

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Кафедра «Строительная механика»

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

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

**МОСКВА**  
**МАДИ**  
**2021**

Составители:

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

В сборнике представлены задания для самостоятельного выполнения студентами с целью успешного усвоения курса «Сопротивление материалов». Представлен справочный материал, необходимый для решения приведенных задач.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 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 использовано обучающимися родственных направлений подготовки.

© МАДИ,

2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие сведения .....	4
1. Расчет плоской статически определимой рамы.....	6
2. Косой изгиб .....	10
3. Внецентренное растяжение-сжатие .....	14
4. Расчет пространственного бруса.....	17
5. Расчет статически неопределимой плоской рамы.....	21
6. Расчет статически неопределимой многоопорной балки .....	27
7. Расчет плоско-пространственной статически неопределимой рамы .....	30
8. Продольный изгиб.....	34
9. Продольно-поперечный изгиб.....	36
10. Балка на упругом основании .....	37
11. Расчет на ударное воздействие.....	39
12. Исследование напряженного и деформированного состояния в точке тела.....	41
Список использованной литературы.....	43
Приложение А Геометрические характеристики простейших фигур.....	44
Приложение Б ГОСТ Р 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия. ....	46
Приложение В Коэффициенты приведения длины.....	48
Приложение Г Зависимость коэффициента снижения допускаемого напряжения от гибкости стержня.....	49
Приложение Д 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;
- собственный вес конструкции не учитывается;
- концентрация напряжений в сечениях не учитывается;
- при расчете на прочность использовать метод предельных состояний, если в условии задачи не указано иное.

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

четырёхзначный 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, Ф.И.О. студента, учебная группа, вариант, Ф.И.О. 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 (210×297 мм), сшитых между собой в виде книги.

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 необходимой точности.

## 1. РАСЧЕТ ПЛОСКОЙ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМОЙ РАМЫ

Для плоской рамы, изображенной на рис. 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 расчетное сопротивление  $R = 200$  МПа. Исходные данные для расчета следует взять из табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные

№ строки	Длина, м			$P$ , кН	$M$ , кН·м	$q$ , кН/м	коэффициент условий работы $\gamma_c$
	$l_1$	$l_2$	$l_3$				
1	2,0	1,5	1,0	10	8	5	0,75
2	3,0	2,0	1,5	15	10	8	0,77
3	3,5	2,5	2,0	20	12	10	0,8
4	4,0	3,0	2,5	25	15	15	0,82
5	4,5	3,5	3,0	30	18	20	0,85
6	5,0	4,0	3,5	35	20	25	0,88
7	5,5	4,5	4,0	40	24	30	0,9
8	2,0	1,5	1,0	10	8	5	0,93
9	3,0	2,0	1,5	15	10	8	0,95
0	3,5	2,5	2,0	20	12	10	0,98
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>

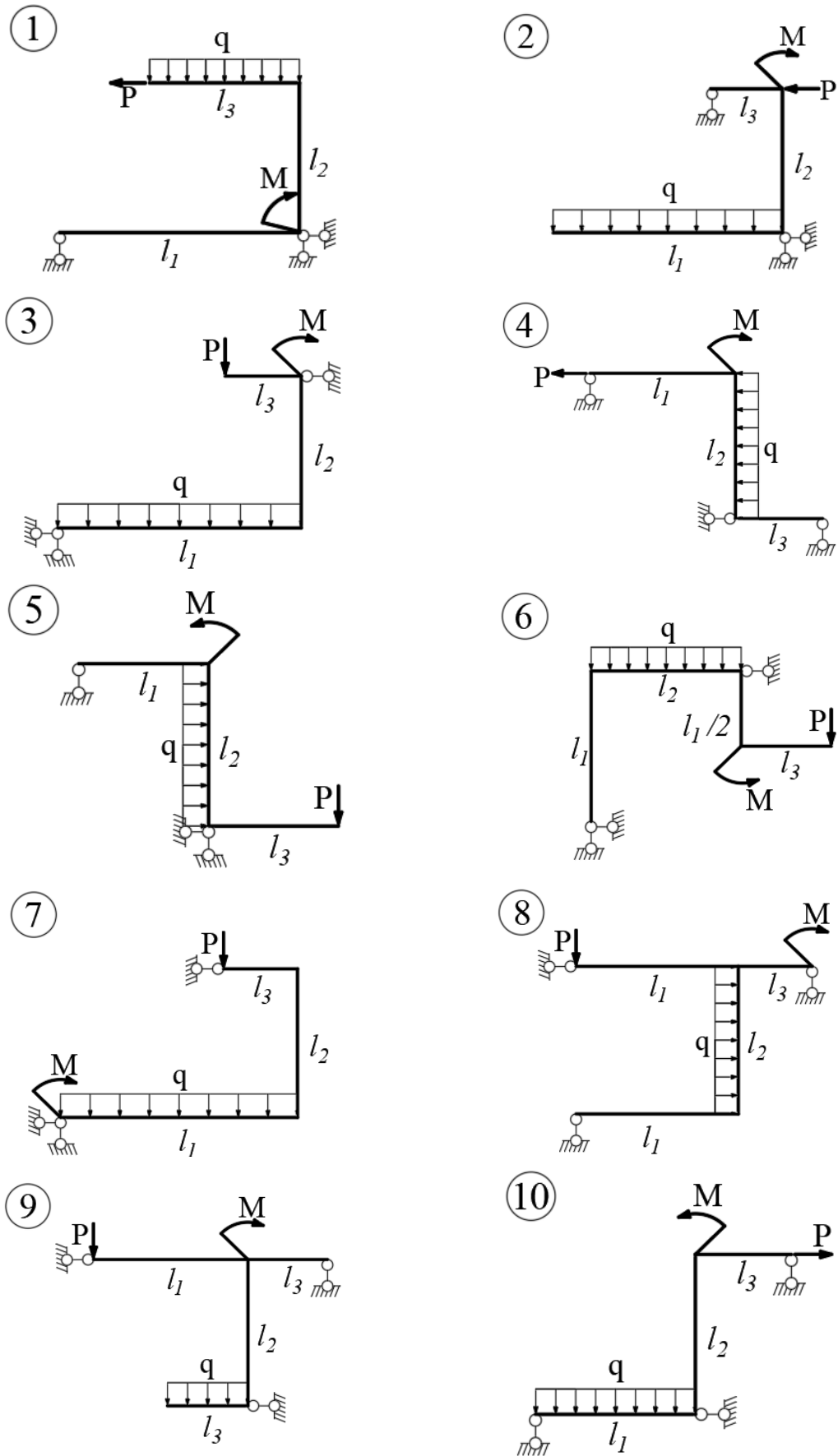


Рис. 1

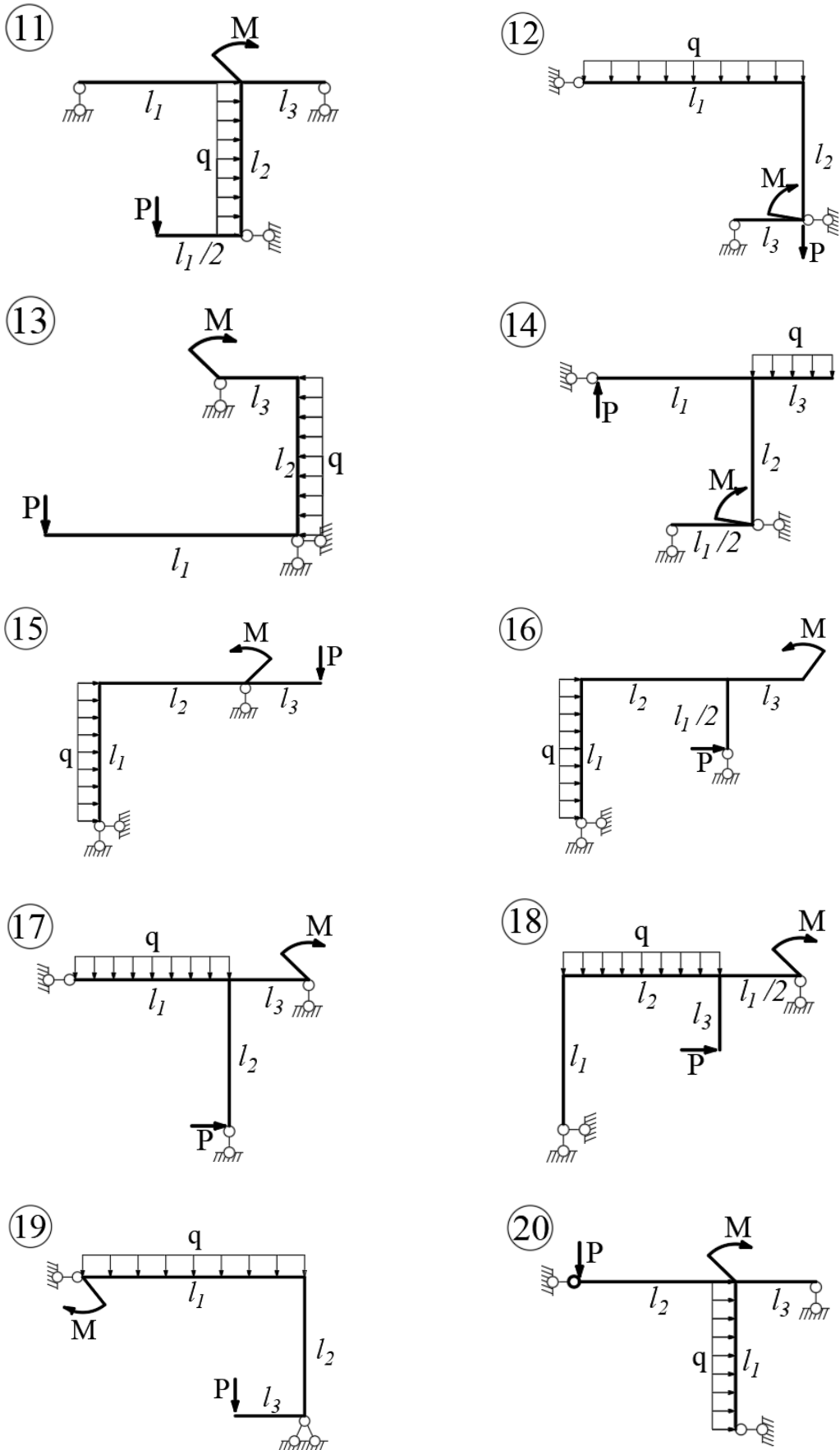


Рис. 1 (продолжение)

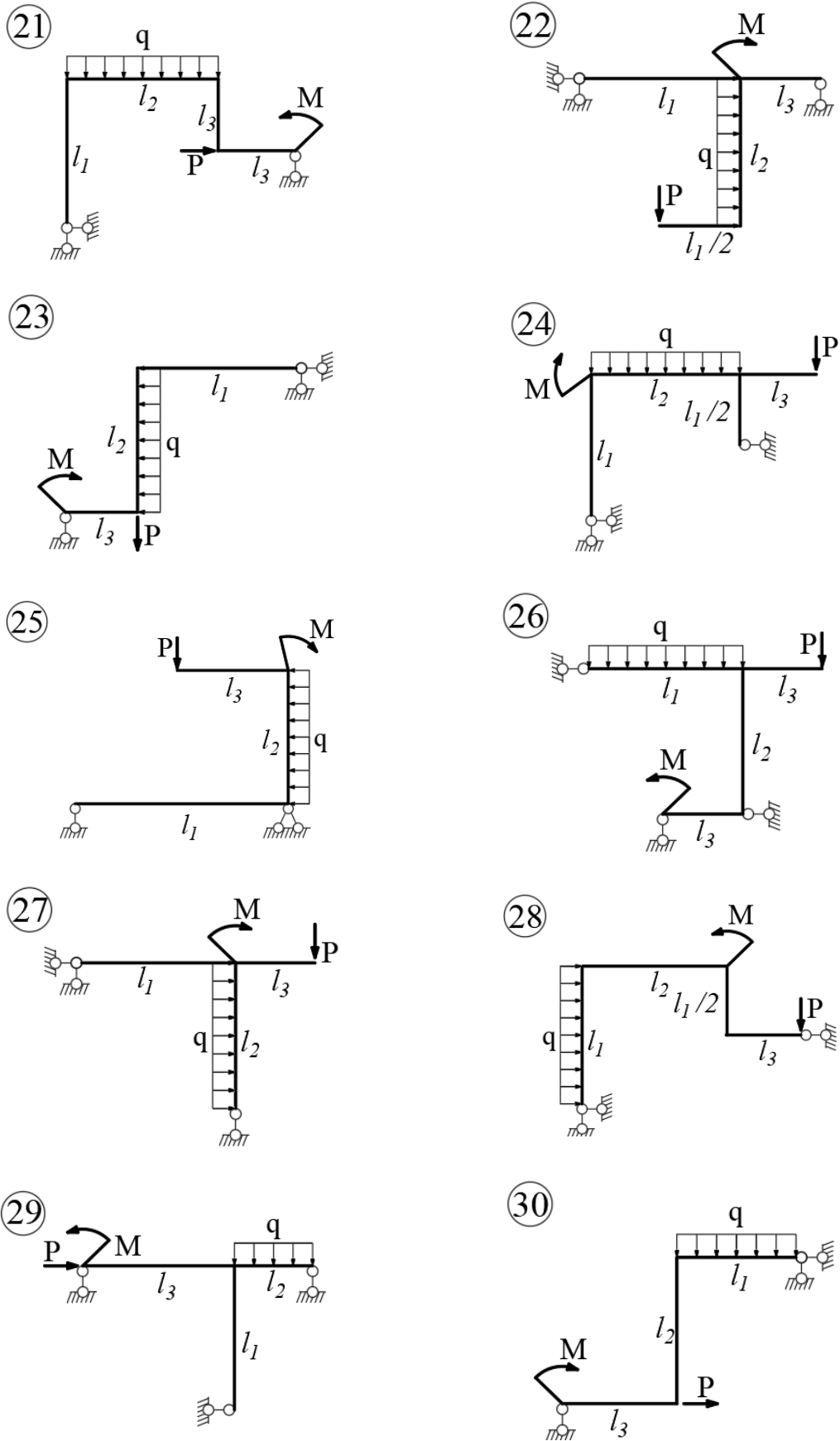


Рис. 1 (продолжение)

## 2. КОСОЙ ИЗГИБ

Для консольного бруса (рис. 2.1) требуется определить:

- 1) максимальное нормальное напряжение;
- 2) характерный размер « $a$ » поперечного сечения бруса, используя условия прочности по допускаемым напряжениям;
- 3) 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  $[\sigma] = 200$  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 « $a$ ».

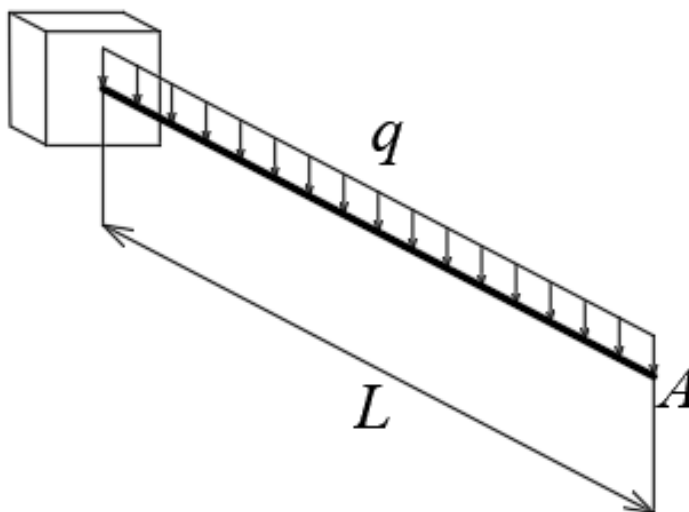
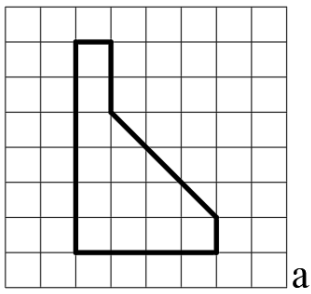


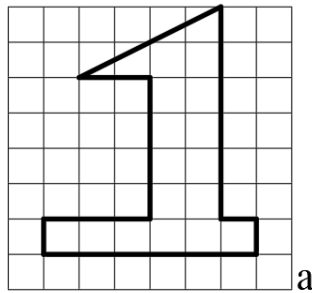
Рис. 2.1

①



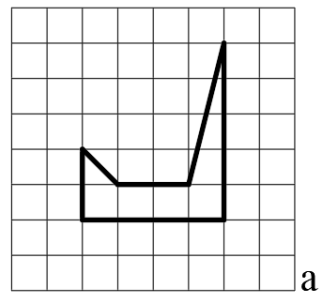
a

②



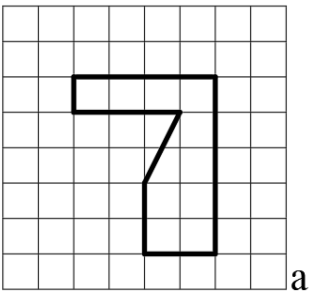
a

③



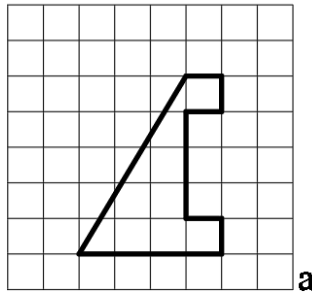
a

④



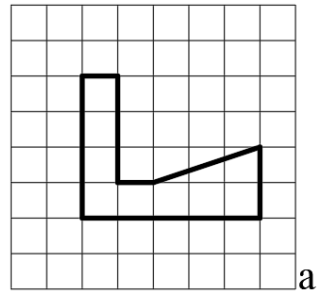
a

⑤



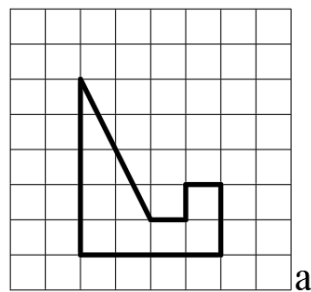
a

⑥



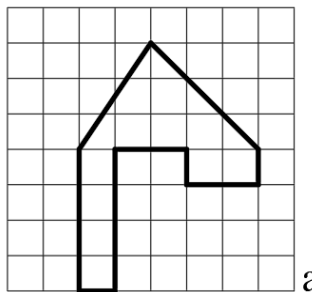
a

⑦



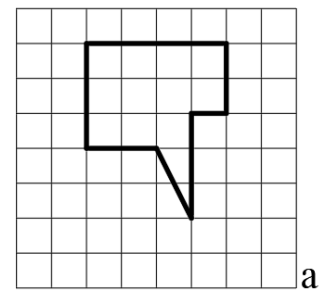
a

⑧



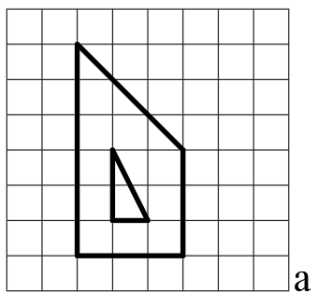
a

⑨



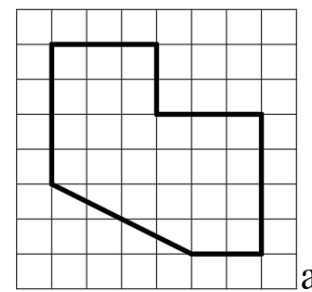
a

⑩



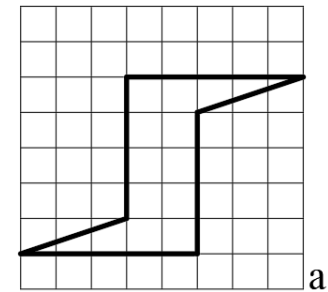
a

⑪



a

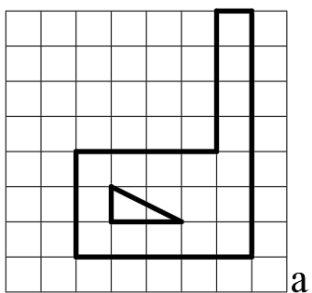
⑫



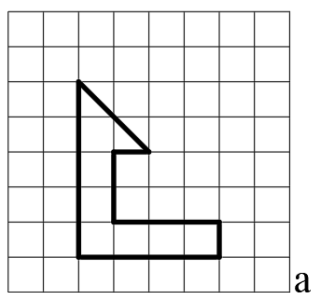
a

Рис. 2.2

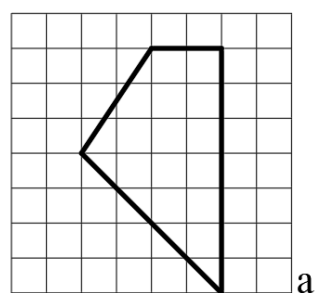
13



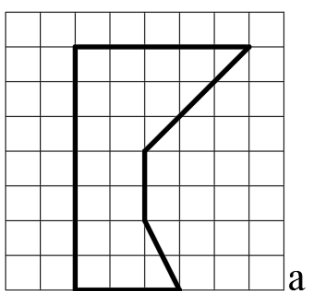
14



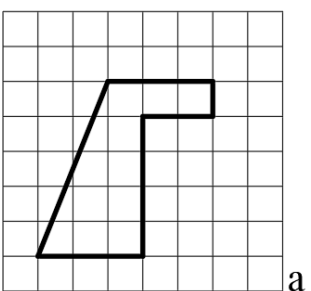
15



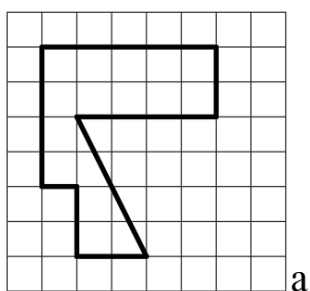
16



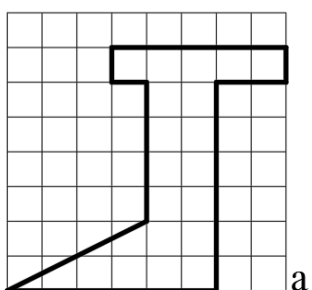
17



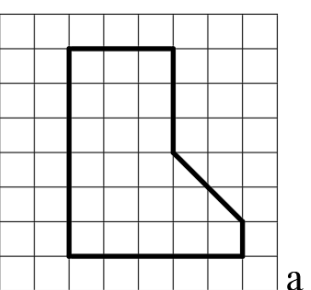
18



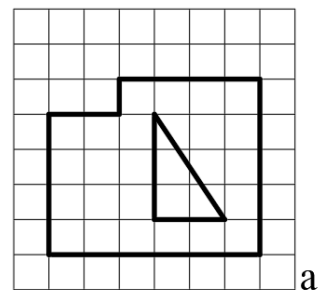
19



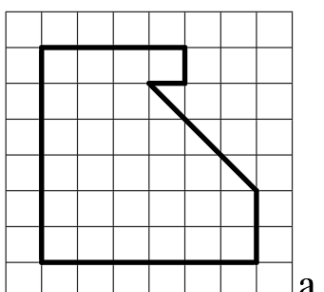
20



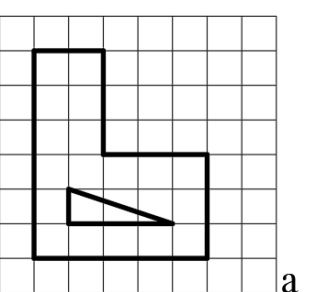
21



22



23



24

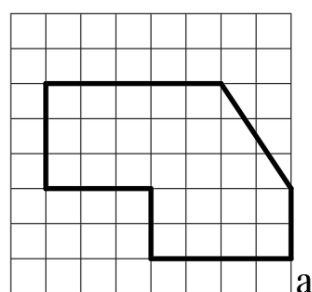
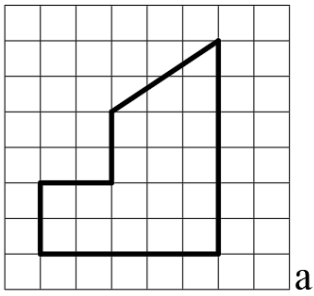
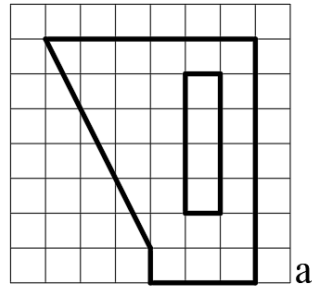


Рис. 2.2 (продолжение)

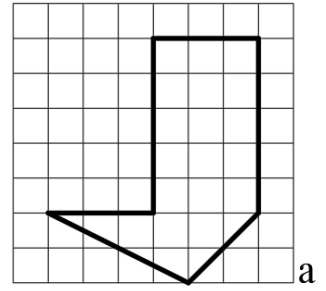
25



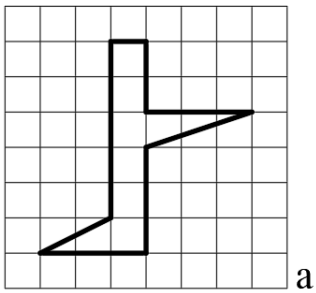
26



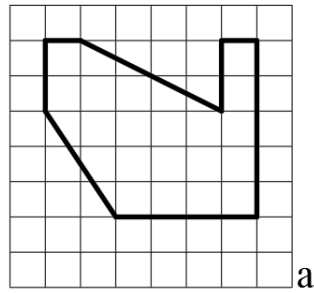
27



28



29



30

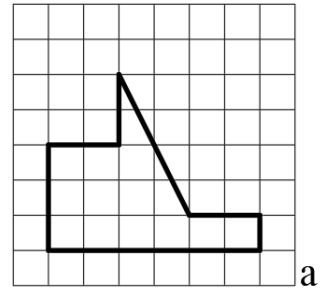


Рис. 2.2 (продолжение)

### 3. ВНЕЦЕНТРЕННОЕ РАСТЯЖЕНИЕ-СЖАТИЕ

Колонна (рис. 3.1) заданного поперечного сечения (рис. 3.2) нагружена сжимающими силами  $P_1, P_2, P_3$  в точках А, В, С. Требуется:

- 1) изобразить колонну с заданным поперечным сечением в аксонометрии;
- 2) определить положение нейтральной линии;
- 3) определить наибольшие нормальные напряжения;
- 4) определить размер «а» поперечного сечения из условия прочности,

учитывая различное сопротивление материала колонны растяжению и сжатию (коэффициент условий работы  $\gamma_c=0,9$ );

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 «а».

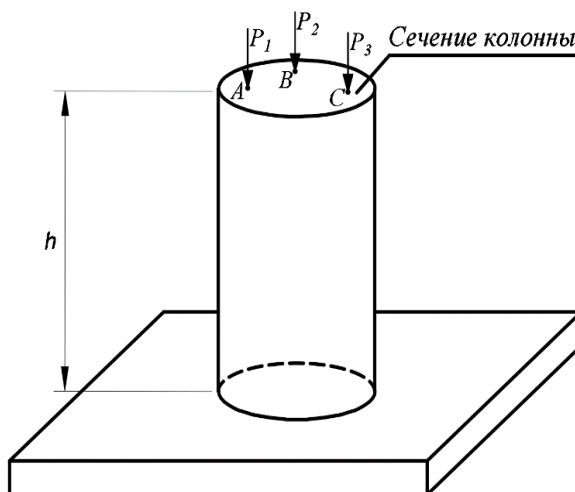


Рис. 3.1

Таблица 3.1. Исходные данные

№ строки	Высота $h$ , м	Объемный вес $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	Силы			Расчетное сопротивление материала	
			$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$P_3$ , кН	сжатию $R_{сж}$ , МПа	растяжению $R_p$ , МПа
1	3,0	1,40	20	65	55	100	25
2	2,6	1,90	25	70	50	110	30
3	2,5	1,20	30	75	45	120	40
4	3,2	1,50	35	20	40	90	20
5	2,8	1,60	40	25	75	80	20
6	2,0	1,70	45	30	70	130	45
7	2,2	1,25	50	35	65	140	50
8	3,5	1,55	55	40	60	100	30
9	2,4	0,80	60	45	35	90	25
0	1,9	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>

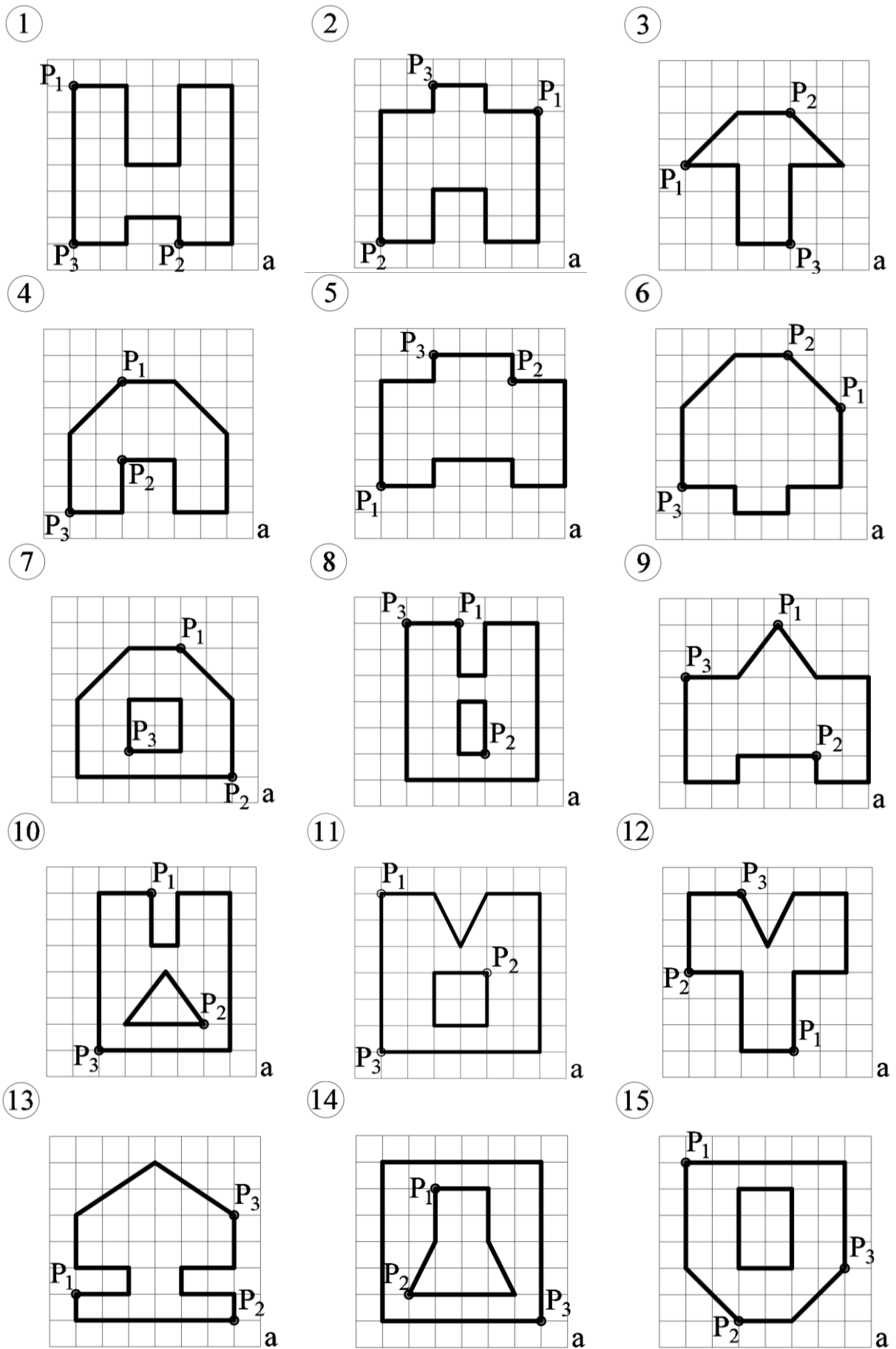
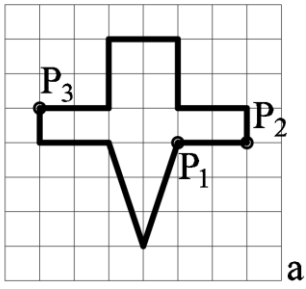
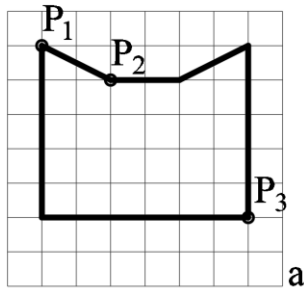


Рис. 3.2

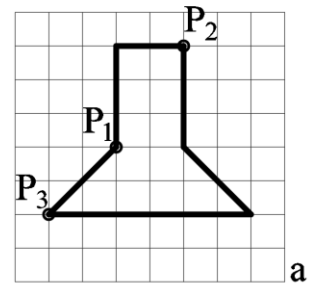
16



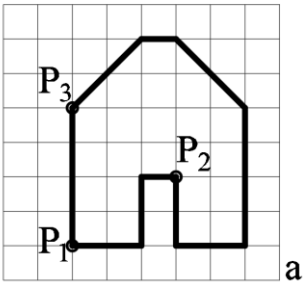
17



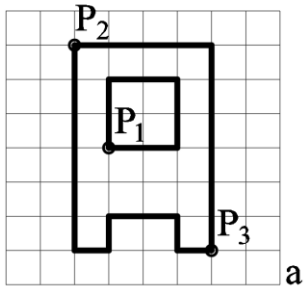
18



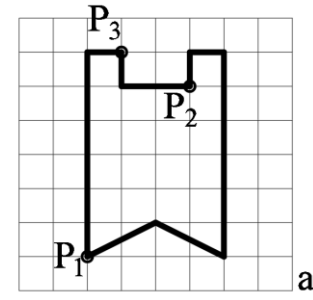
19



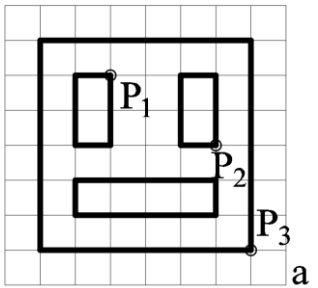
20



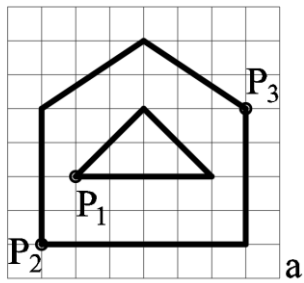
21



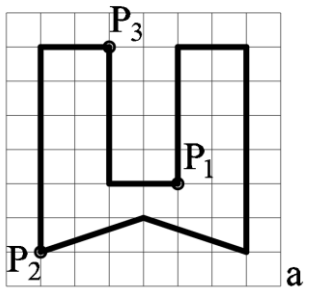
22



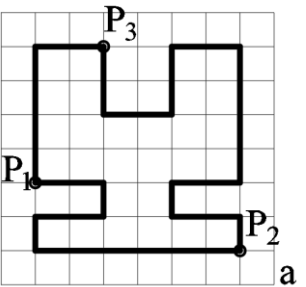
23



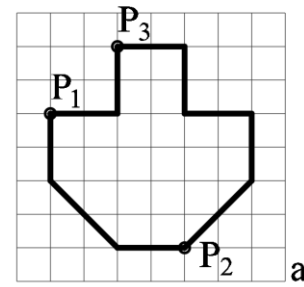
24



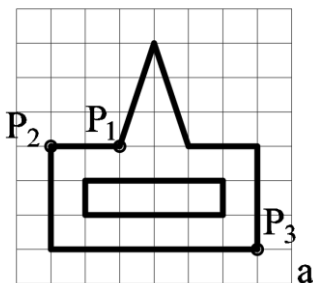
25



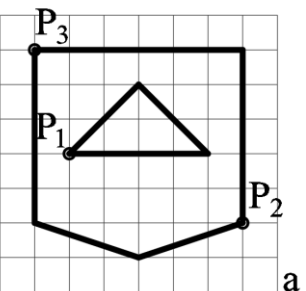
26



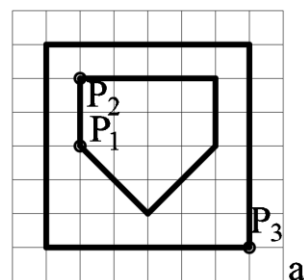
27



28



29



30

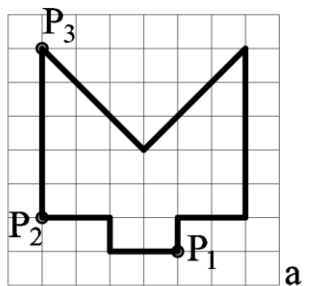


Рис. 3.2 (продолжение)

#### 4. РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОГО БРУСА

Для ломаного бруса с заданными линейными размерами (рис. 4.1) требуется:

1) построить эпюры внутренних силовых факторов (продольной и поперечных сил, изгибающих и крутящего моментов);

2) для наиболее опасного сечения пространственного бруса подобрать размеры поперечного сечения трех типов (рис. 4.2). 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  $h=20d, b=10d$ .

Расчетная схема (рис. 4.3), выбирается по порядковому номеру студента в списке группы. Исходные данные для расчета взять из табл. 4.1. Расчетное сопротивление  $R = 200$  МПа, коэффициент условий работы  $\gamma_c=0,9$ .

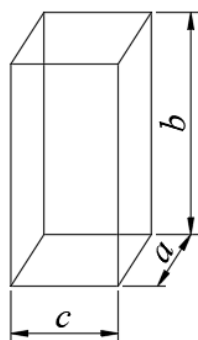


Рис. 4.1

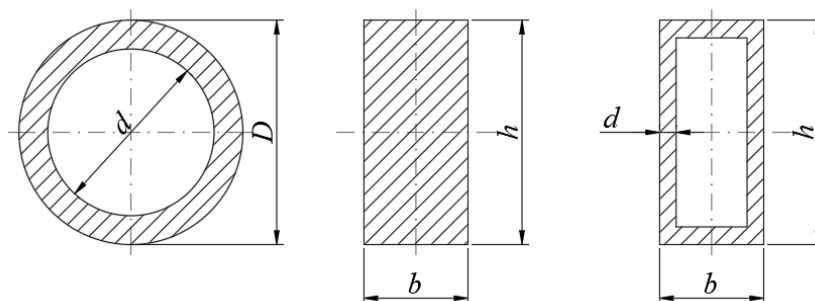


Рис. 4.2

Таблица 4.1. Исходные данные

№ строки	№ схемы	Нагрузки, кН			Размеры, м		
		$P_1$	$P_2$	$P_3$	$a$	$b$	$c$
1	1	2	3	4	0,4	0,6	0,8
2	2	3	4	5	0,5	0,8	1,0
3	3	4	5	6	0,6	1,0	0,4
4	4	5	6	2	0,8	0,4	0,5
5	5	6	2	3	1,0	0,5	0,6
6	6	4	3	6	0,5	0,6	0,8
7	7	6	2	3	0,6	0,8	1,0
8	8	2	5	6	0,4	1,0	0,8
9	9	5	4	3	0,8	1,0	0,4
0	10	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>	<b>В</b>

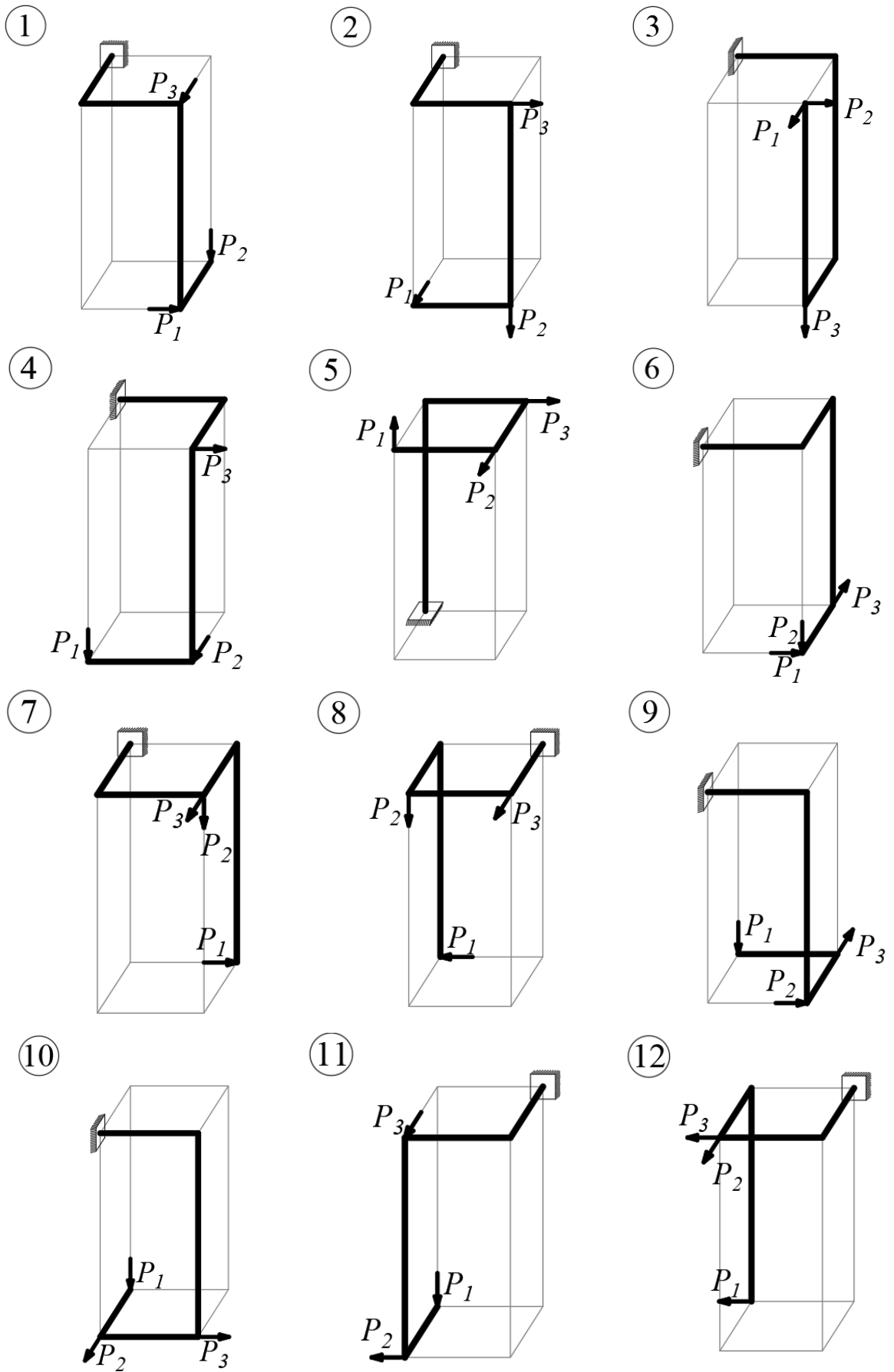


Рис. 4.3

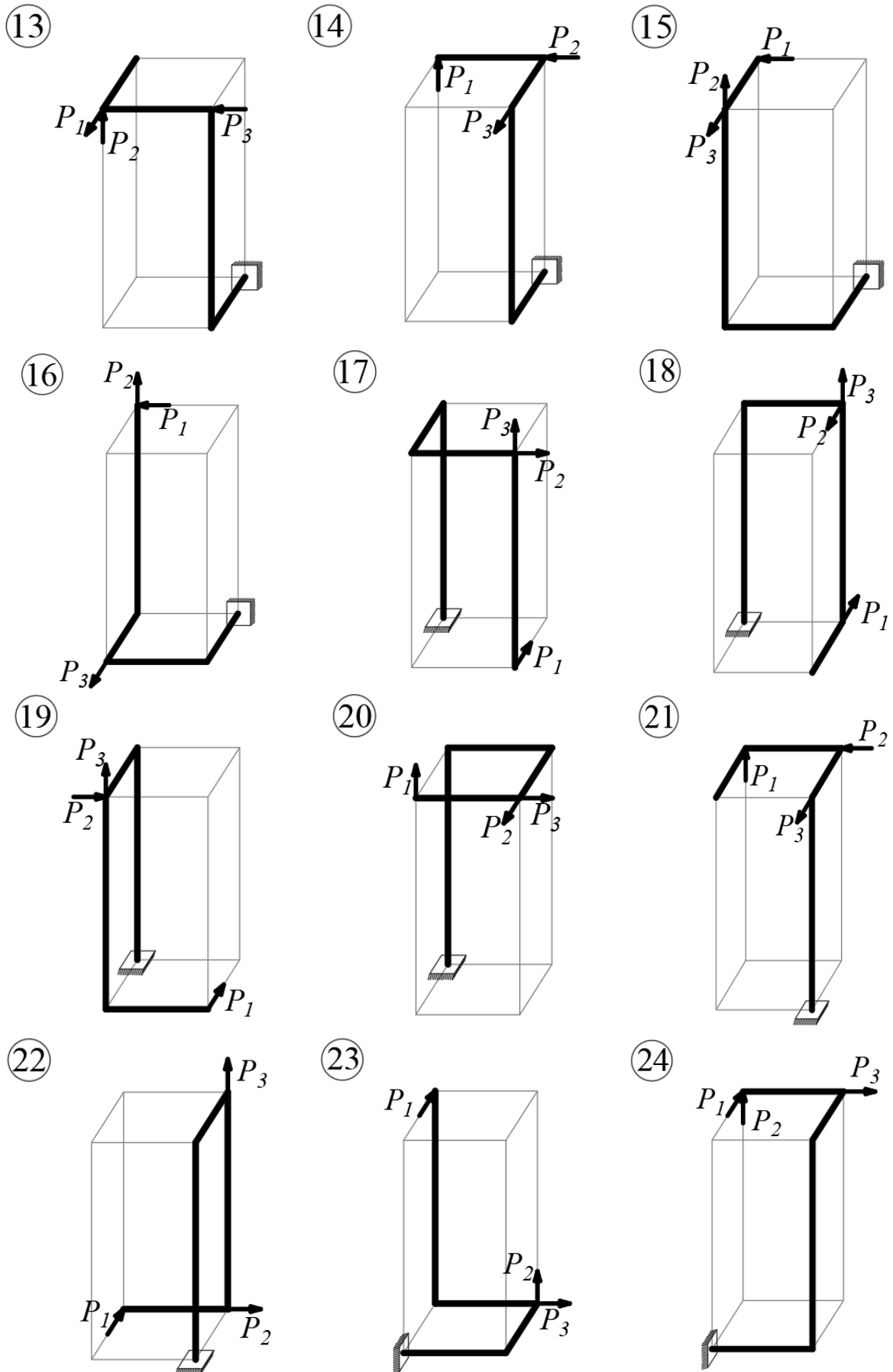


Рис. 4.3 (продолжение)

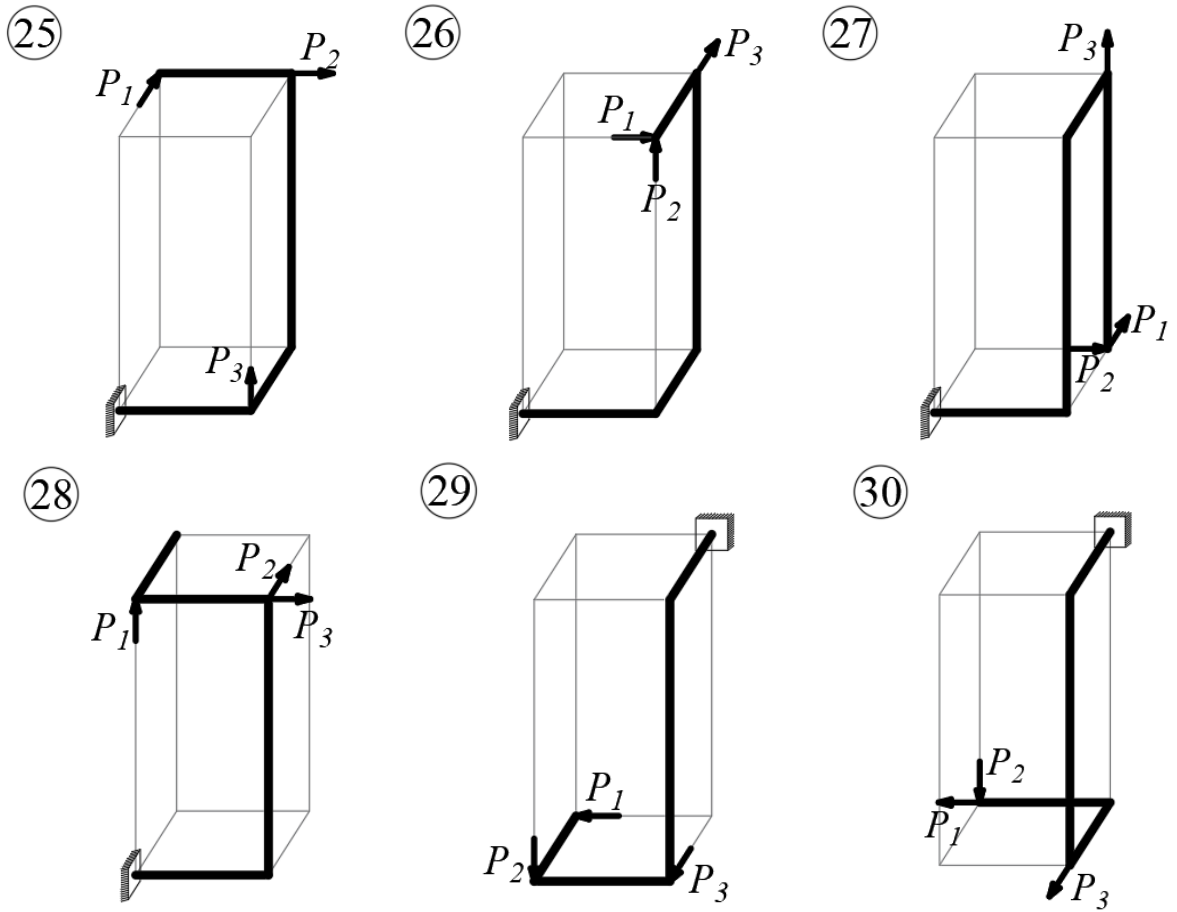


Рис. 4.3 (продолжение)

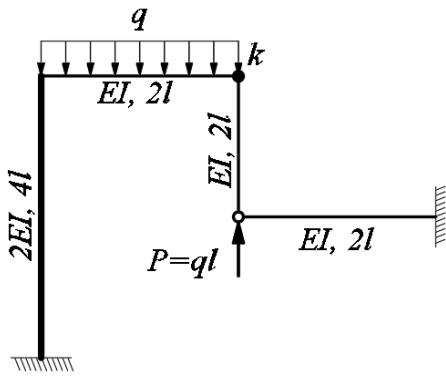
## 5. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ ПЛОСКОЙ РАМЫ

Для заданной статически неопределимой плоской рамы (рис. 5) требуется:

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

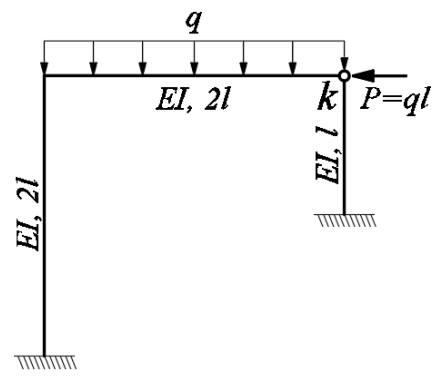
Расчеты проводить в общем виде в долях  $q, l, E, I$ .

1



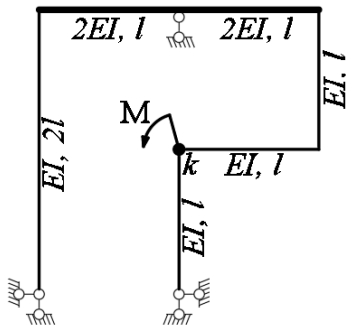
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

2



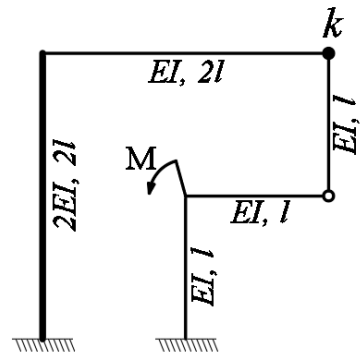
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

3



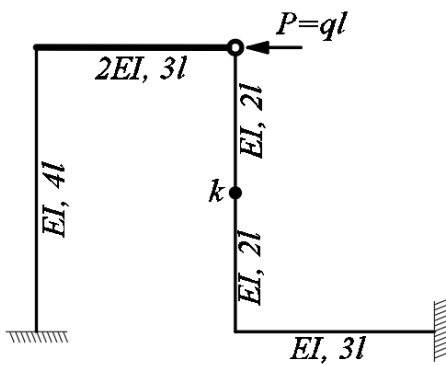
$$\theta_k = ?$$

4



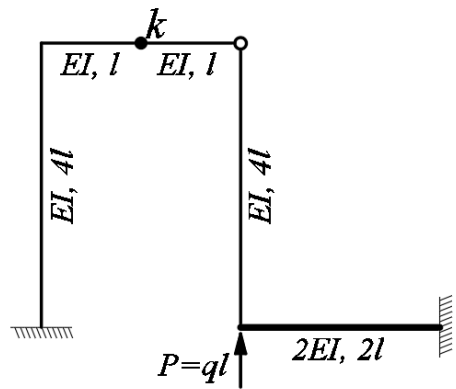
$$\Delta_k^{гор} = ?$$

5



$$\Delta_k^{гор} = ?$$

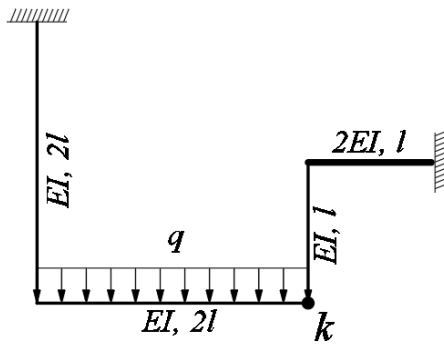
6



$$\Delta_k^{верт} = ?$$

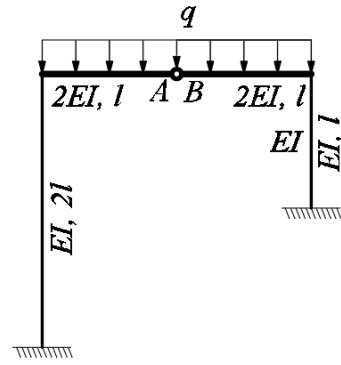
Рис. 5

7



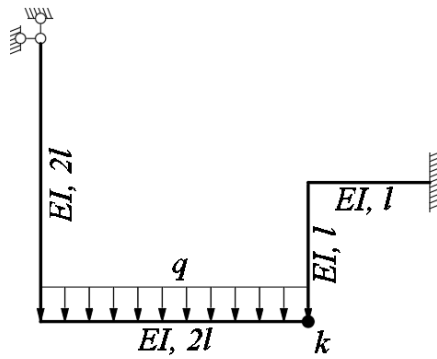
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

8



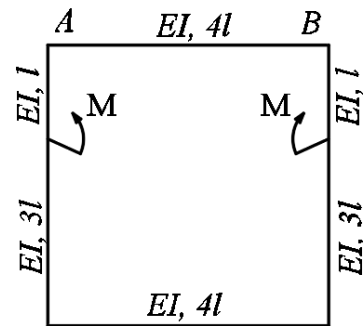
$$\theta_{AB} = ?$$

9



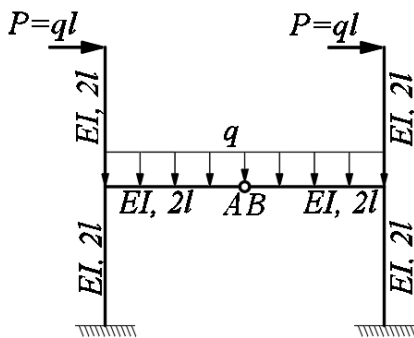
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

10



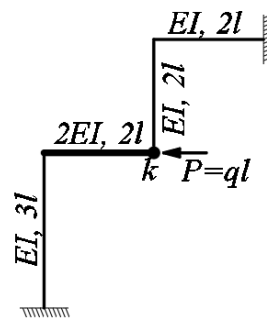
$$\theta_{AB} = ?$$

11



$$\theta_{AB} = ?$$

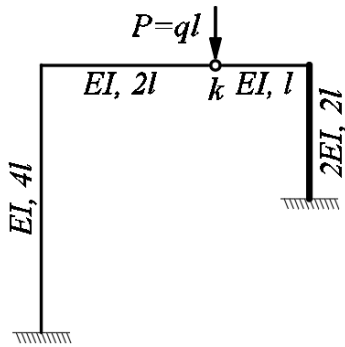
12



$$\Delta_k^{гор} = ?$$

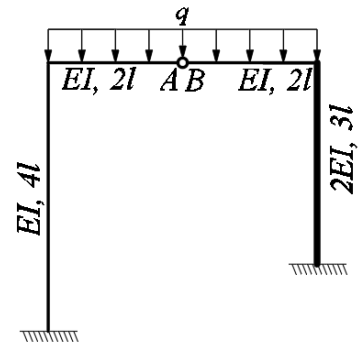
Рис. 5 (продолжение)

13



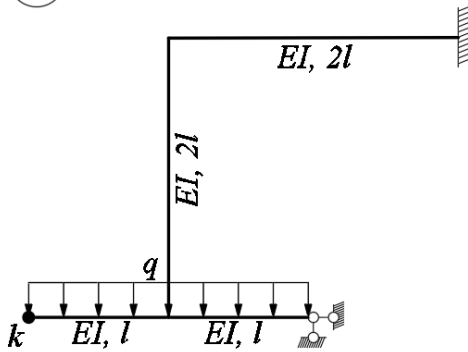
$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

14



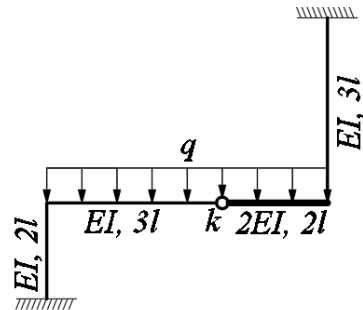
$$\theta_{AB} = ?$$

15



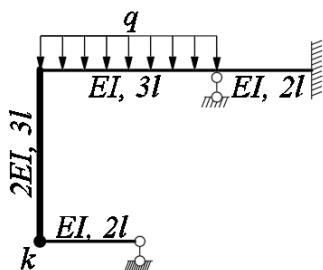
$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

16



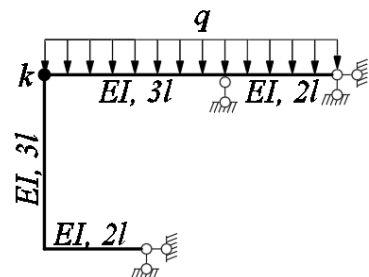
$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

17



$$\Delta_k^{\text{полн}} = ?$$

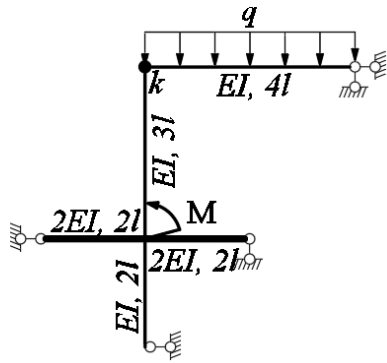
18



$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

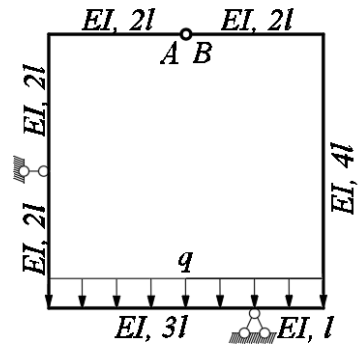
Рис. 5 (продолжение)

19



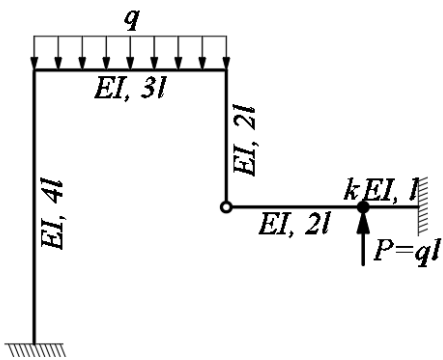
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

20



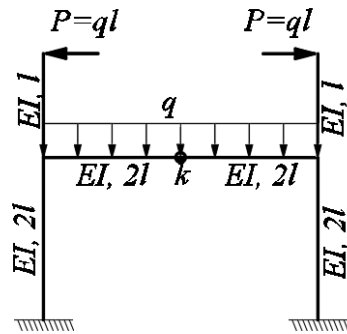
$$\theta_{AB} = ?$$

21



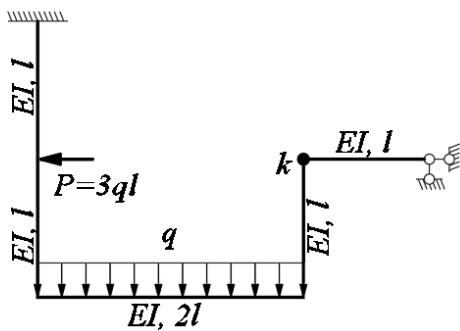
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

22



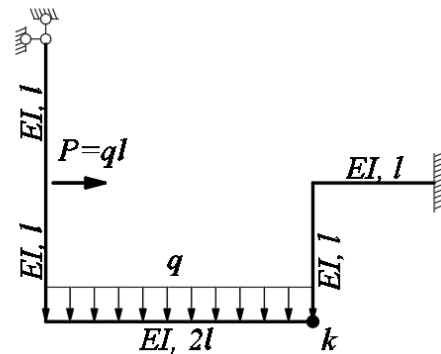
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

23



$$\Delta_k^{верт} = ?$$

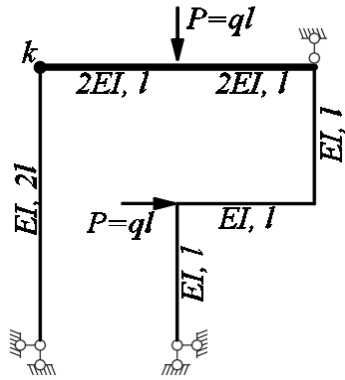
24



$$\Delta_k^{гор} = ?$$

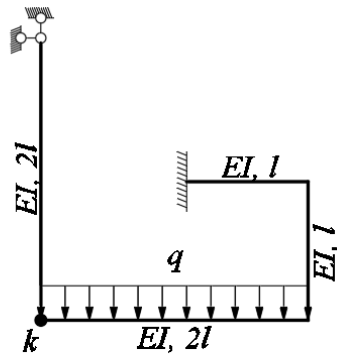
Рис. 5 (продолжение)

25



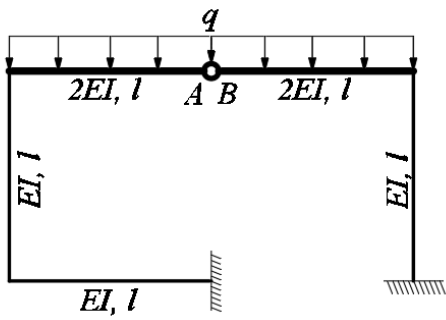
$$\Delta_k^{zop} = ?$$

26



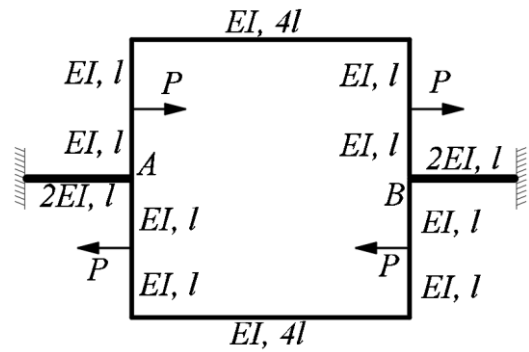
$$\Delta_k^{zop} = ?$$

27



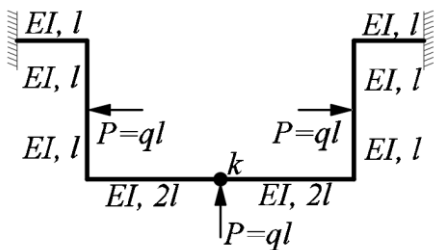
$$\theta_{AB} = ?$$

28



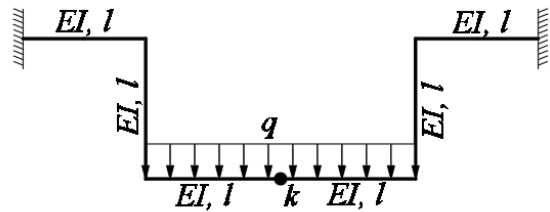
$$\theta_{AB} = ?$$

29



$$\Delta_k^{верт} = ?$$

30



$$\Delta_k^{верт} = ?$$

Рис. 5 (продолжение)

## 6. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ МНОГООПОРНОЙ БАЛКИ

Для заданной статически неопределимой многоопорной балки (рис. 6) построить эпюры поперечной силы и изгибающего момента. При раскрытии статической неопределимости использовать метод сил, а для выбора основной системы использовать врезание шарниров над опорами или в заделке.

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

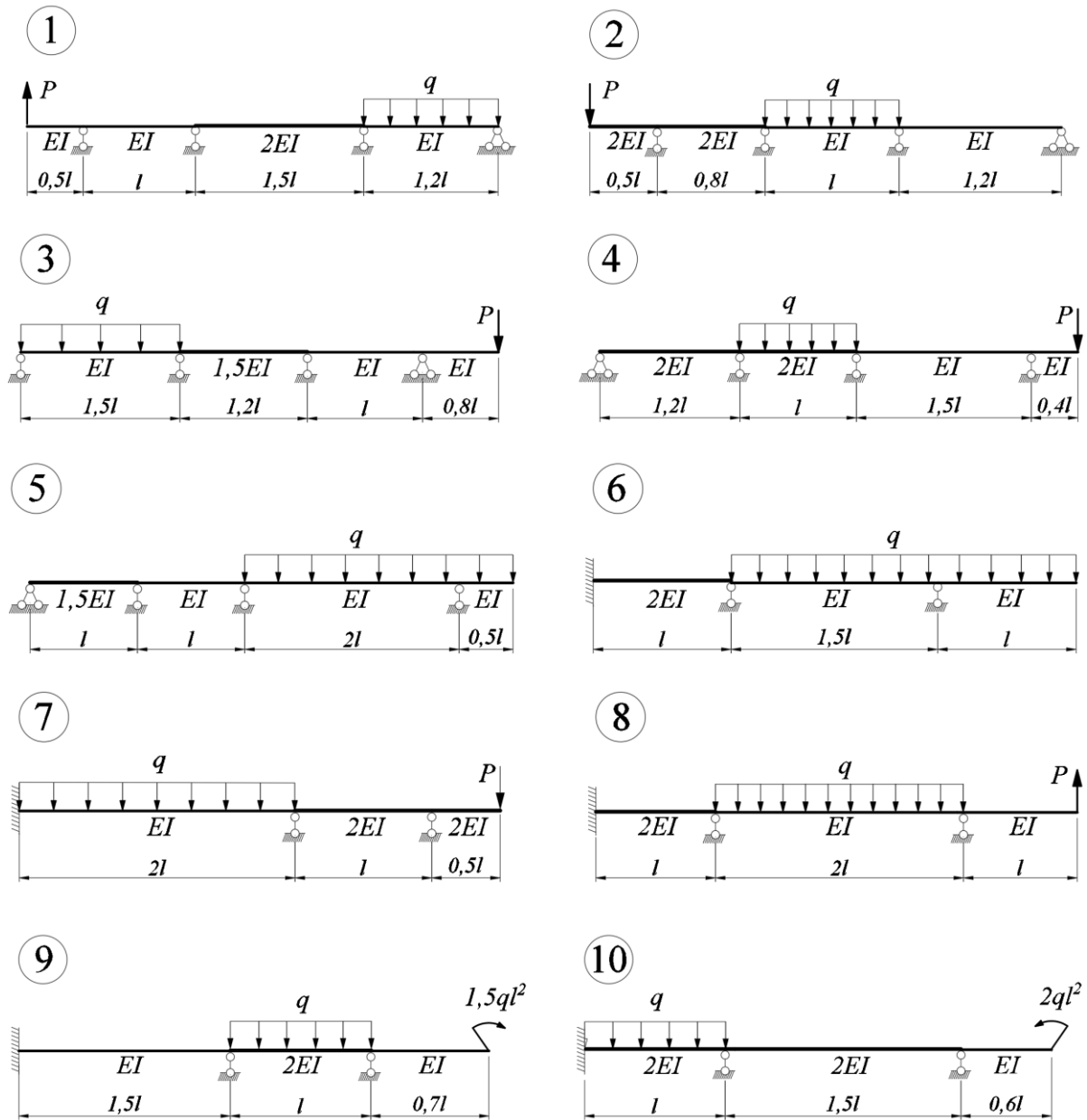


Рис. 6

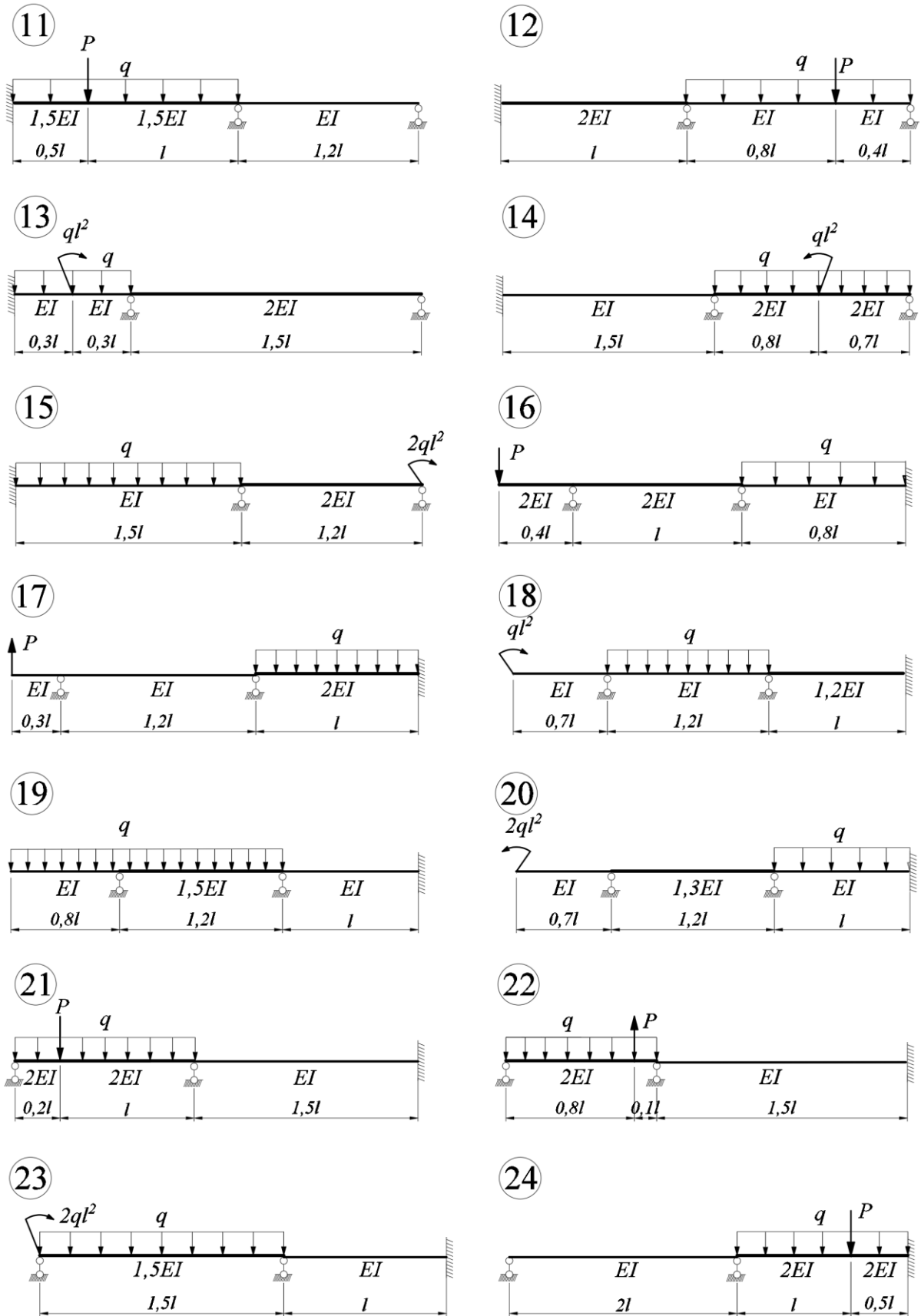


Рис. 6 (продолжение)

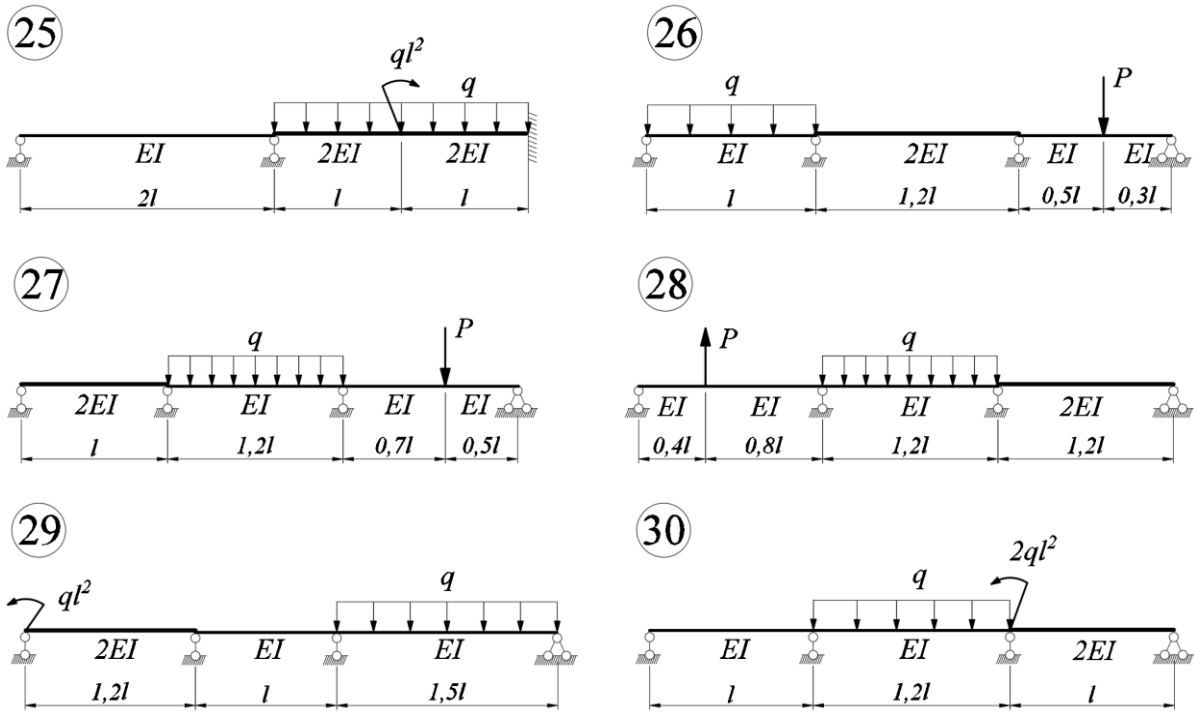


Рис. 6 (продолжение)

## 7. РАСЧЕТ ПЛОСКО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ РАМЫ

Для заданной плоско-пространственной статически неопределимой рамы (рис. 7) 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  $q, l, E, d$ .

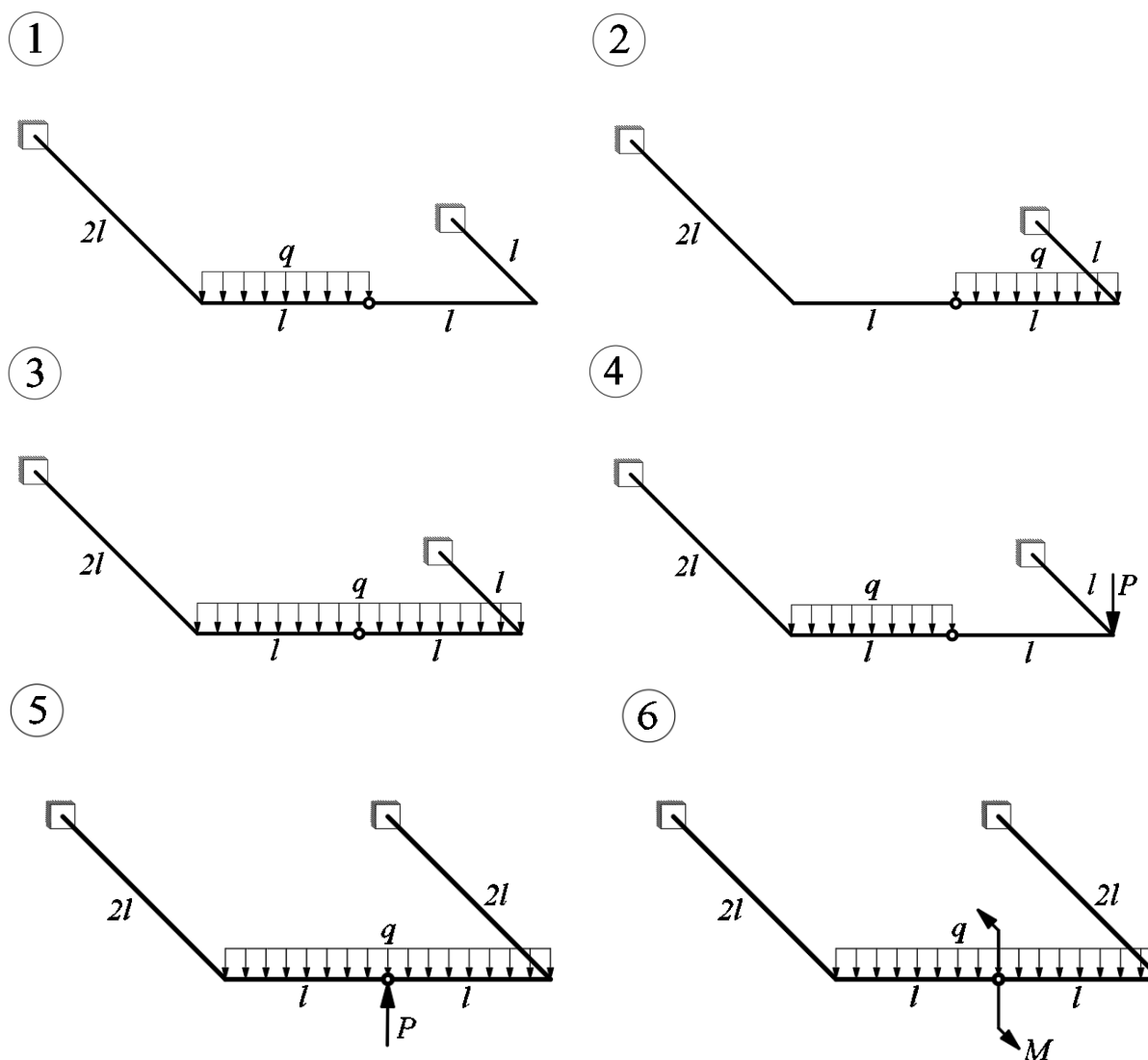
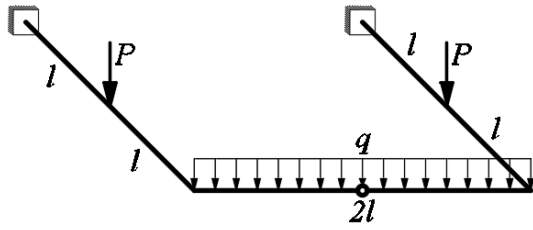
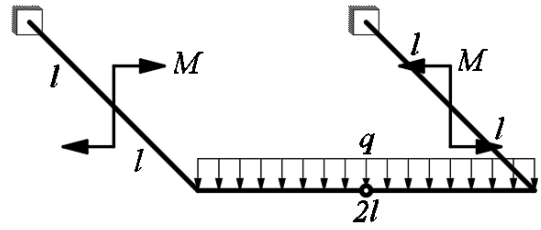


Рис. 7

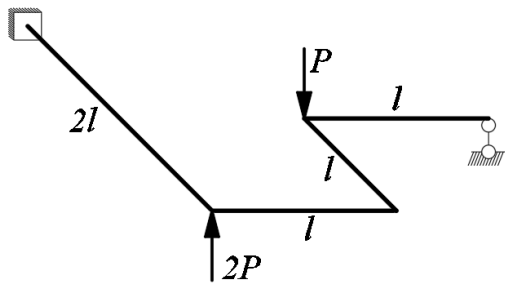
7



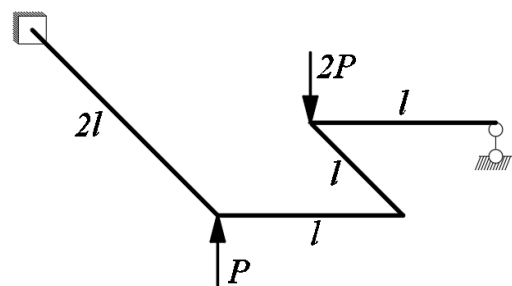
8



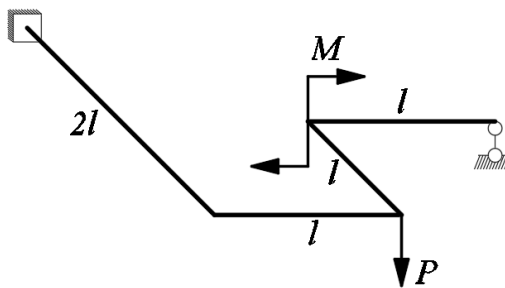
9



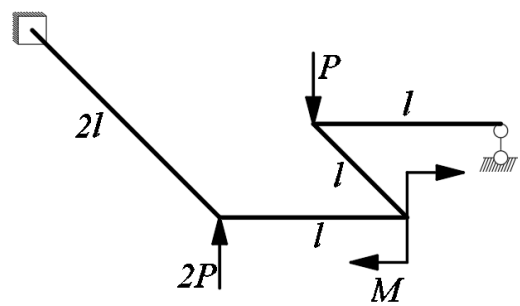
10



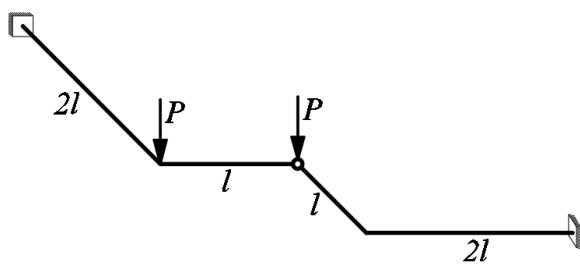
11



12



13



14

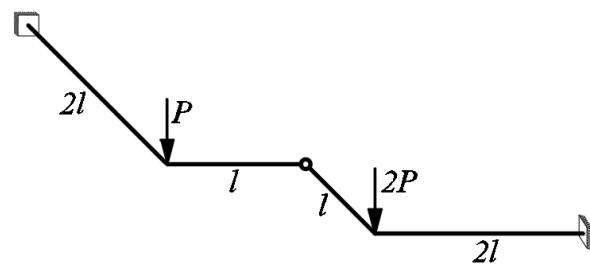
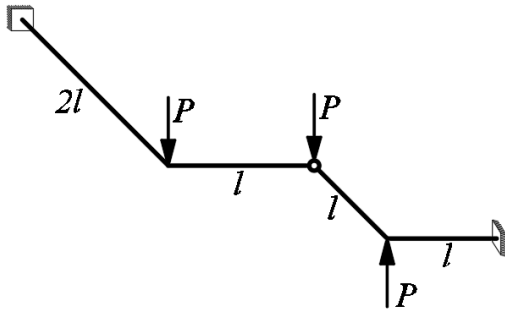
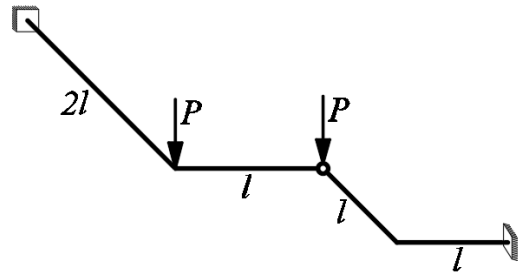


Рис. 7 (продолжение)

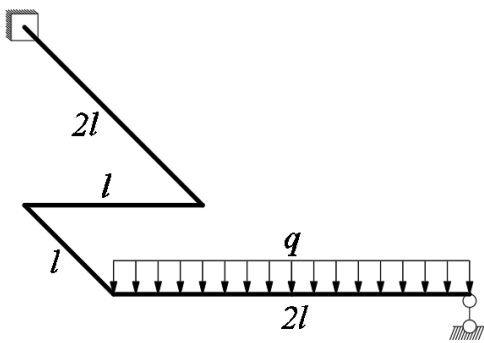
15



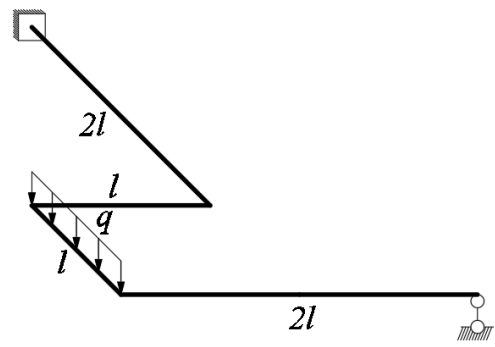
16



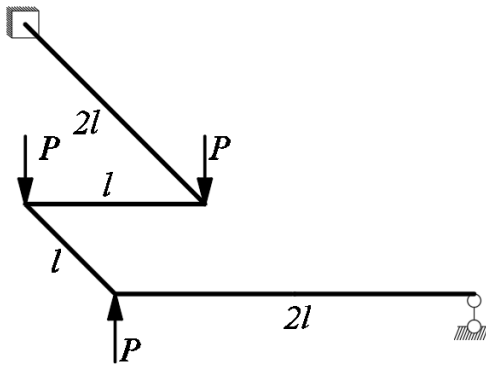
17



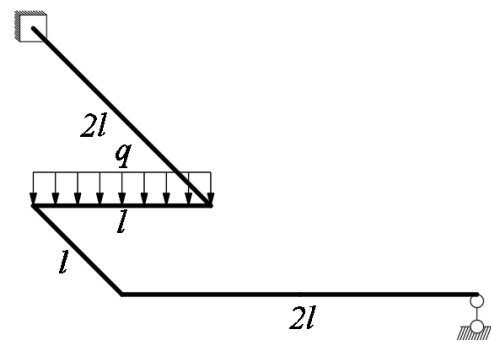
18



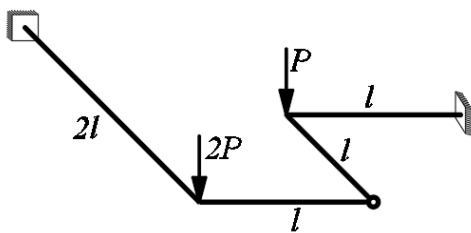
19



20



21



22

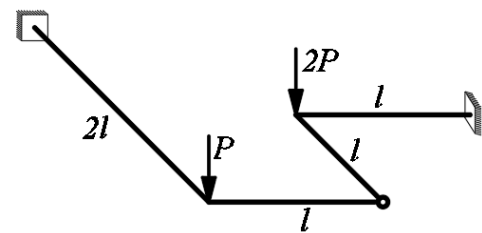
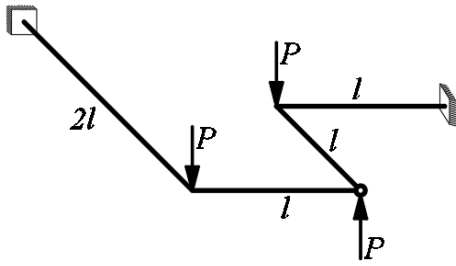
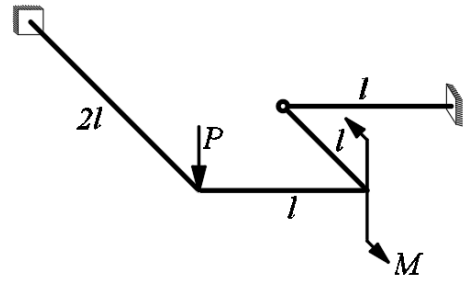


Рис. 7 (продолжение)

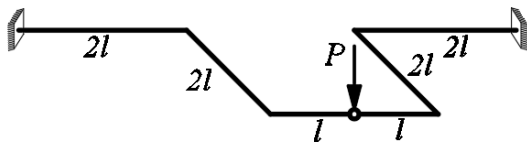
23



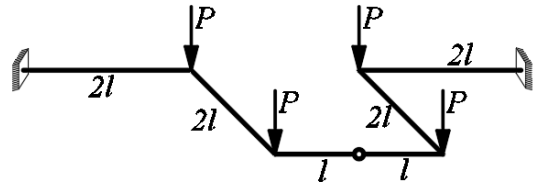
24



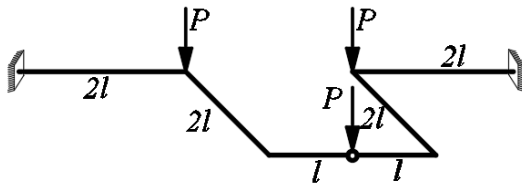
25



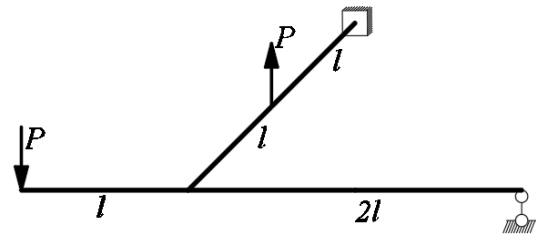
26



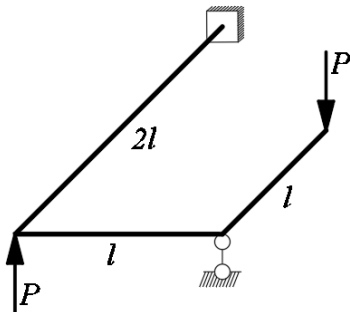
27



28



29



30

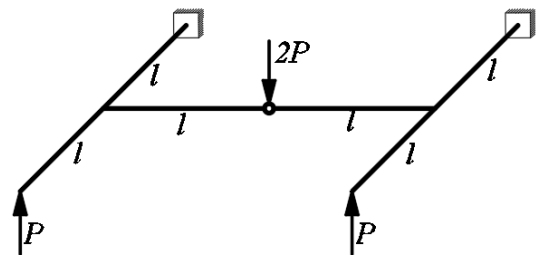


Рис. 7 (продолжение)

## 8. ПРОДОЛЬНЫЙ ИЗГИБ

Для сжатого прямолинейного стержня (рис. 8.2) требуется:

1) подобрать прямоугольное поперечное сечение с соотношением сторон  $h : b = 2 : 1$  (рис. 8.1а);

2) подобрать двутавровое поперечное сечение согласно ГОСТ Р 57837-2017 (рис. 8.1б).

В расчетах принять допускаемое напряжение  $[\sigma] = 210$  МПа. Подбор размеров поперечного сечения производить с применением коэффициента снижения допускаемого напряжения. Исходные данные для расчета следует взять из таблицы 8.

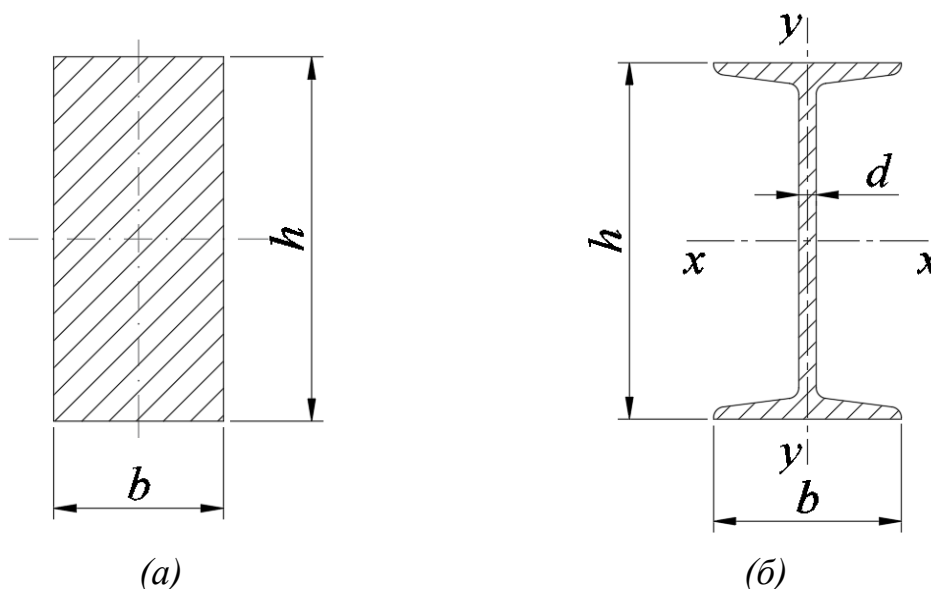


Рис. 8.1

Таблица 8. Исходные данные

№ строки	№ схемы	$l$ , м	$P$ , кН	Материал стойки
1	2	2	450	Сталь Ст. 2
2	3	2,5	400	Сталь Ст. 3
3	5	3	350	Сталь 20
4	4	3,5	300	Сталь Ст. 5
5	1	4	250	Сталь 45
6	6	4,5	200	Дюралюминий Д16Т
7	8	5	450	Чугун
8	7	2	400	Сосна
9	9	2,5	350	Ель
0	10	3	300	Сталь Ст. 4
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>

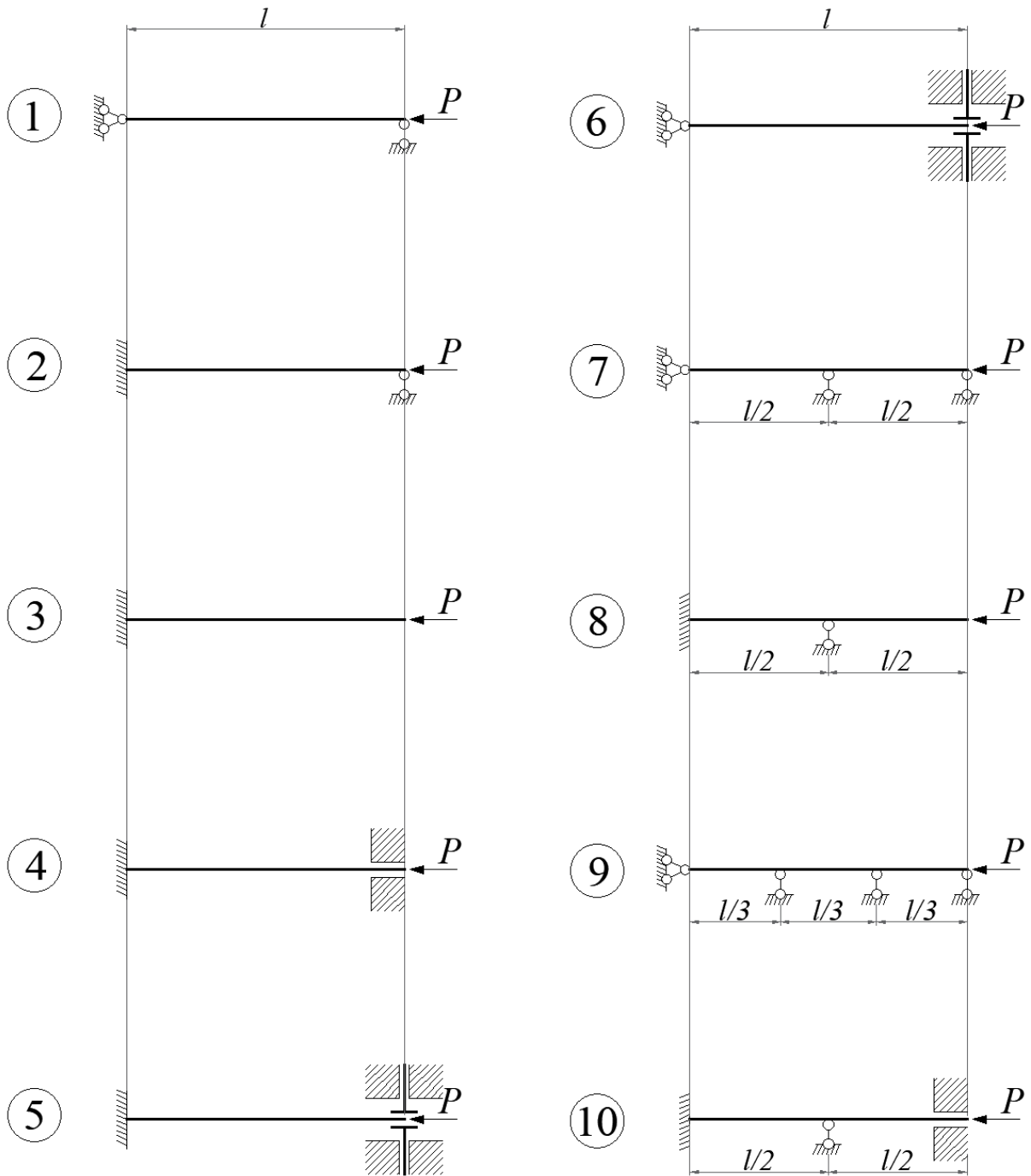


Рис. 8.2

## 9. ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ

Для балки, изображенной на рис. 9.1, требуется определить максимальные нормальные напряжения и максимальный прогиб. Поперечное сечение балки изображено на рис. 9.2.

Данные для расчета взять из таблицы 9. 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.

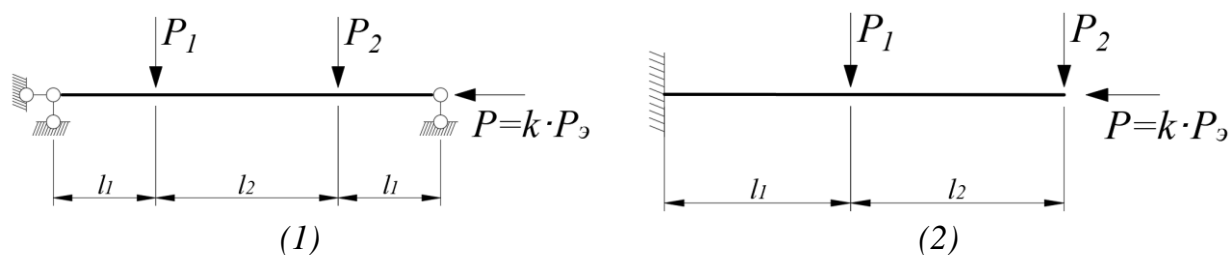


Рис. 9.1



Рис. 9.2

Таблица 9. Исходные данные

№ строки	№ схемы	Сечение балки	Длина, м		Сила, кН		$k$
			$L_1$	$L_2$	$P_1$	$P_2$	
1	1	Тип 1 ( $h = 24$ см)	1,0	1,1	5	6	0,10
2	2	Тип 2 (Двутавр №25Б1)	1,1	1,2	6	7	0,15
3	1	Тип 1 ( $h = 27$ см)	1,2	1,3	7	8	0,20
4	2	Тип 2 (Двутавр №25Б4)	1,3	1,4	8	9	0,25
5	1	Тип 1 ( $h = 30$ см)	1,4	1,5	9	10	0,30
6	2	Тип 2 (Двутавр №30Б1)	1,5	1,6	10	11	0,35
7	1	Тип 1 ( $h = 33$ см)	1,6	1,7	11	12	0,40
8	2	Тип 2 (Двутавр №30Б4)	1,7	1,8	12	13	0,45
9	1	Тип 1 ( $h = 36$ см)	1,8	1,9	13	14	0,50
0	2	Тип 2 (Двутавр №35Б1)	1,9	2,0	14	15	0,55
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>

## 10. БАЛКА НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Для балки на упругом основании (рис. 10) требуется построить эпюры изгибающих моментов, поперечных сил, прогибов, углов поворота и интенсивностей полной нагрузки. При построении эпюр необходимо вычислить значения интенсивностей изгибающих моментов, поперечных сил, суммарной распределенной нагрузки, прогибов и углов поворота не менее, чем в десяти точках по длине балки (в том числе во всех характерных).

Данные для расчета взять из таблиц 10.1 и 10.2. При расчете принять  $P = \alpha ql$ ;  $M = \beta ql^2$ , расчетное сопротивление  $R = 200$  МПа.

Таблица 10.1. Исходные данные

№ строки	Схема балки	Схема нагрузки	Коэффициенты			$L, \text{ м}$	$q, \text{ т/м}$	Коэффициент условий работы $\gamma_c$
			$\alpha$	$\beta$	$\gamma$			
1	1	1	0,2	-0,35	0,75	4,0	4,8	0,93
2	2	2	0,3	0,40	0,65	4,5	4,4	0,91
3	3	3	0,4	-0,45	0,55	5,0	3,6	0,89
4	4	4	0,5	0,55	0,45	5,5	2,4	0,87
5	5	5	0,6	-0,50	0,35	6,0	1,6	0,85
6	6	6	0,7	0,10	0,70	6,5	3,0	0,83
7	7	7	0,8	-0,15	0,60	7,0	2,0	0,81
8	8	8	0,9	0,20	0,50	7,5	4,0	0,79
9	9	9	1,0	-0,25	0,40	8,0	5,0	0,77
0	0	0	1,2	0,30	0,30	8,5	1,5	0,75
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>

Таблица 10.2. Исходные данные

№ строки	Модуль упругости, $\text{т/м}^2$	Коэффициент жесткости упругого основания $k, \text{ т/м}^3$	Ширина балки, м	Момент инерции сечения, $\text{м}^4$
1	$0,8 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^3$	1,0	0,40
2	$0,9 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^3$	1,2	0,50
3	$1,0 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^3$	1,4	0,60
4	$1,0 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^3$	1,6	0,44
5	$1,1 \cdot 10^6$	$10 \cdot 10^3$	1,8	0,56
6	$1,2 \cdot 10^6$	$12 \cdot 10^3$	2,0	0,64
7	$0,8 \cdot 10^6$	$14 \cdot 10^3$	1,3	0,48
8	$0,9 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^3$	1,5	0,52
9	$1,2 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^3$	1,7	0,62
0	$1,1 \cdot 10^6$	$20 \cdot 10^3$	1,9	0,58
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>

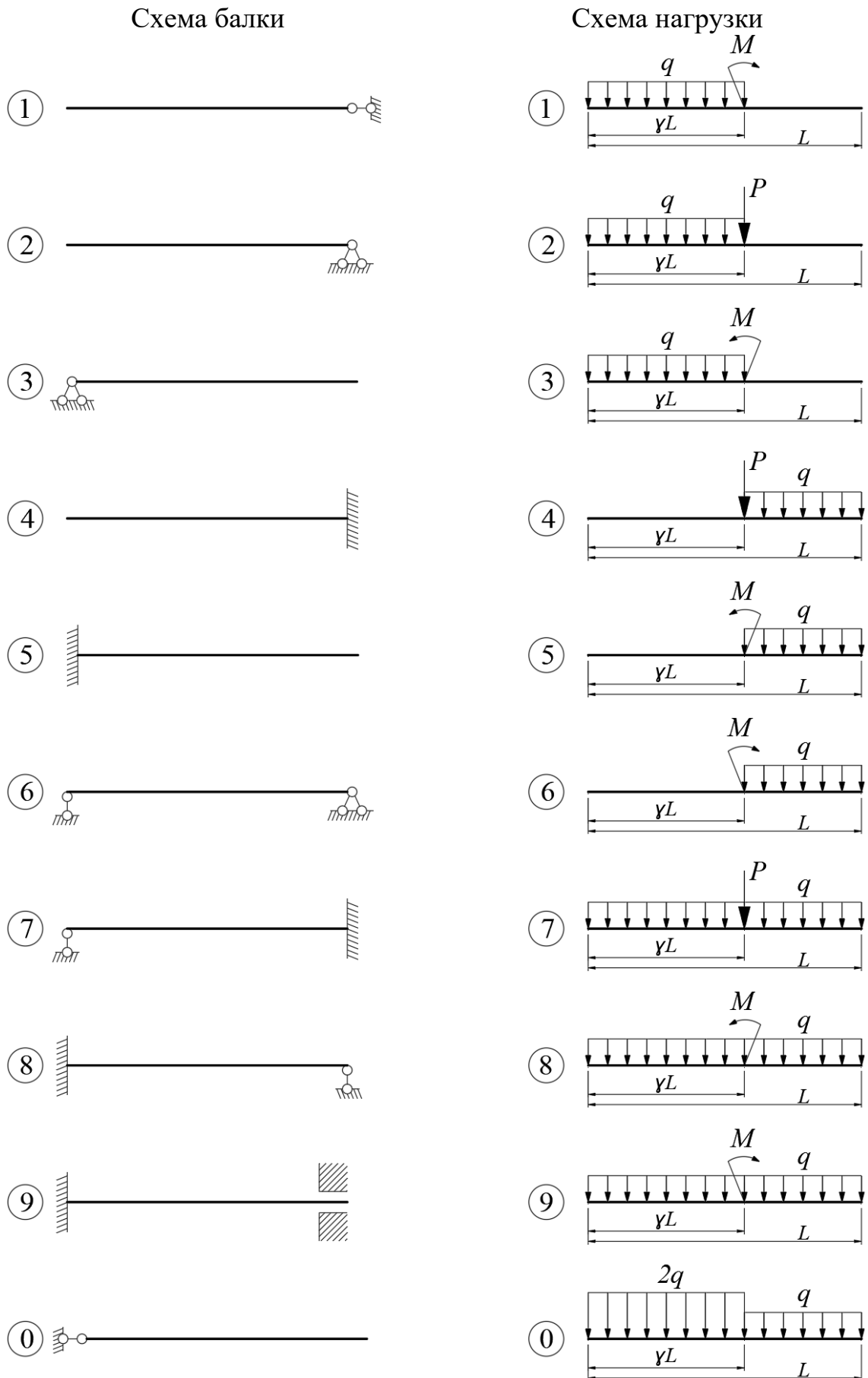


Рис. 10

## 11. РАСЧЕТ НА УДАРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Стержневая статически определимая система (рис. 11.1) подвержена ударному воздействию груза весом  $G$ . Поперечное сечение конструкции – двутавровое. Требуется:

- 1) определить перемещение в точке падения груза (точка  $k$ );
- 2) определить наибольшее нормальное напряжение.

Данные для расчета взять из таблицы 11.

Таблица 11. Исходные данные

№ строки	Поперечное сечение	Длина, м			$G$ , кг	$V$ , м/с	$h$ , см
		$l_1$	$l_2$	$l_3$			
1	Двутавр №18Б1	2,0	1,5	1,0	500	1	5,0
2	Двутавр №18Б2	3,0	2,0	1,5	600	1,5	6,0
3	Двутавр №20Б1	3,5	2,5	2,0	900	1,3	2,0
4	Двутавр №20Б3	4,0	3,0	2,5	750	2,0	3,0
5	Двутавр №25Б1	4,5	3,5	3,0	850	1,7	4,0
6	Двутавр №25Б3	5,0	4,0	3,5	550	1,8	7,0
7	Двутавр №30Б1	5,5	4,5	4,0	650	1,9	8,0
8	Двутавр №30Б3	2,0	1,5	1,0	700	1,2	9,0
9	Двутавр №35Б1	3,0	2,0	1,5	950	1,1	2,5
0	Двутавр №35Б3	3,5	2,5	2,0	1000	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>

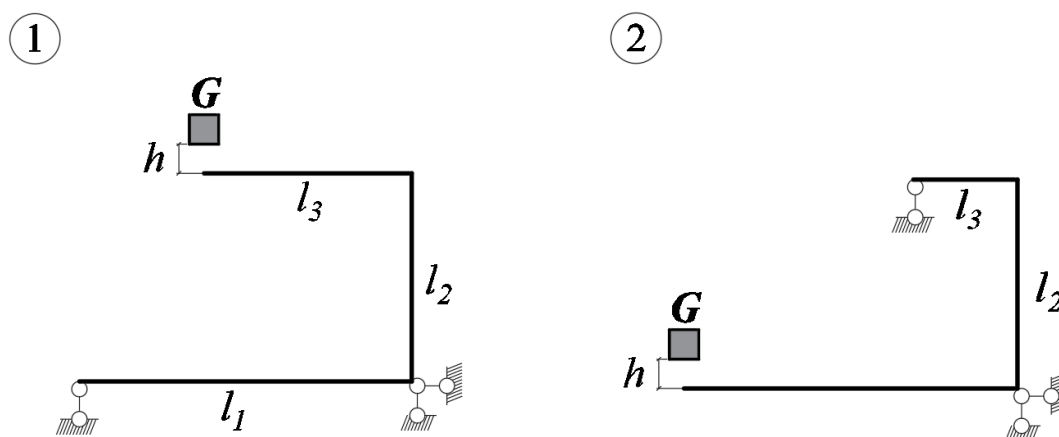
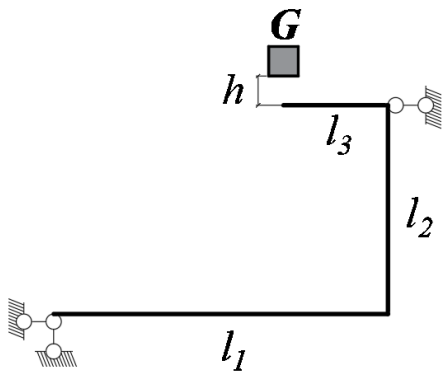
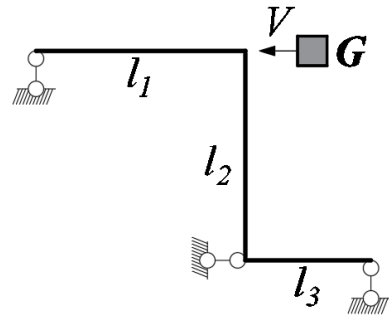


Рис. 11

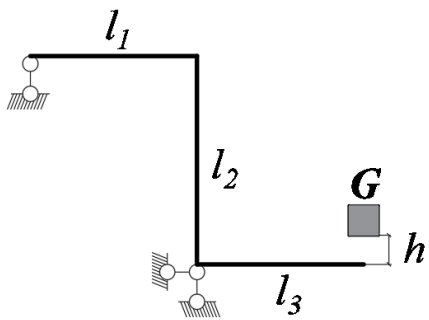
3



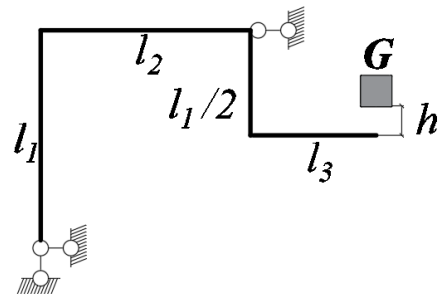
4



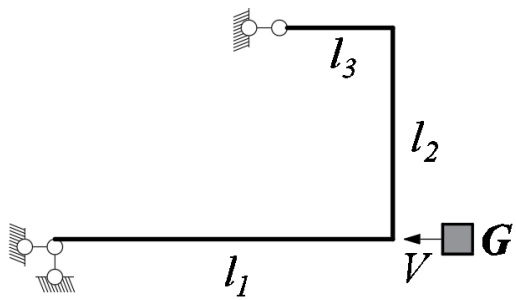
5



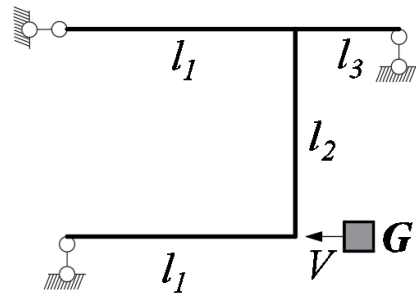
6



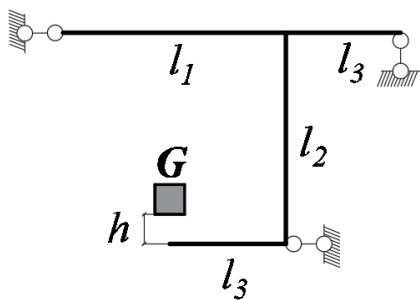
7



8



9



10

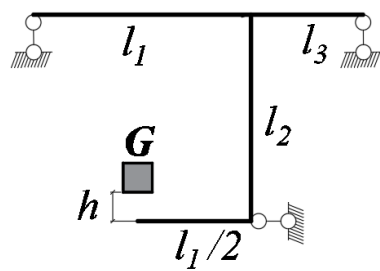


Рис. 11 (продолжение)

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

В окрестности произвольной точки тела выделен бесконечно малый параллелепипед, на гранях которого действуют напряжения (рис. 12). 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  $\mu = 0,3$ , модуль упругости второго рода  $G = 0,8 \cdot 10^5$  МПа, расчетное сопротивление  $R = 200$  МПа.

Исходные данные для расчета взять из таблицы 9.

Таблица 9. Исходные данные

№ строки	Нормальные напряжения, МПа			Касательные напряжения, МПа			Коэффициент условий работы $\gamma_c$
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\tau_{xy}$	$\tau_{yz}$	$\tau_{xz}$	
1	-20	20	20	-50	50	50	0,93
2	30	-20	40	30	-50	40	0,91
3	40	30	-30	20	40	-30	0,89
4	-50	30	50	-30	40	20	0,87
5	20	-40	20	50	-30	50	0,85
6	30	40	-40	30	30	-40	0,83
7	-40	50	30	-20	20	30	0,81
8	50	-50	50	40	-20	20	0,79
9	20	20	-20	50	50	-50	0,77
0	-30	20	40	-30	50	40	0,75
	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>

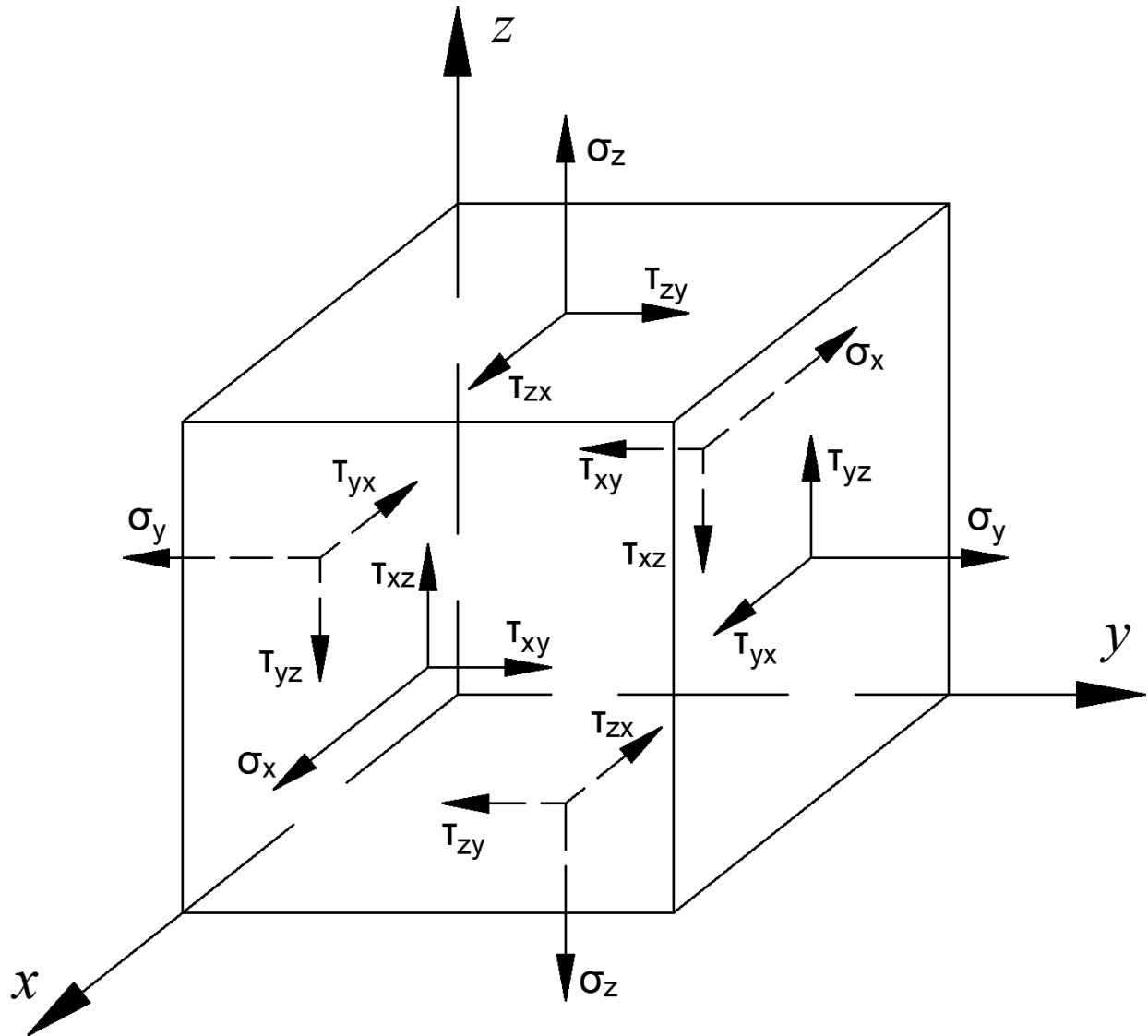


Рис. 12

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ 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,
- $x_c$  - координата центра тяжести сечения в системе  $xOy$ ,
- $y_c$  - координата центра тяжести сечения в системе  $xOy$ ,
- $J_x$  - осевой момент инерции относительно оси  $X$ ,
- $J_y$  - осевой момент инерции относительно оси  $Y$ ,
- $J_{xy}$  - центробежный момент инерции.

Таблица А.1

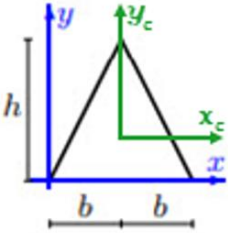
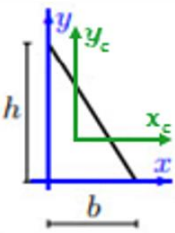
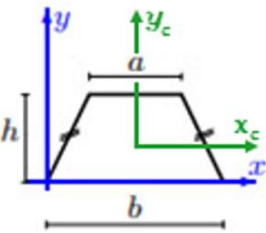
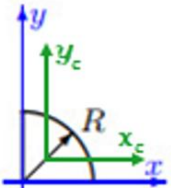
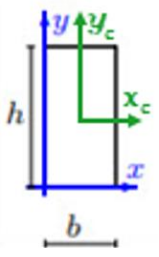
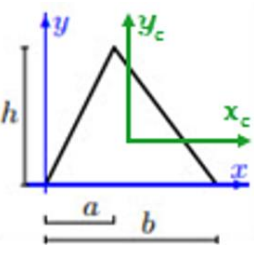
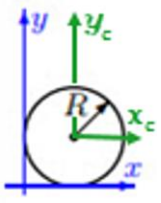
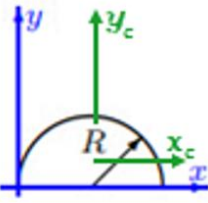
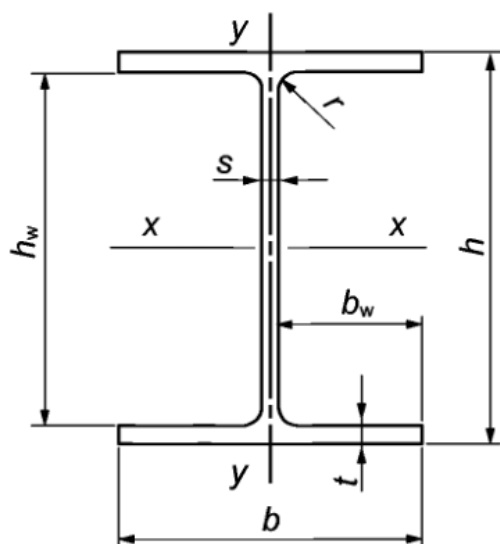
				
$A$	$bh$	$\frac{bh}{2}$	$\frac{h(a+b)}{2}$	$\frac{\pi R^2}{4}$
$x_c$	$b$	$\frac{b}{3}$	$\frac{b}{2}$	$\frac{4R}{3\pi}$
$y_c$	$\frac{h}{3}$	$\frac{h}{3}$	$\frac{h(2a+b)}{3(a+b)}$	$\frac{4R}{3\pi}$
$J_x$	$\frac{bh^3}{6}$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{h^3(3a+b)}{12}$	$\frac{\pi R^4}{16}$
$J_y$	$\frac{7hb^3}{6}$	$\frac{hb^3}{12}$	$\frac{h(a+b)(a^2+7b^2)}{48}$	$\frac{\pi R^4}{16}$
$J_{xy}$	$\frac{b^2h^2}{3}$	$\frac{b^2h^2}{24}$	$\frac{bh^2(2a+b)}{12}$	$\frac{R^4}{8}$
$J_{xc}$	$\frac{bh^3}{18}$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{h^3((a+b)^2+2ab)}{36(a+b)}$	$R^4 \left( \frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi} \right)$
$J_{yc}$	$\frac{hb^3}{6}$	$\frac{hb^3}{36}$	$\frac{h(a+b)(a^2+b^2)}{48}$	$R^4 \left( \frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi} \right)$
$J_{xyc}$	$0$	$-\frac{b^2h^2}{72}$	$0$	$R^4 \left( \frac{1}{8} - \frac{4}{9\pi} \right)$

Таблица А.2

				
A	$bh$	$\frac{bh}{2}$	$\pi R^2$	$\frac{\pi R^2}{2}$
$x_c$	$\frac{b}{2}$	$\frac{a+b}{3}$	$R$	$R$
$y_c$	$\frac{h}{2}$	$\frac{h}{3}$	$R$	$\frac{4R}{3\pi}$
$J_x$	$\frac{bh^3}{3}$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{5\pi R^4}{4}$	$\frac{\pi R^4}{8}$
$J_y$	$\frac{hb^3}{3}$	$\frac{hb(a^2 + ab + b^2)}{12}$	$\frac{5\pi R^4}{4}$	$\frac{5\pi R^4}{8}$
$J_{xy}$	$\frac{b^2 h^2}{4}$	$\frac{bh^2(2a+b)}{24}$	$\pi R^4$	$\frac{2R^4}{3}$
$J_{x_c}$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{\pi R^4}{4}$	$R^4 \left( \frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi} \right)$
$J_{y_c}$	$\frac{hb^3}{12}$	$\frac{hb(a^2 - ab + b^2)}{12}$	$\frac{\pi R^4}{4}$	$\frac{\pi R^4}{8}$
$J_{x_{yc}}$	0	$\frac{bh^2(2a-b)}{72}$	0	0

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



*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*

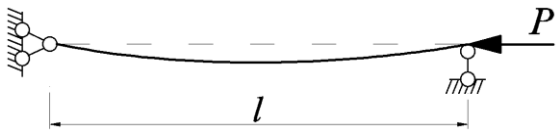
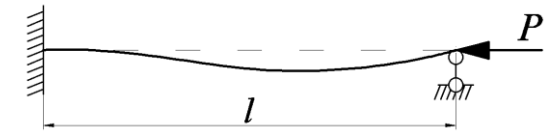
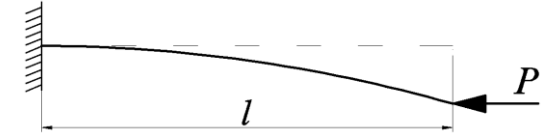
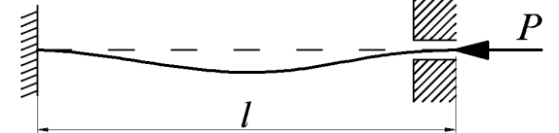
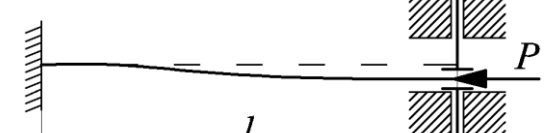
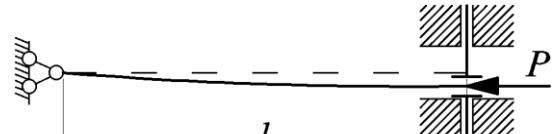
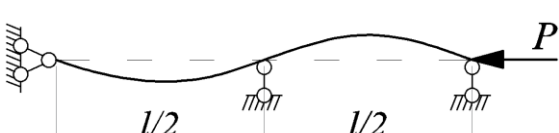
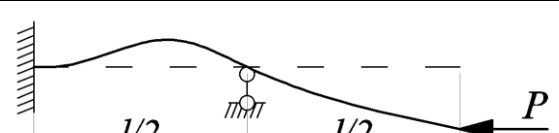
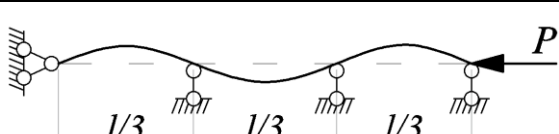
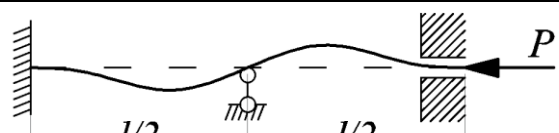
*Рисунок Б.1*

Таблица Б.1

Номер профиля	Номинальные размеры							Номинальная площадь поперечного сечения $F_w$ , $\text{см}^2$	Номинальная масса 1м двутавра, кг	Справочные величины для осей профиля							
	$h$	$b$	$s$	$t$	$h_w$	$b_w$	$r$			$I_x$ , $\text{см}^4$	$W_x$ , $\text{см}^3$	$S_x$ , $\text{см}^3$	$i_x$ , мм	$I_y$ , $\text{см}^4$	$W_y$ , $\text{см}^3$	$S_y$ , $\text{см}^3$	$i_y$ , мм
Тип Б – Балочные нормальные двутавры																	
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 В Коэффициенты приведения длины

Таблица В.1

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

**Приложение Г Зависимость коэффициента снижения допускаемого  
напряжения от гибкости стержня**

Таблица Г.1

$\lambda$	Сталь Ст. 2 Ст. 3 Ст. 4	Ст. 5	Чугун	Дерево
0	1	1	1	1
10	0,99	0,98	0,97	0,99
20	0,96	0,95	0,91	0,97
30	0,94	0,92	0,81	0,93
40	0,92	0,89	0,69	0,87
50	0,89	0,86	0,57	0,8
60	0,86	0,82	0,44	0,71
70	0,81	0,76	0,34	0,6
80	0,75	0,7	0,26	0,48
90	0,69	0,62	0,2	0,38
100	0,6	0,51	0,16	0,31
110	0,52	0,43	-	0,25
120	0,45	0,36	-	0,22
130	0,4	0,33	-	0,18
140	0,36	0,29	-	0,16
150	0,32	0,26	-	0,14
160	0,29	0,24	-	0,12
170	0,26	0,21	-	0,11
180	0,23	0,19	-	0,1
190	0,21	0,17	-	0,09
200	0,19	0,16	-	0,08
210	0,17	0,14	-	-
220	0,16	0,13	-	-

## Приложение Д Характеристики материала

Таблица Д.1

Материал	$E$ , МПа	$\sigma_{\text{шт.}}$ , МПа	$a$ , МПа	$b$ , МПа	$c$ , 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 Сталь 20	$2 \cdot 10^5$	217	328	1,15	-	60	96
Сталь Ст. 5	$2 \cdot 10^5$	240	343	1,13	-	57	91
Сталь 45	$2 \cdot 10^5$	270	449	1,67	-	52	85
Дюралюминий Д16Т	$0,7 \cdot 10^5$	170	406	2,83	-	30	65
Чугун	$1,2 \cdot 10^5$	180	776	12	0,053	-	80
Сосна, ель	$0,1 \cdot 10^5$	20	29,3	0,194	-	-	70

Учебное издание

БАЛАКИРЕВА Евгения Андреевна

ГРУЗДЕВ Александр Сергеевич

НАДЕЖДИН Владимир Сергеевич

ТИТОВ Олег Вадимович

СБОРНИК ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ  
ПО КУРСУ «СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»  
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ  
ЧАСТЬ 2