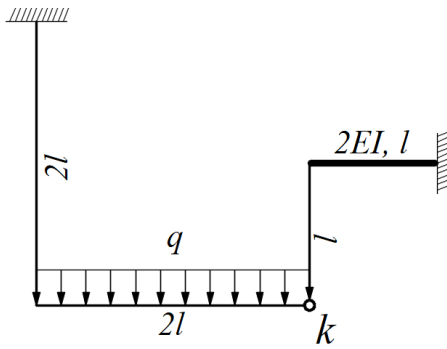
6



$$\Delta_k^{верт} = ?$$

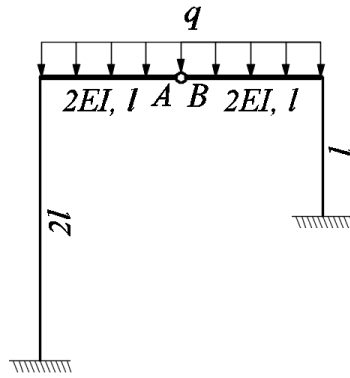
Рис. 6.1

7



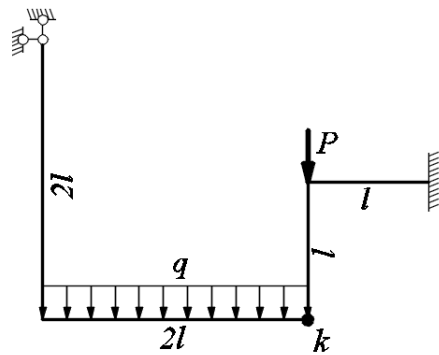
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

8



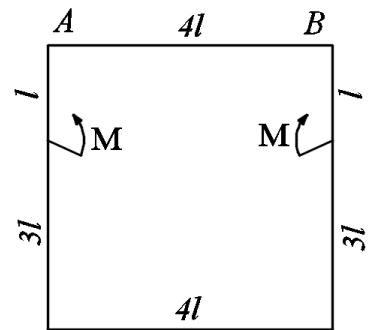
$$\theta_{AB} = ?$$

9



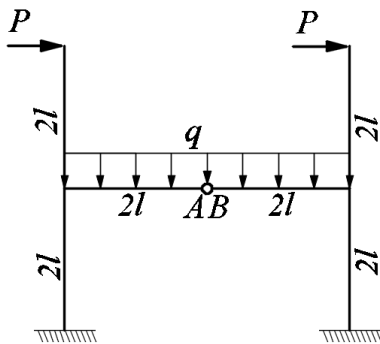
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

10



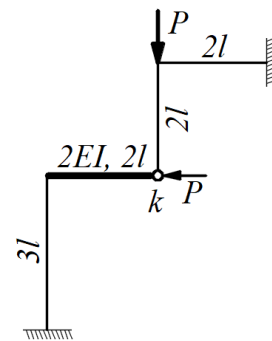
$$\theta_{AB} = ?$$

11



$$\theta_{AB} = ?$$

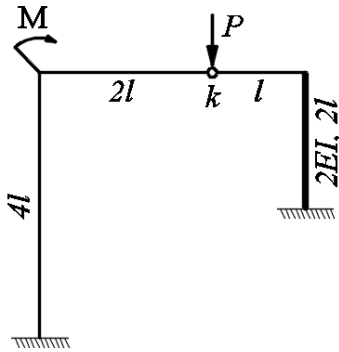
12



$$\Delta_k^{гор} = ?$$

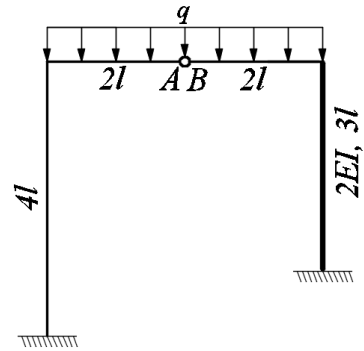
Рис. 6.1 (продолжение)

13



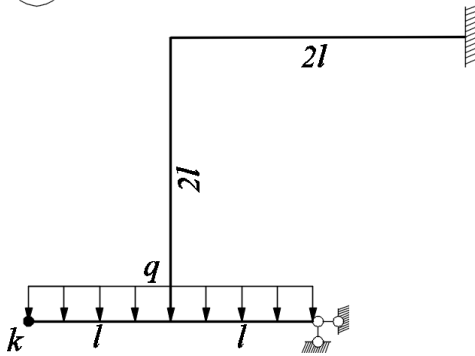
$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

14



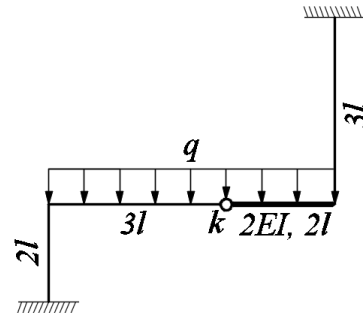
$$\theta_{AB} = ?$$

15



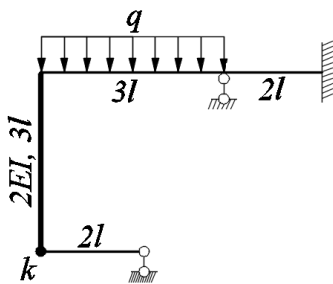
$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

16



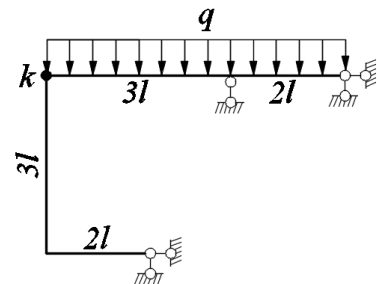
$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

17



$$\Delta_k^{\text{полн}} = ?$$

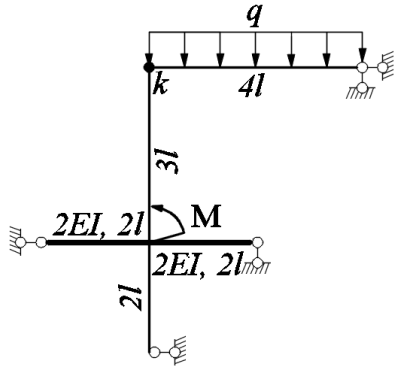
18



$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

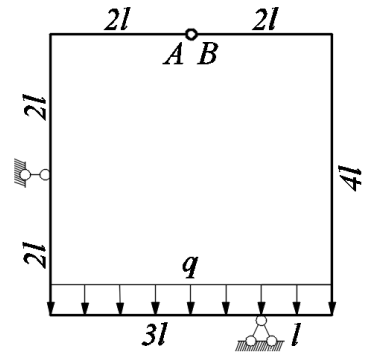
Рис. 6.1 (продолжение)

19



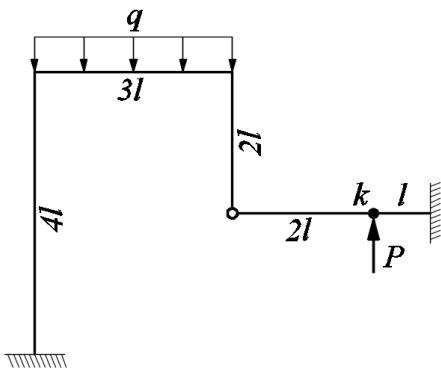
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

20



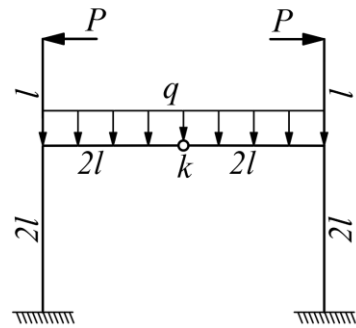
$$\theta_{AB} = ?$$

21



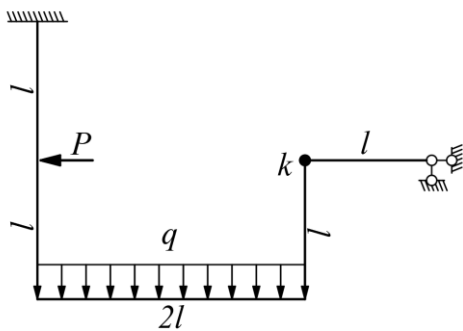
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

22



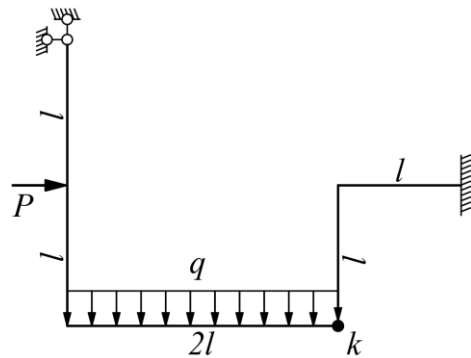
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

23



$$\Delta_k^{верт} = ?$$

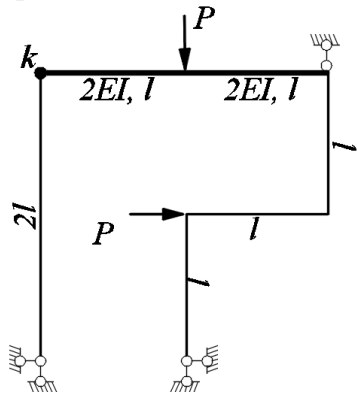
24



$$\Delta_k^{гор} = ?$$

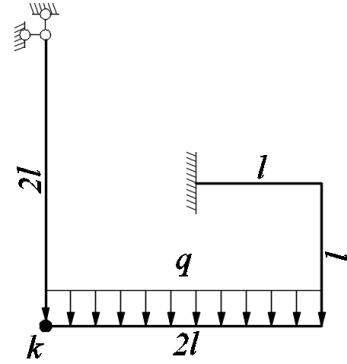
Рис. 6.1 (продолжение)

25



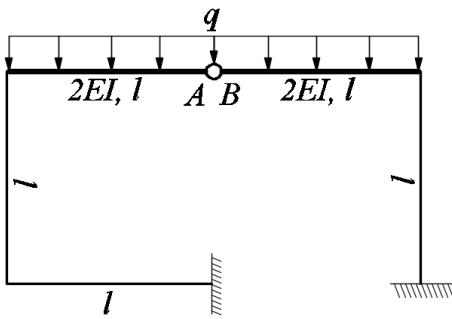
$$\Delta_k^{zop} = ?$$

26



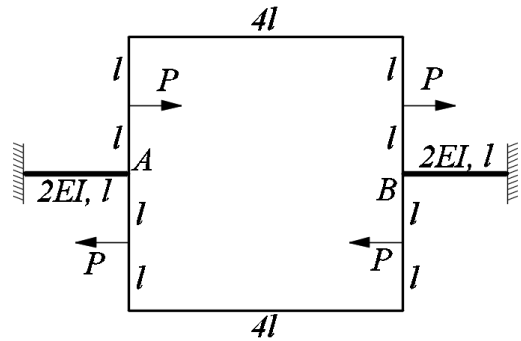
$$\Delta_k^{zop} = ?$$

27



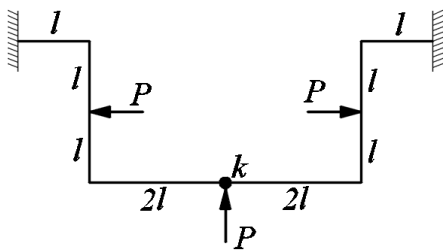
$$\theta_{AB} = ?$$

28



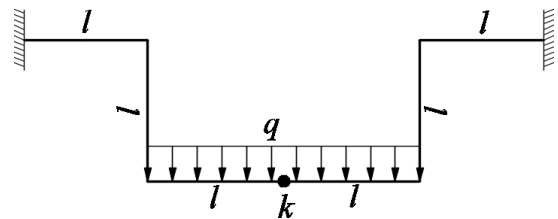
$$\theta_{AB} = ?$$

29



$$\Delta_k^{верт} = ?$$

30



$$\Delta_k^{верт} = ?$$

Рис. 6.1 (окончание)

## 7. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ МНОГООПОРНОЙ БАЛКИ

Для заданной статически неопределимой многоопорной балки (рис. 7.1) построить эпюры поперечной силы и изгибающего момента. При раскрытии статической неопределимости использовать метод сил, а для выбора основной системы использовать метод врезания шарниров над опорами или в заделке.

Принять: длина  $l_i = k_i \cdot l$ , сосредоточенная сила  $P = a \cdot ql$ , сосредоточенный момент  $M = b \cdot ql^2$ .

Расчеты проводить в общем виде в долях  $q, l, E, I$ . Если на рисунке не указано иное, принять жесткость поперечного сечения на изгиб равной  $EI$ .

Исходные данные для расчета взять из таблицы 7.1.

Таблица 7.1.

Исходные данные

Номер строки	$a$	$b$	$q$ , кН/м	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	Коэффициент запаса теку- чести $n_T$
0	1,5	3,0	10	1,2	2	3,1	3,0	1,3
1	2,0	3,2	15	1,4	2,2	3,2	3,5	1,4
2	2,5	3,4	20	1,6	2,4	3,3	4,0	1,5
3	3,0	3,6	25	1,8	2,6	3,4	4,5	1,6
4	3,5	3,8	30	2,0	2,8	3,5	5,0	1,7
5	4,0	4,0	35	2,2	3,0	3,6	5,5	1,8
6	4,5	4,2	40	2,4	3,2	3,7	6,0	1,9
7	5,0	4,4	45	2,6	3,4	3,8	6,5	2,0
8	5,5	4,6	50	2,8	3,6	3,9	7,0	2,1
9	6,0	4,8	55	3,0	3,8	4,0	7,5	2,2
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>

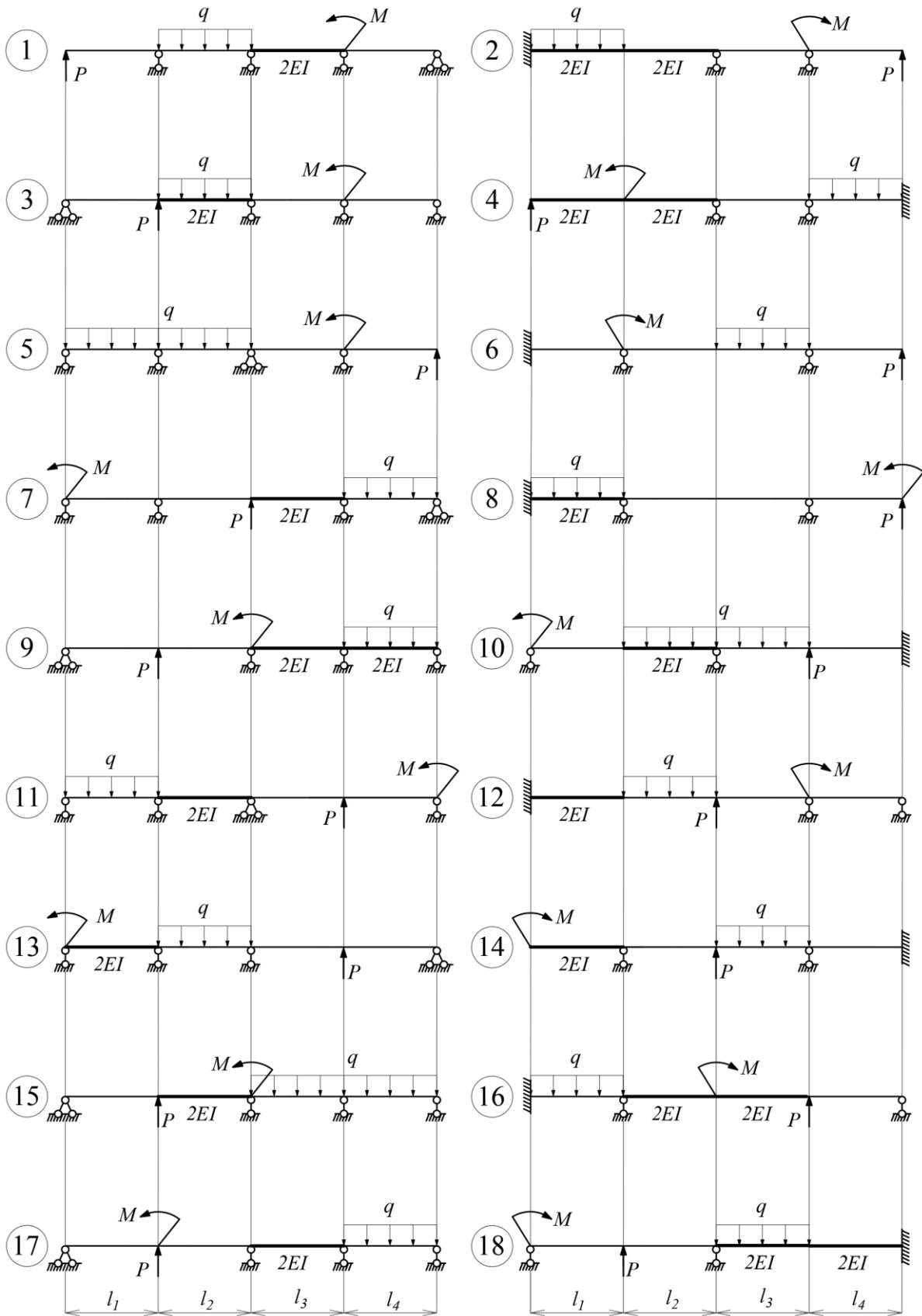


Рис. 7.1 (продолжение)

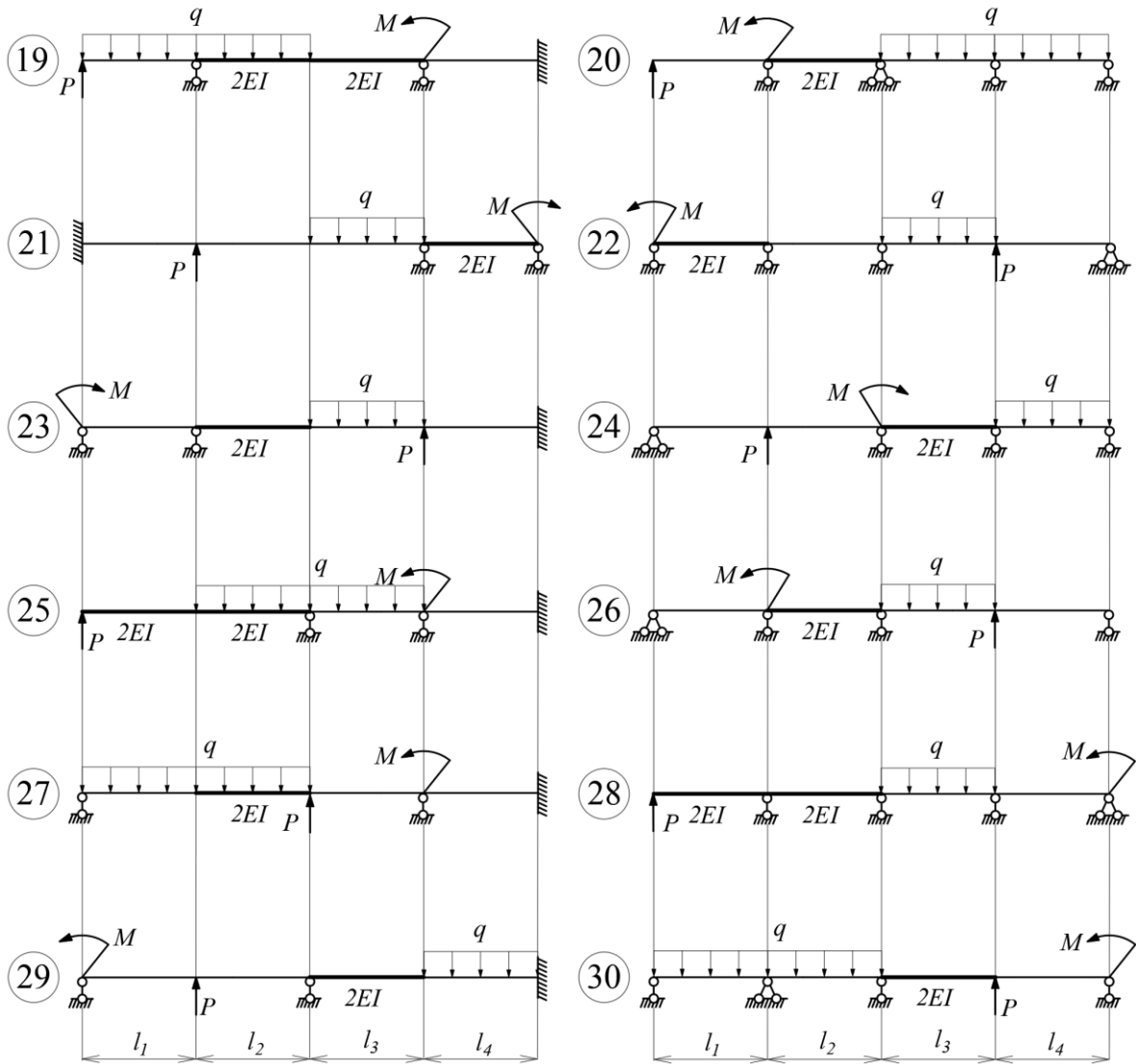


Рис. 7.1 (окончание)

## 8. РАСЧЕТ ПЛОСКО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ РАМЫ

Для заданной плоско-пространственной статически неопределимой рамы (рис. 8.1) построить эпюры изгибающего и крутящего моментов.

Принять коэффициент Пуассона равным  $\mu=1/3$ , поперечное сечение имеет форму круга диаметром  $d$ , сосредоточенная сила  $P = ql$ , сосредоточенный момент  $M = ql^2$ .

Расчеты проводить в общем виде в долях  $q, l, E, d$ .

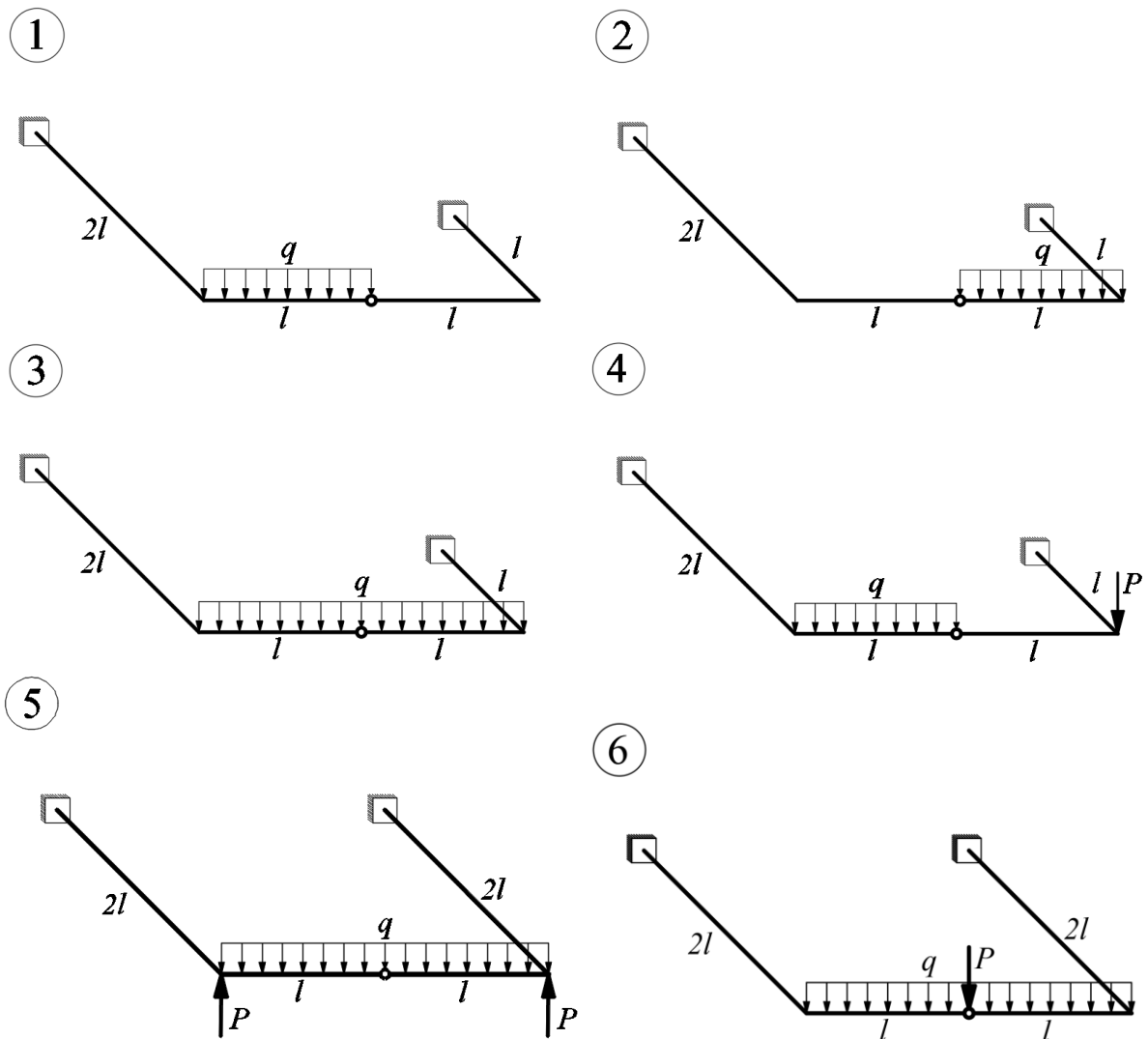
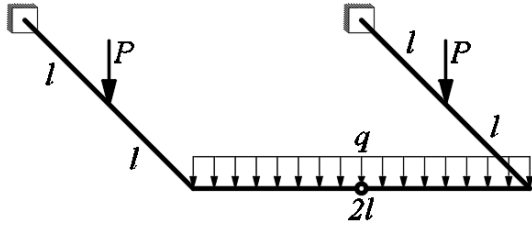
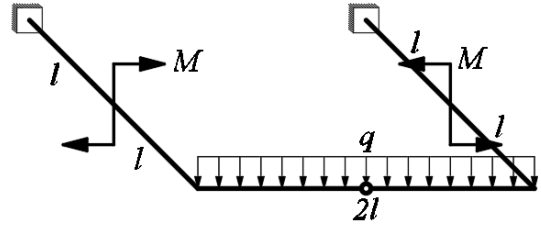


Рис. 8.1

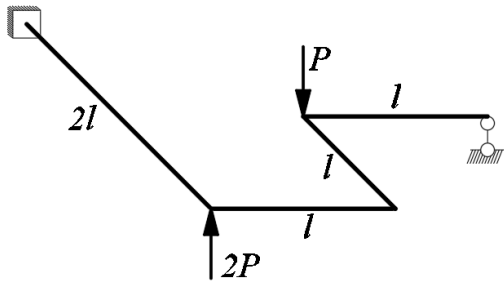
7



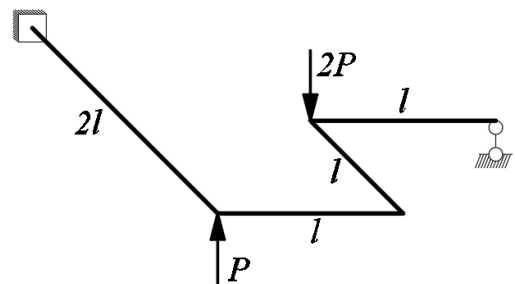
8



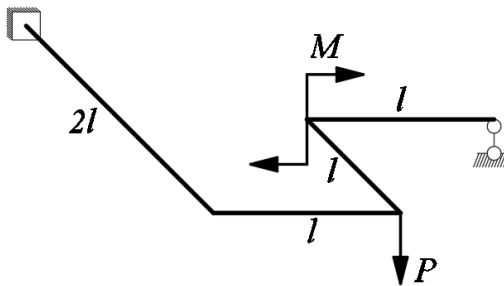
9



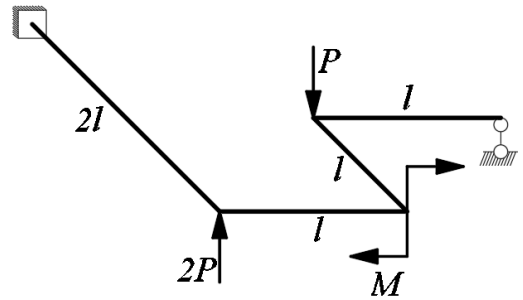
10



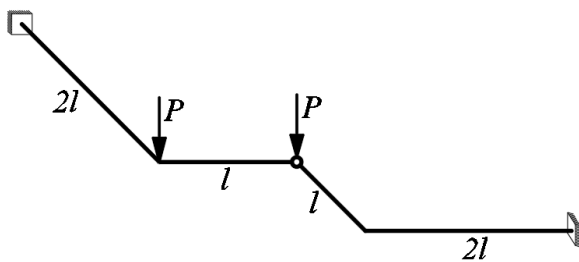
11



12



13



14

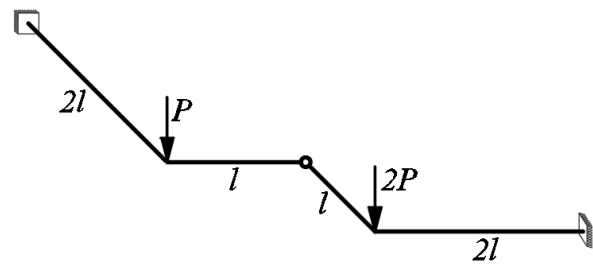
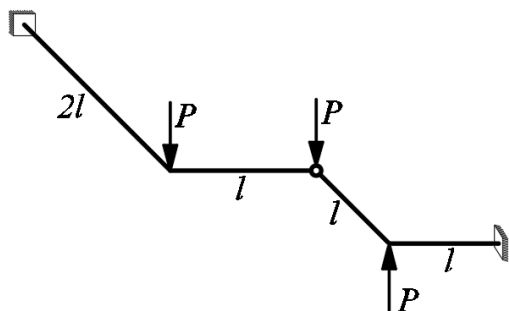
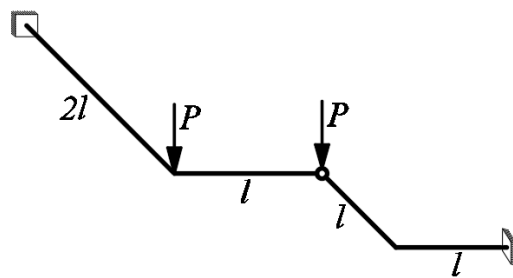


Рис. 8.1 (продолжение)

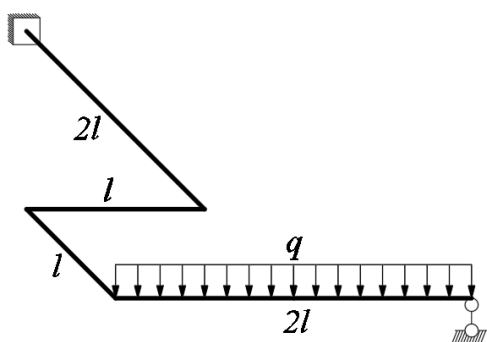
15



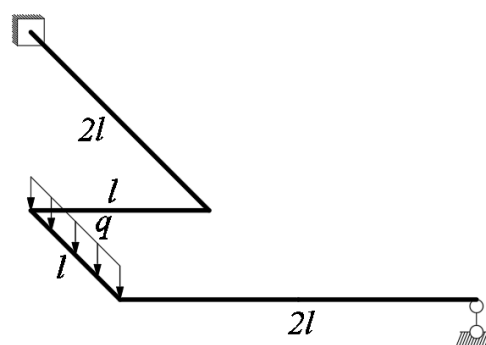
16



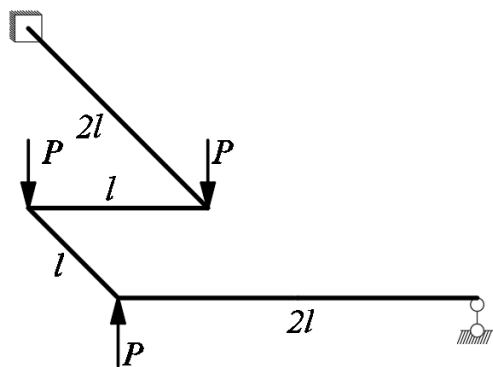
17



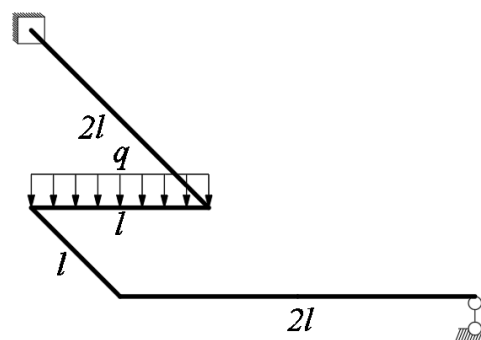
18



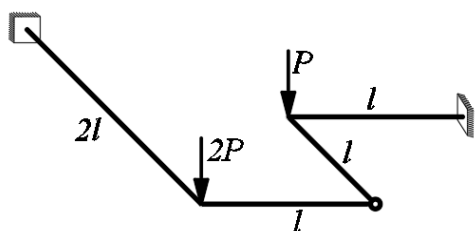
19



20



21



22

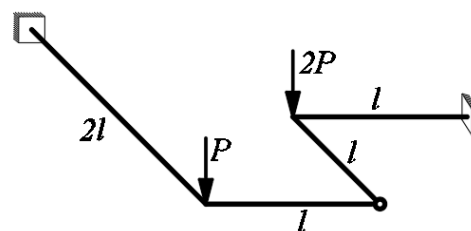
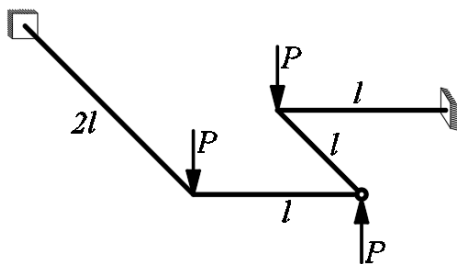
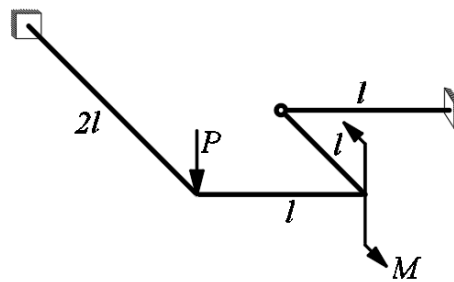


Рис. 8.1 (продолжение)

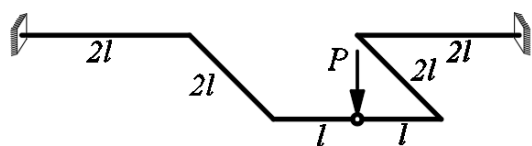
23



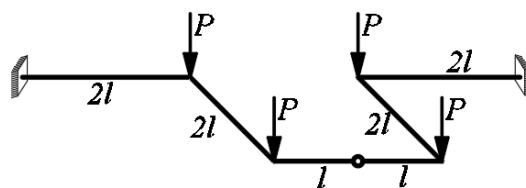
24



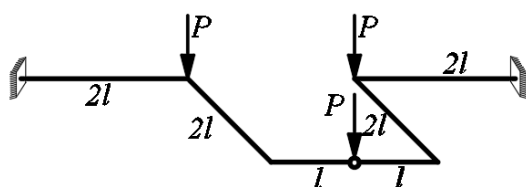
25



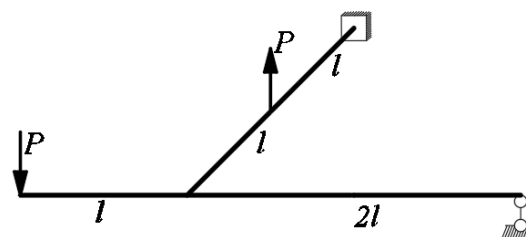
26



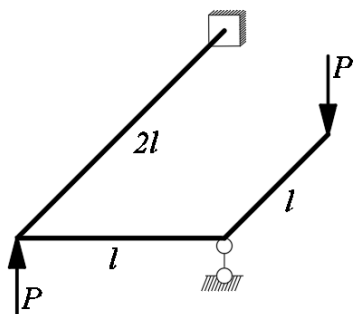
27



28



29



30

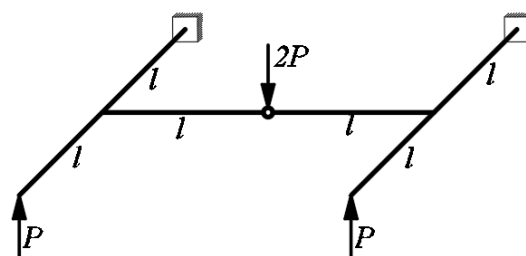


Рис. 8.1 (окончание)

## 9. ПРОДОЛЬНЫЙ ИЗГИБ

Для сжатого прямолинейного стержня (рис. 9.2) требуется:

1) подобрать прямоугольное поперечное сечение с соотношением сторон  $h:b = 2:1$  (рис. 9.1а);

2) подобрать двутавровое поперечное сечение согласно ГОСТ Р 57837-2017 (рис. 9.1б).

Подбор размеров поперечного сечения производить с применением коэффициента снижения допускаемого напряжения. Исходные данные для расчета следует взять из таблицы 8.1. Справочные данные, необходимые для решения, приведены в приложениях Г-Е.

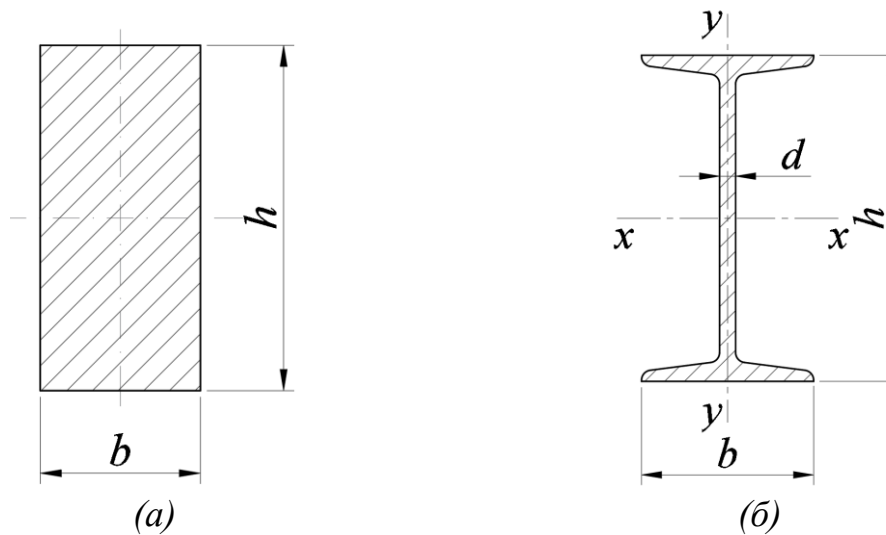


Рис. 9.1

Таблица 9.1.

Исходные данные

№ строки	№ схемы	$l$ , м	$P$ , кН	Материал стойки	Допускаемое напряжение $[\sigma]$ , МПа
1	2	2	450	Сталь Ст. 2	170
2	3	2,5	400	Сталь Ст. 3	185
3	5	3	350	Сталь Ст. 4	210
4	4	3,5	300	Сталь Ст. 5	225
5	1	4	250	Дюралюминий Д16Т	160
6	6	4,5	200	Чугун Сч 12-28	113
7	8	5	450	Чугун Сч 21-40	200
8	7	2	400	Чугун Сч 24-44	235
9	9	2,5	350	Сосна	15
0	10	3	300	Ель	15
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	

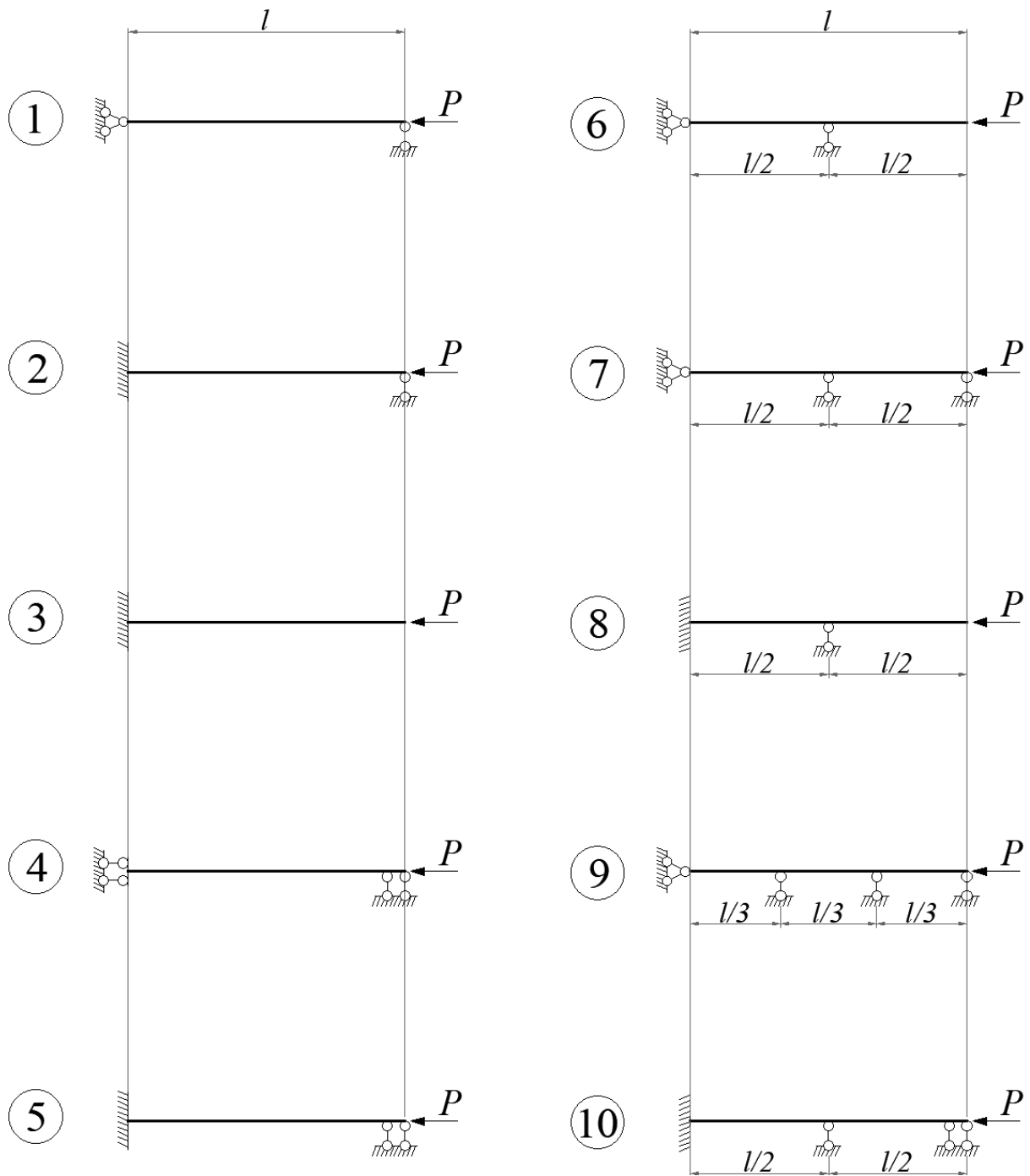


Рис. 9.2

## 10. ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ

Для балки, изображенной на рис. 10.1, требуется определить максимальное нормальное напряжение и максимальный прогиб. Поперечное сечение балки изображено на рис. 10.2, схема нагружения на рис. 10.3.

Данные для расчета взять из таблицы 10.1. В расчетах принять модуль упругости первого рода  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа. Расчет на продольно-поперечный изгиб ведется в предположении, что продольный изгиб из плоскости действия нагрузок невозможен. Максимальный прогиб вычислять по приближенным формулам продольно-поперечного изгиба.

Таблица 10.1.

Исходные данные

№ строки	№ схемы нагружения	Сечение балки	Длина, м		$M$ , кН·м	$P$ , кН	$q$ , кН/м	$k$
			$l_1$	$l_2$				
1	1	Тип 1 ( $h = 20$ см)	1,0	1,1	8	50	5	0,10
2	2	Тип 2 (Двутавр №25Б1)	1,1	1,2	10	55	8	0,15
3	3	Тип 1 ( $h = 25$ см)	1,2	1,3	12	60	10	0,20
4	4	Тип 2 (Двутавр №25Б4)	1,3	1,4	14	65	15	0,25
5	5	Тип 1 ( $h = 30$ см)	1,4	1,5	16	70	20	0,30
6	6	Тип 2 (Двутавр №30Б1)	1,5	1,6	18	75	25	0,35
7	7	Тип 1 ( $h = 35$ см)	1,6	1,7	20	80	30	0,40
8	8	Тип 2 (Двутавр №30Б4)	1,7	1,8	22	85	5	0,45
9	9	Тип 1 ( $h = 40$ см)	1,8	1,9	24	90	8	0,50
0	0	Тип 2 (Двутавр №35Б1)	1,9	2,0	26	95	10	0,55
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>

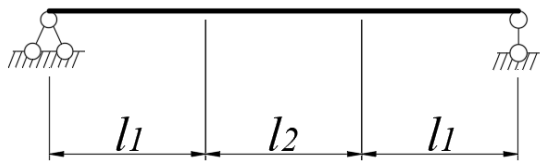


Рис. 10.1

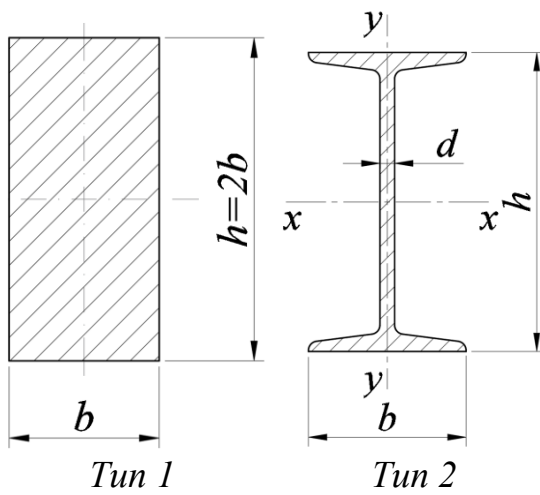


Рис. 10.2

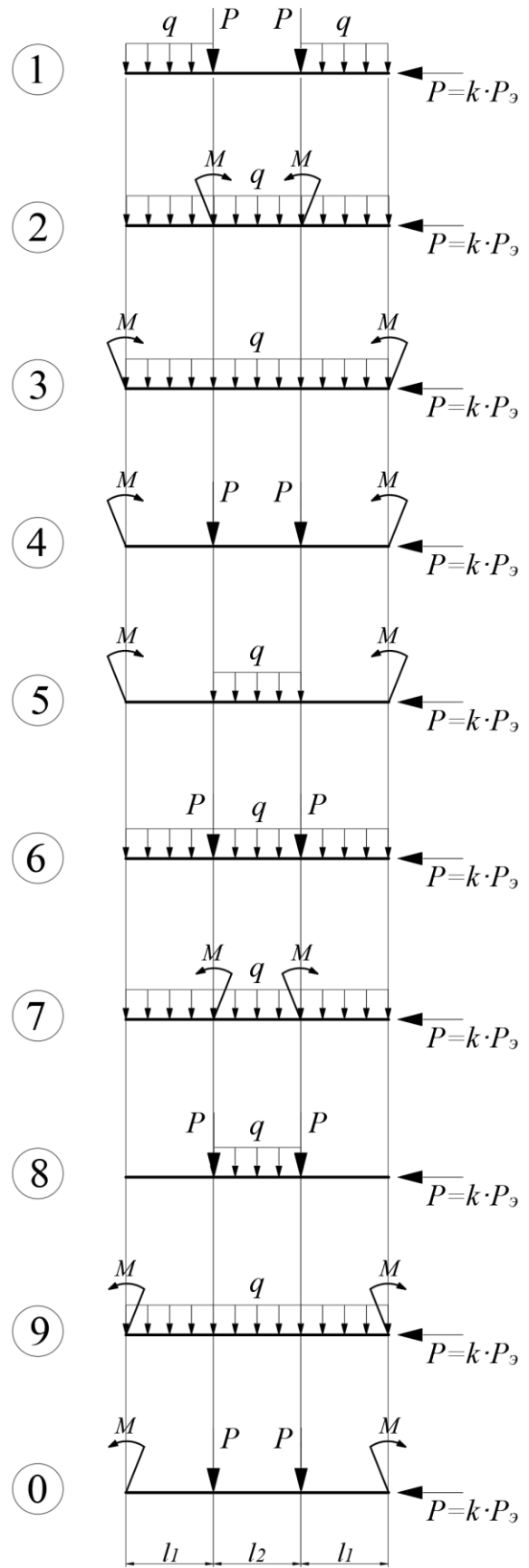


Рис. 10.3

## 11. РАСЧЕТ НА УДАРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Стержневая статически определимая система (рис. 11.1) подвержена ударному воздействию груза весом  $G$ , который падает с высоты  $H$  или ударяется со скоростью  $V$ . Поперечное сечение конструкции – двутавровое. Требуется:

- 1) определить перемещение в точке удара;
- 2) определить наибольшее нормальное напряжение.

Данные для расчета взять из таблицы 11.1.

Таблица 11.1

Исходные данные

№ строки	Поперечное сечение	Длина, м			$G$ , Н	$V$ , м/с	$h$ , см
		$l_1$	$l_2$	$l_3$			
1	Двутавр №18Б1	2,5	1,5	1,0	5000	1	5,0
2	Двутавр №18Б2	3,0	2,0	1,5	6000	1,5	6,0
3	Двутавр №20Б1	3,5	2,5	2,0	9000	1,3	2,0
4	Двутавр №20Б3	4,0	3,0	2,5	7500	2,0	3,0
5	Двутавр №25Б1	4,5	3,5	3,0	8500	1,7	4,0
6	Двутавр №25Б3	5,0	4,0	3,5	5500	1,8	7,0
7	Двутавр №30Б1	5,5	4,5	4,0	6500	1,9	8,0
8	Двутавр №30Б3	2,0	1,5	1,0	7000	1,2	9,0
9	Двутавр №35Б1	3,0	2,0	1,5	9500	1,1	2,5
0	Двутавр №35Б3	3,5	2,5	2,0	10000	1,4	3,5
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>

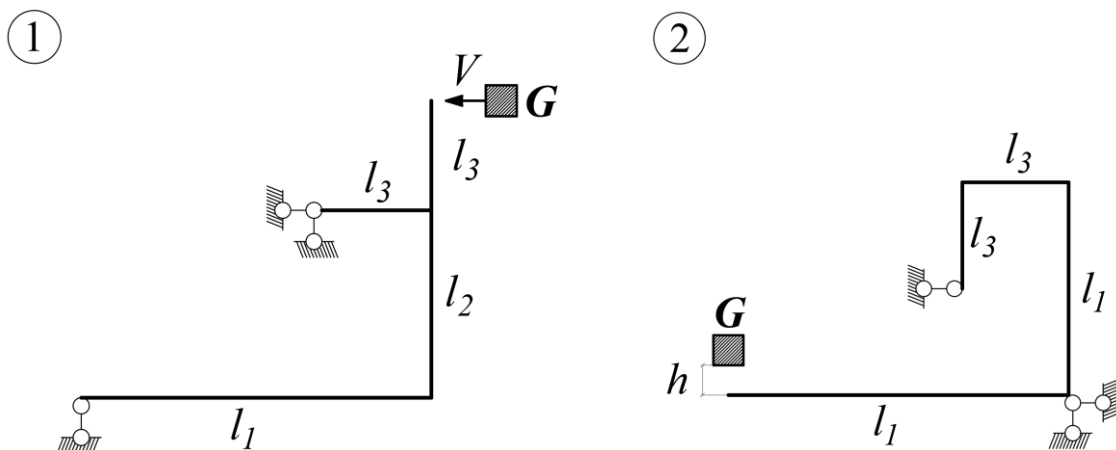


Рис. 11.1

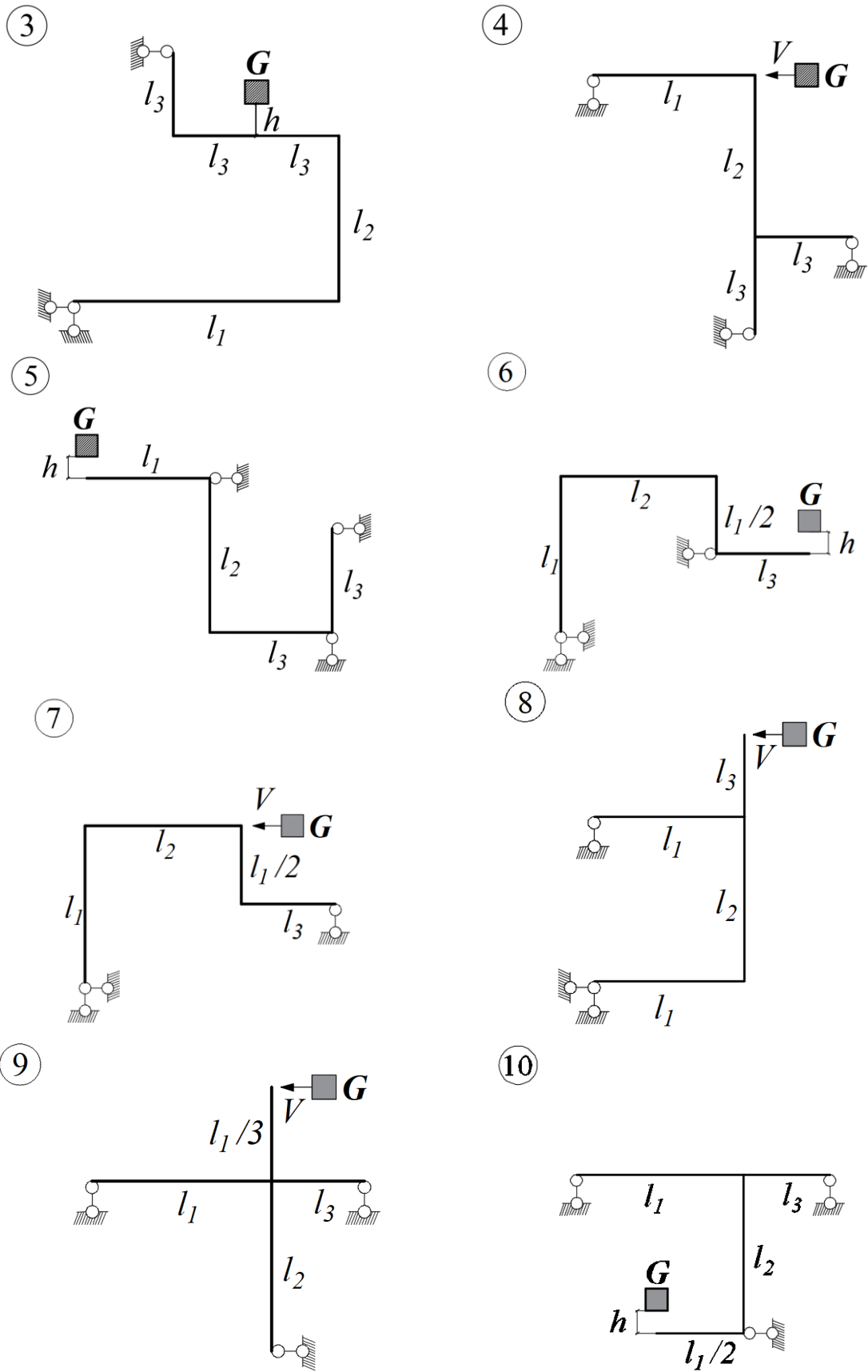


Рис. 11.1 (окончание)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов: учебное пособие / В. И. Феодосьев. — 17-е изд. — Москва: МГТУ им. Баумана, 2018. — 542 с. — ISBN 978-5-7038-4819-7.

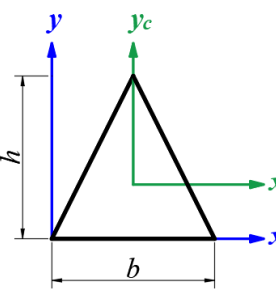
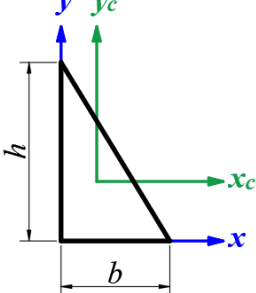
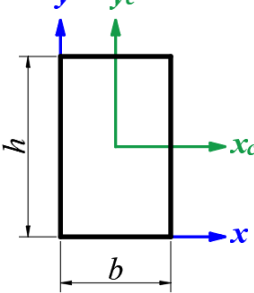
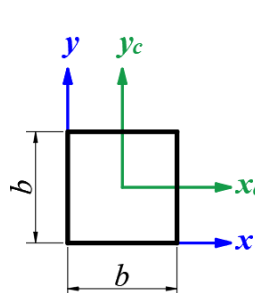
2. Сопротивление материалов (с примерами решения задач) [Текст]: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению "Строительство" / Н. М. Атаров [и др.]; под ред. Н. М. Атарова. - Москва: КноРус, 2017. - 330, [1] с.: рис., табл. - (Бакалавриат). - Библиогр.: с. 331. - ISBN 978-5-406-04555-8 (в пер.)

## Приложение А. Геометрические характеристики простейших фигур

В таблице А.1 приняты следующие условные обозначения:

- $A$  – площадь поперечного сечения;
- $X_c$  – центр тяжести по оси  $X$ ;
- $Y_c$  – центр тяжести по оси  $Y$ ;
- $J_x$  – осевой момент инерции относительно оси  $X$ ;
- $J_y$  – осевой момент инерции относительно оси  $Y$ ;
- $J_{xy}$  – центробежный момент инерции;
- $J_p$  – полярный момент инерции.

Таблица А.1

				
$A$	$bh$	$\frac{bh}{2}$	$bh$	$b^2$
$X_c$	$\frac{b}{2}$	$\frac{b}{3}$	$\frac{b}{2}$	$\frac{b}{2}$
$Y_c$	$\frac{h}{3}$	$\frac{h}{3}$	$\frac{h}{2}$	$\frac{b}{2}$
$J_{x_c}$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{b^4}{12}$
$J_{y_c}$	$\frac{hb^3}{48}$	$\frac{hb^3}{36}$	$\frac{hb^3}{12}$	$\frac{b^4}{12}$
$J_{xyc}$	0	$-\frac{b^2h^2}{72}$	0	0

		$\alpha = \frac{D_1}{D_2}$	$\delta \leq \frac{D}{10}$
A	$\pi R^2$	$\pi R^2 \cdot [1 - \alpha^2]$	$\pi D \delta$
$x_c$	$R$	$R$	$R$
$y_c$	$R$	$R$	$R$
$J_{x_c}$	$\frac{\pi D^4}{64}$	$\frac{\pi D^4}{64} \cdot [1 - \alpha^4]$	$\frac{\pi D^3 \delta}{8}$
$J_{y_c}$	$\frac{\pi D^4}{64}$	$\frac{\pi D^4}{64} \cdot [1 - \alpha^4]$	$\frac{\pi D^3 \delta}{8}$
$J_{x_{y_c}}$	0	0	0
$J_\rho$	$\frac{\pi D^4}{32}$	$\frac{\pi D^4}{32} \cdot [1 - \alpha^4]$	$\frac{\pi D^3 \delta}{4}$

## Приложение Б. Расчет бруса некруглого сечения при кручении

При кручении бруса некруглого сечения наибольшие касательные напряжения на внешних волокнах посередине длинных сторон прямоугольного сечения и определяются по формуле

$$\tau_{max} = \frac{M_{кр}}{W_k}.$$

Здесь момент сопротивления при кручении бруса прямоугольного сечения определяется по формуле

$$W_k = \alpha \cdot h \cdot b^2,$$

где  $h$  – большая сторона (рис. В.1);

$b$  – меньшая сторона;

$\alpha$  – безразмерный коэффициент, зависящий от соотношения сторон.

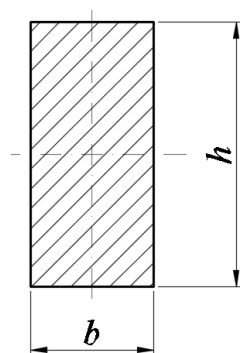


Рис. В.1

Касательные напряжения по середине коротких сторон меньше и определяются по формуле

$$\tau = \gamma \cdot \tau_{max}.$$

Относительный угол закручивания определяется по формуле

$$\theta = \frac{M_{кр}}{G \cdot J_k}$$

где момент инерции прямоугольного сечения при кручении  $J_k = \beta \cdot h \cdot b^3$ .

Коэффициенты  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  зависят от соотношения  $h/b$  и определяются по таблице В.1.

Таблица В.1

h/b	1,0	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0
$\alpha$	0,208	0,231	0,239	0,246	0,258	0,267
$\beta$	0,141	0,196	0,124	0,229	0,249	0,263
$\gamma$	1,000	0,859	0,820	0,795	0,766	0,753

Приложение В. ГОСТ Р 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия.

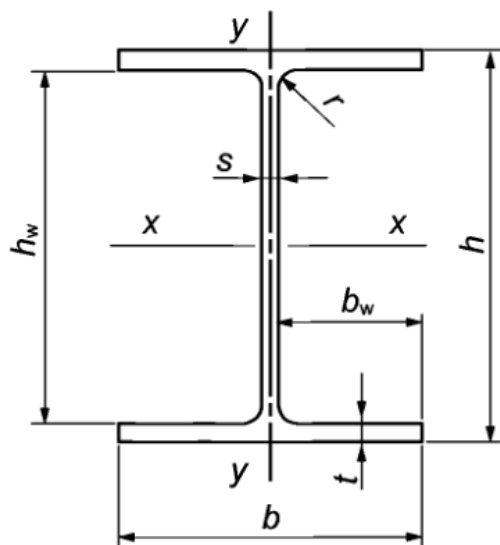


Рис. В.1

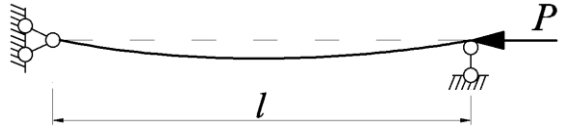
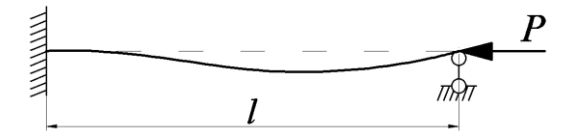
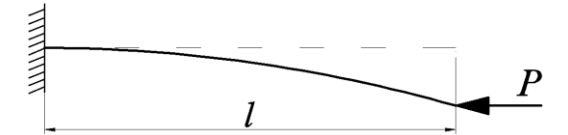
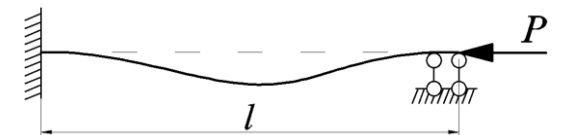
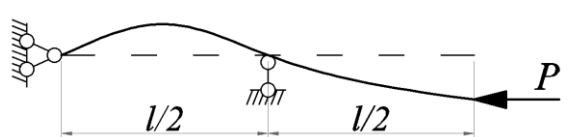
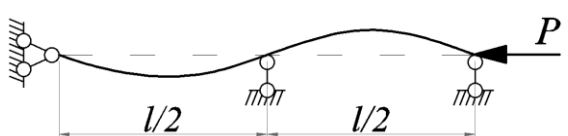
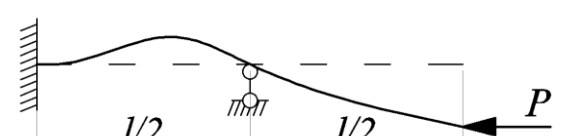
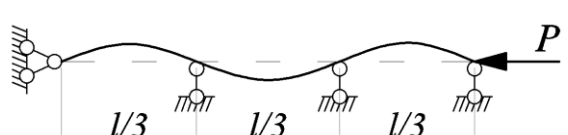
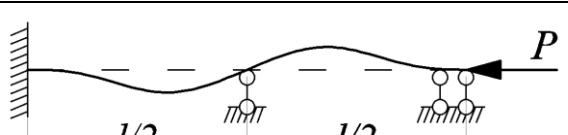
$h$  – высота двутавра,  $h_w$  – высота стенки двутавра в свету,  $b$  – ширина полки,  $b_w$  – свес полки,  $t$  – толщина полки,  $s$  – толщина стенки,  $r$  – радиус скругления

Таблица В.1

Номер профиля	Номинальные размеры							Площадь пер. сечения $A_w$ , см <sup>2</sup>	Масса 1м двуглава, кг	Справочные величины для осей профиля							
	$h$	$b$	$s$	$t$	$h_w$	$b_w$	$r$			$I_x$ , см <sup>4</sup>	$W_x$ , см <sup>3</sup>	$S_x$ , см <sup>3</sup>	$i_x$ , мм	$I_y$ , см <sup>4</sup>	$W_y$ , см <sup>3</sup>	$S_y$ , см <sup>3</sup>	$i_y$ , мм
Тип Б – Балочные нормальные двуглавы																	
10Б1	100,0	55,0	4,1	5,7	88,6	25,45	7,0	10,32	8,10	171,01	34,20	19,70	40,70	15,92	5,79	4,57	12,42
12Б1	117,6	64,0	3,8	5,1	107,4	30,10	7,0	11,03	8,70	257,36	43,80	24,94	48,30	22,39	7,00	5,49	14,25
12Б2	120,0	64,0	4,4	6,3	107,4	29,80	7,0	13,21	10,40	317,75	53,00	30,36	49,04	27,67	8,65	6,79	14,47
14Б1	137,4	73,0	3,8	5,6	126,2	34,60	7,0	13,39	10,50	434,86	63,30	35,80	56,98	36,42	9,98	7,76	16,49
14Б2	140,0	73,0	4,7	6,9	126,2	34,15	7,0	16,43	12,90	541,22	77,30	44,17	57,40	44,92	12,31	9,62	16,54
16Б1	157,0	82,0	4,0	5,9	145,2	39,00	9,0	16,18	12,70	689,28	87,80	49,55	65,27	54,43	13,27	10,35	18,34
16Б2	160,0	82,0	5,0	7,4	145,2	38,50	9,0	20,09	15,80	869,29	108,70	61,93	65,78	68,31	16,66	13,05	18,44
18Б1	177,0	91,0	4,3	6,5	164,0	43,35	9,0	19,58	15,40	1062,74	120,10	67,66	73,68	81,89	18,00	13,98	20,45
18Б2	180,0	91,0	5,3	8,0	164,0	42,85	9,0	23,95	18,80	1316,96	146,30	83,21	74,16	100,85	22,16	17,30	20,52
20Б0	198,0	99,0	4,5	7,0	184,0	47,25	11,0	23,18	18,20	1581,56	159,80	89,88	82,60	113,62	22,95	17,86	22,14
20Б1	200,0	100,0	5,5	8,0	184,0	47,25	11,0	27,16	21,30	1844,26	184,40	104,73	82,41	133,91	26,78	20,97	22,21
20Б2	203,0	101,0	6,5	9,5	184,0	47,25	11,0	32,19	25,30	2218,49	218,60	124,99	83,02	163,93	32,46	25,50	22,57
20Б3	208,0	102,0	8,0	12,0	184,0	47,00	11,0	40,24	31,60	2852,62	274,30	158,46	84,20	213,50	41,86	33,02	23,03
25Б1	248,0	124,0	5,0	8,0	232,0	59,50	12,0	32,68	25,70	3537,11	285,30	159,68	104,04	254,85	41,11	31,80	27,93
25Б2	250,0	125,0	6,0	9,0	232,0	59,50	12,0	37,66	29,60	4051,73	324,10	182,93	103,73	293,85	47,02	36,55	27,93
25Б3	255,0	126,0	7,5	11,5	232,0	59,25	12,0	47,62	37,40	5238,16	410,80	233,88	104,88	384,79	61,08	47,67	28,43
25Б4	260,0	127,0	9,0	14,0	232,0	59,00	12,0	57,68	45,30	6481,01	498,50	286,25	106,00	480,07	75,60	59,24	28,85
30Б1	298,0	149,0	5,5	8,0	282,0	71,75	13,0	40,80	32,00	6318,22	424,00	237,53	124,44	442,00	59,33	45,88	32,91
30Б2	300,0	150,0	6,5	9,0	282,0	71,75	13,0	46,78	36,70	7209,26	480,60	271,06	124,14	507,53	67,67	52,56	32,94
30Б3	305,0	151,0	8,0	11,5	282,0	71,50	13,0	58,74	46,10	9254,92	606,90	344,37	125,52	661,88	87,67	68,31	33,57
30Б4	310,0	152,0	9,5	14,0	282,0	71,25	13,0	70,80	55,60	11381,41	734,30	419,40	126,79	822,37	108,21	84,60	34,08
35Б1	346,0	174,0	6,0	9,0	328,0	84,00	14,0	52,68	41,40	11094,49	641,30	358,09	145,12	791,54	90,98	70,11	38,76
35Б2	350,0	175,0	7,0	11,0	328,0	84,00	14,0	63,14	49,60	13559,01	774,80	433,96	146,54	984,34	112,50	86,79	39,48
35Б3	355,0	176,0	8,5	13,5	328,0	83,75	14,0	77,08	60,50	16797,02	946,30	533,54	147,62	1229,36	139,70	108,13	39,94
35Б4	361,0	177,0	10,0	16,5	328,0	83,50	14,0	92,89	72,90	20719,71	1147,90	651,07	149,35	1528,90	172,76	134,02	40,57

## Приложение Г. Коэффициенты приведения длины

Таблица Г.1

Способ закрепления	Коэффициент приведения длины $\beta$
	1
	0,7
	2
	0,5
	1,35
	0,5
	1,26
	0,33
	0,35

**Приложение Д. Зависимость коэффициента снижения допускаемого напряжения от гибкости стержня**

Таблица Д.1

$\lambda$	$\varphi$					
	Стали марок		Чугун марок		Дюралю- миний Д16Т	Дерево
	Ст. 2 Ст. 3 Ст. 4	Ст. 5	Сч 12-28 Сч 21-40	Сч 24-44		
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,98	0,97	0,0,95	1,00	0,99
20	0,96	0,96	0,905	0,86	1,00	0,97
30	0,94	0,93	0,84	0,79	0,81	0,93
40	0,92	0,90	0,75	0,70	0,77	0,88
50	0,90	0,86	0,68	0,61	0,685	0,83
60	0,87	0,83	0,60	0,54	0,61	0,78
70	0,84	0,79	0,55	0,47	0,55	0,71
80	0,80	0,74	0,49	0,415	0,50	0,65
90	0,76	0,70	0,44	0,38	0,45	0,60
100	0,72	0,66	0,41	0,34	0,415	0,55
110	0,68	0,62	0,37	0,31	0,38	0,50
120	0,64	0,48	0,34	0,29	0,35	0,46
130	0,60	0,54	0,32	0,265	0,32	0,433
140	0,57	0,51	0,295	0,24	0,30	0,40
150	0,53	0,48	0,27	0,225	0,28	0,37
160	0,50	0,45	0,25	0,215	0,26	0,35
170	0,475	0,43	0,24	0,205	0,25	0,33
180	0,45	0,41	0,23	0,19	0,235	0,31
190	0,43	0,39	0,21	0,18	0,22	0,295
200	0,41	0,37	0,20	0,17	0,21	0,28
220	0,38	0,33	0,18	0,15	0,19	0,25
240	0,35	0,31	0,17	0,14	0,17	0,23
260	0,33	0,28	0,15	0,13	0,16	0,21
280	0,31	0,27	-	0,12	0,15	0,20
300	0,29	0,25	-	0,11	0,14	0,18
340	0,25	0,23	-	-	0,12	0,16
380	0,23	0,21	-	-	0,11	0,15
420	0,21	0,19	-	-	0,10	0,13
460	0,19	0,17	-	-	0,09	0,12
500	0,175	0,155	-	-	0,08	0,11
550	0,16	0,14	-	-	-	-
600	-	0,13	-	-	-	-

## Приложение Е. Характеристики материала

Таблица Е.1

Материал	Е, МПа	$\sigma_{\text{пц}}$ , МПа	а, МПа	б, МПа	с, МПа	$\lambda_0$	$\lambda_{\text{пред}}$
Сталь Ст. 2	$2 \cdot 10^5$	180	264	0,7	-	60	105
Сталь Ст. 3	$2 \cdot 10^5$	200	310	1,14	-	60	100
Сталь Ст. 4	$2 \cdot 10^5$	217	328	1,15	-	60	96
Сталь Ст. 5	$2 \cdot 10^5$	240	343	1,13	-	57	61
Дюралюминий Д16Т	$0,7 \cdot 10^5$	170	406	2,83	-	30	65
Чугун	$1,2 \cdot 10^5$	180	776	12	0,053		
Сосна, ель	$0,1 \cdot 10^5$	20	29,3	0,194	-	-	70



*Учебное издание*

**ГРУЗДЕВ** Александр Сергеевич  
**НАДЕЖДИН** Владимир Сергеевич  
**ТИТОВ** Олег Вадимович  
**БАЛАКИРЕВА** Евгения Андреевна

Сборник практических заданий  
по курсу «СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»  
для студентов очной формы обучения  
Часть 2

*Редактор В.В. Виноградова*

*Редакционно-издательский отдел МАДИ. E-mail: rio.madi@mail.ru*

Подписано в печать 17.01.2023 г. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 3,25. Тираж 200 экз. Заказ 29

МАДИ, 125319, Москва, Ленинградский пр-т, 64.