



МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

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**

Цена 270 руб.

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 допустимого 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 |
| | А | Б | В | Г | А | Б |

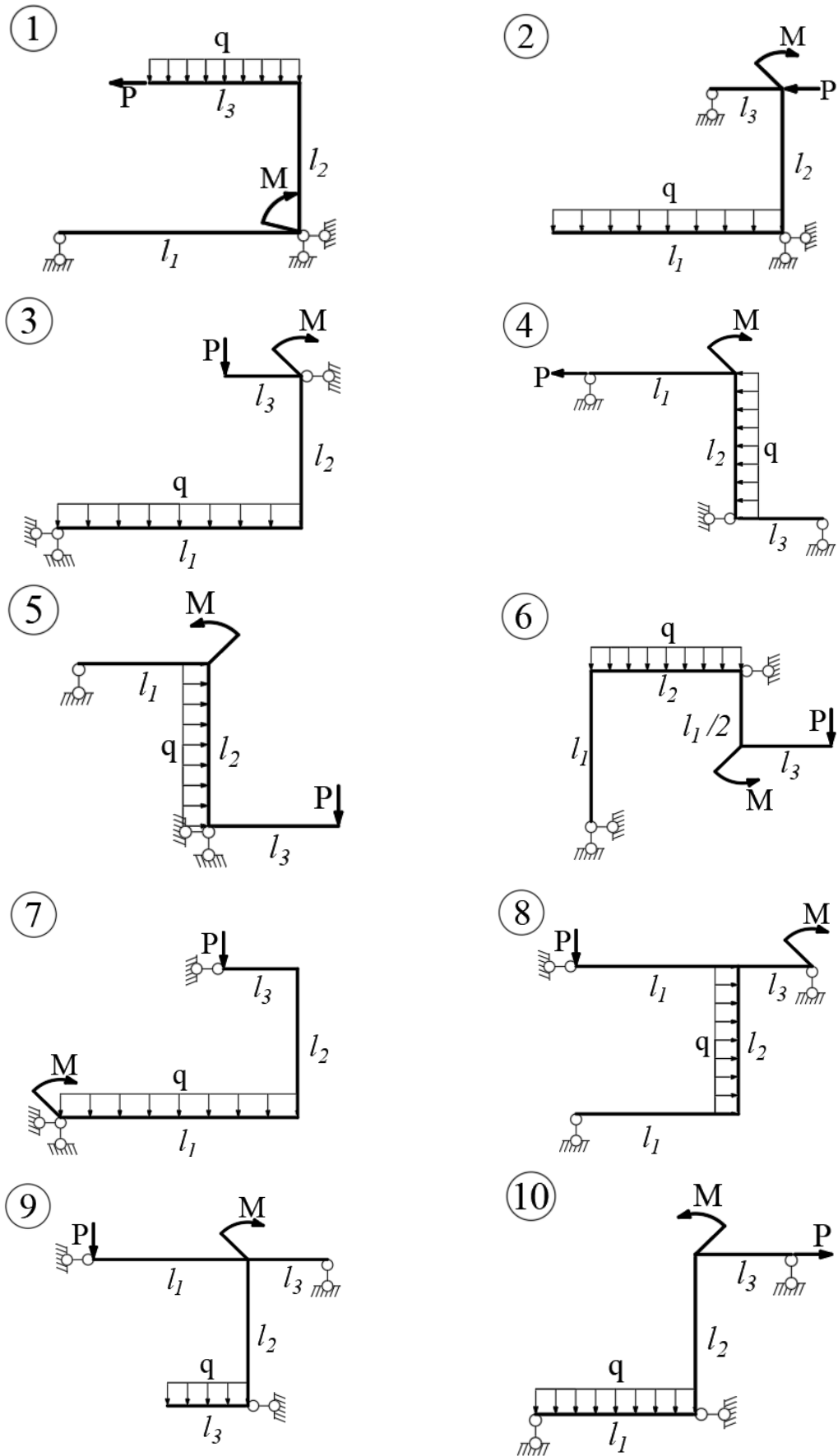


Рис. 1.1

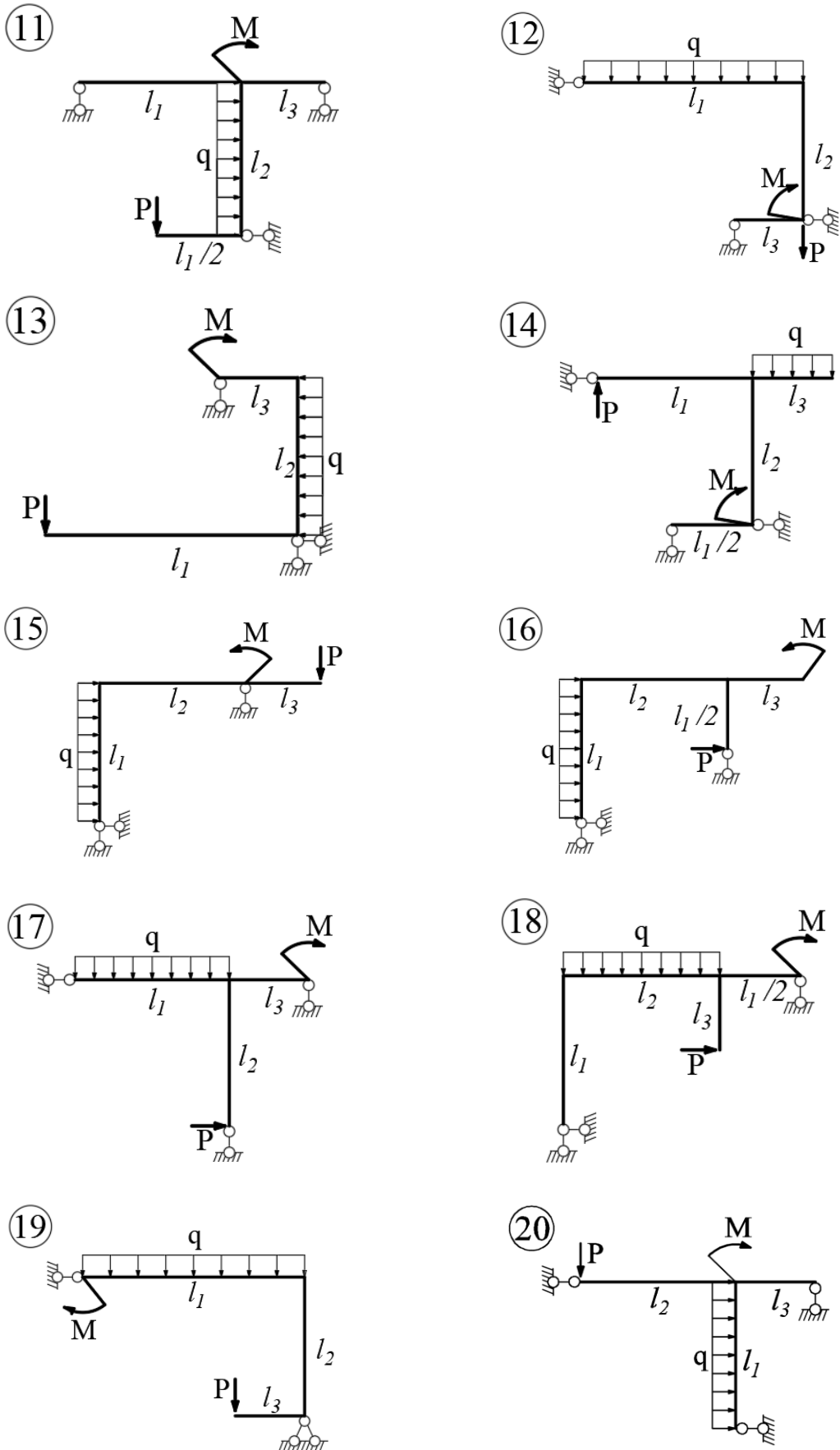


Рис. 1.1 (продолжение)

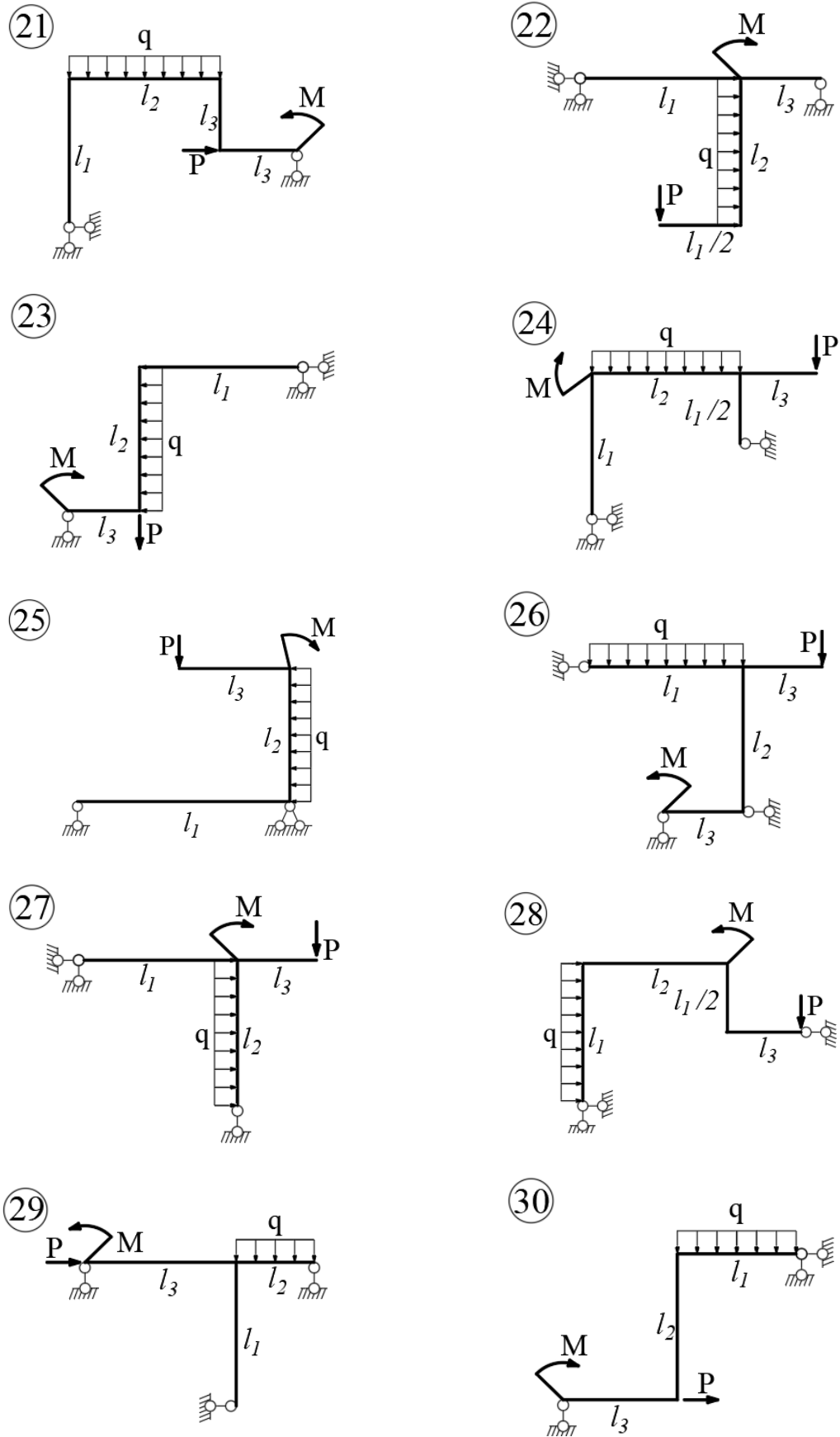


Рис. 1.1 (окончание)

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.

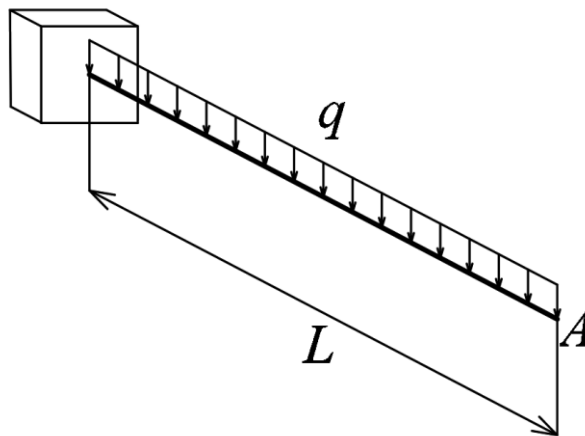


Рис. 2.1

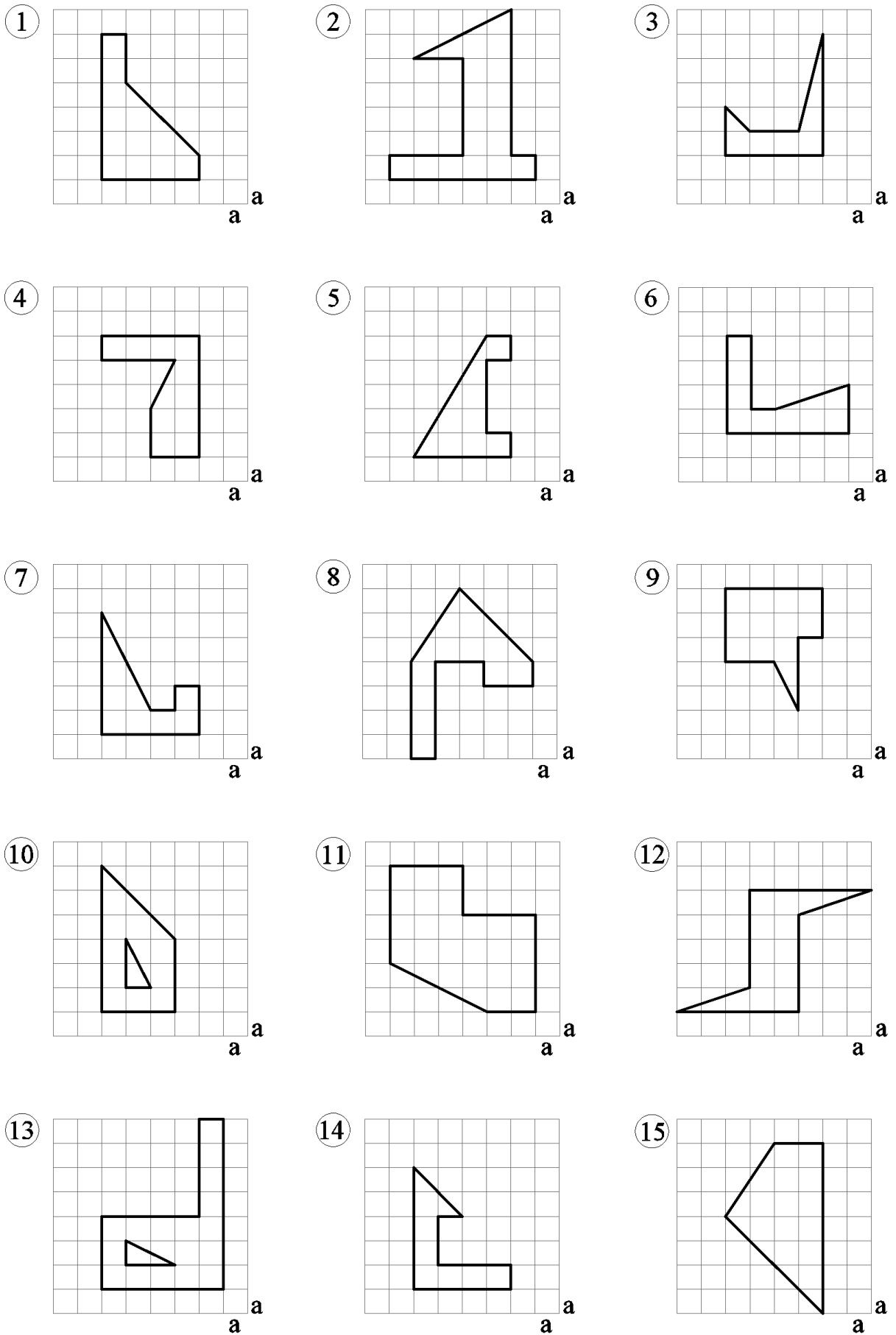


Рис. 2.2

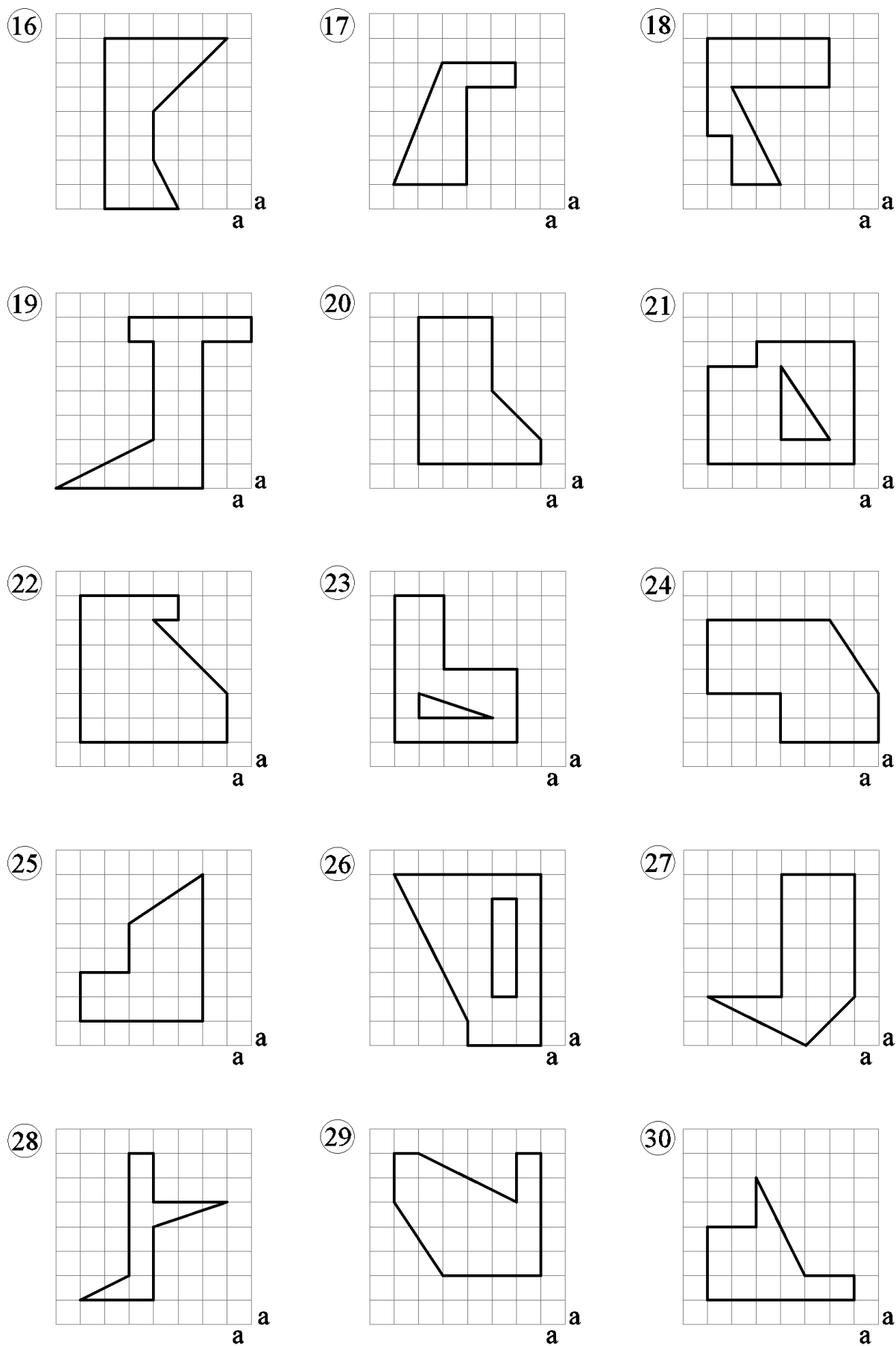


Рис. 2.2 (окончание)

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;
- 6) построить ядро сечения.

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

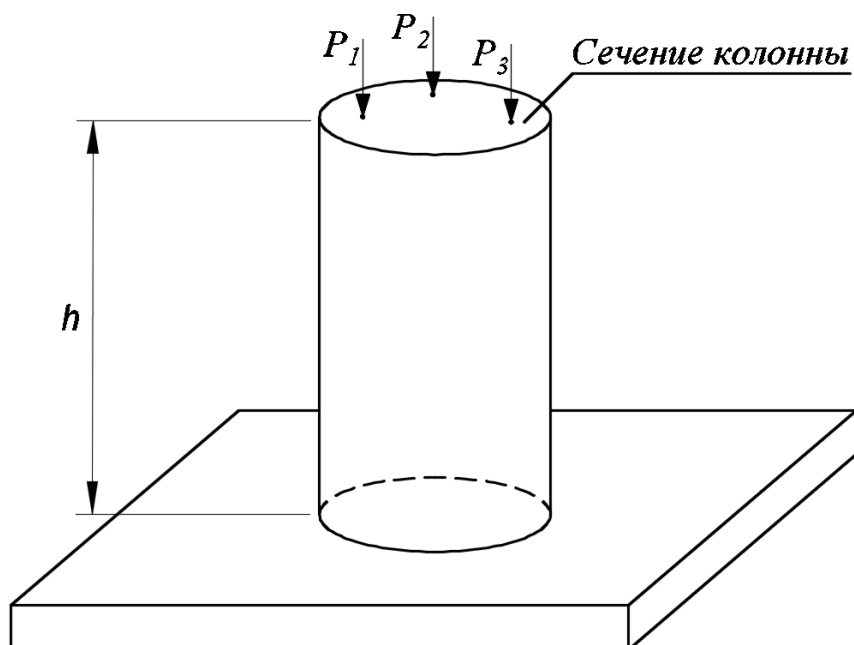


Рис. 3.1

Таблица 3.1

Исходные данные

| № строки | Высота h , м | Объемный вес γ , т/м ³ | Силы, кН | | | Допускаемое напряжение материала $[\sigma]$, МПа | |
|----------|----------------|------------------------------------------|----------|----------|----------|---------------------------------------------------|----------------|
| | | | P_1 | P_2 | P_3 | при сжатии | при растяжении |
| 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 |
| | А | Б | В | Г | А | Б | В |

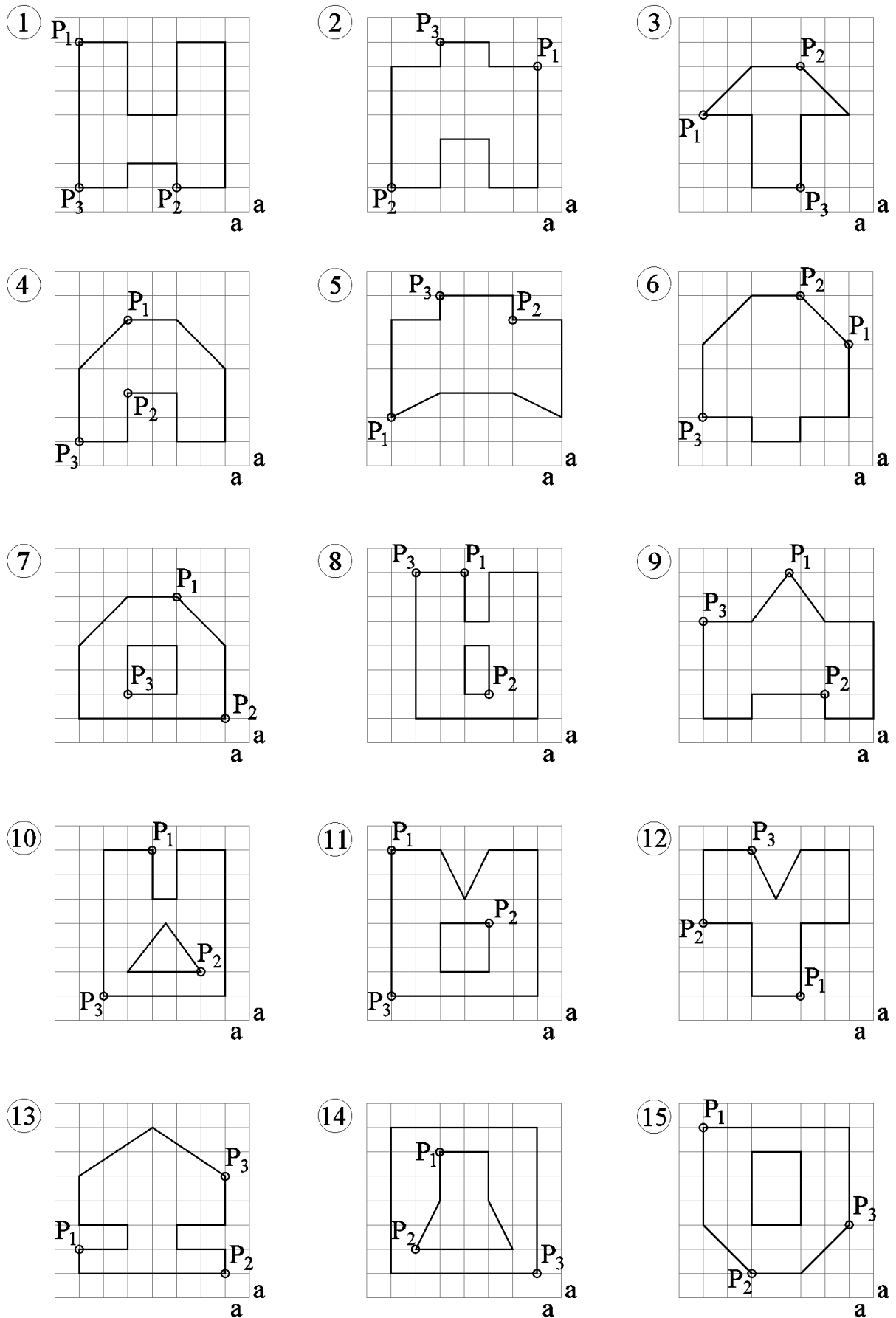


Рис. 3.2

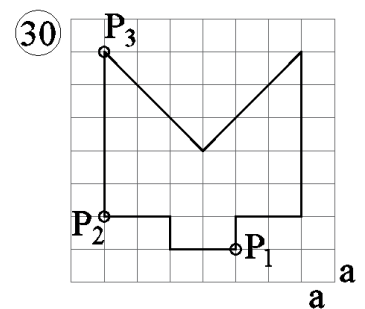
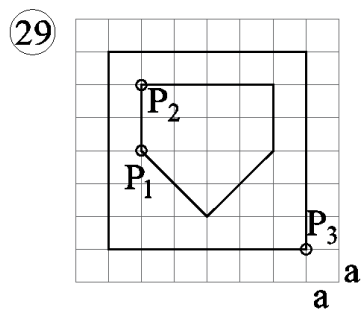
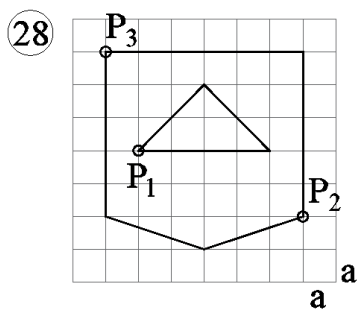
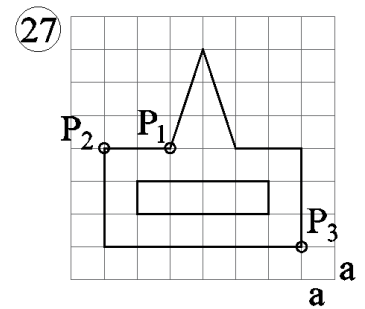
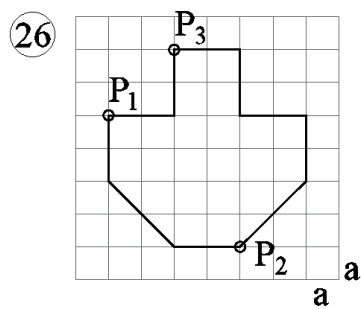
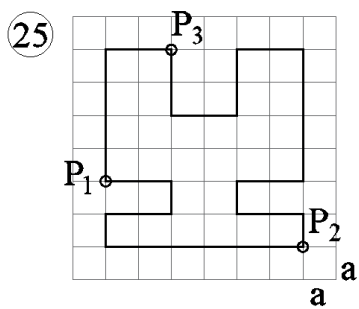
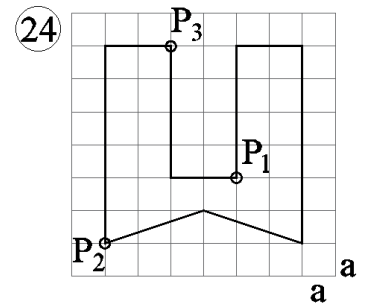
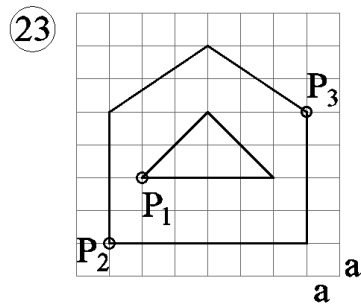
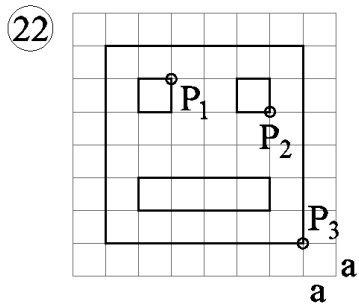
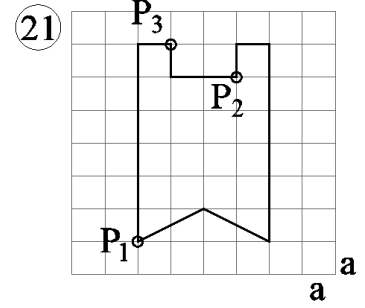
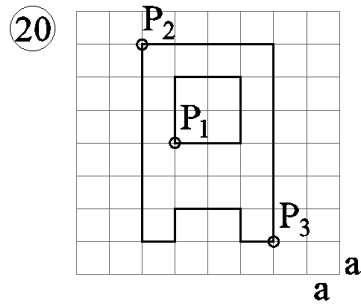
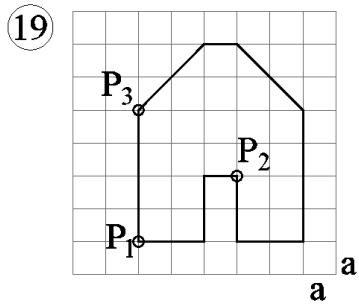
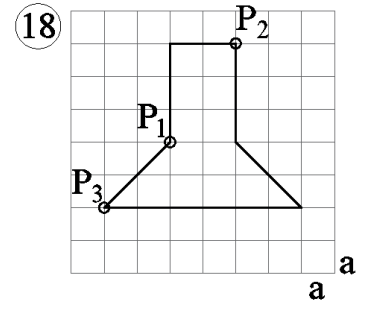
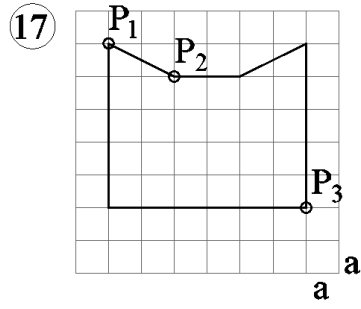
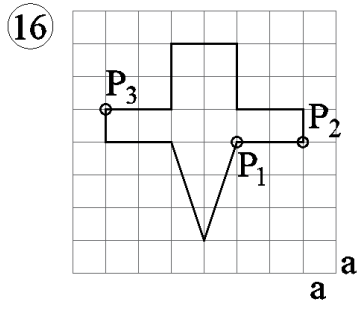


Рис. 3.2 (окончание)

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 $\mu = 0,3$, модуль упругости второго рода $G = 0,8 \cdot 10^5$ МПа, 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 | | |
|----------|----------------------------|------------|------------|-----------------------------|-------------|-------------|
| | σ_x | σ_y | σ_z | τ_{xy} | τ_{yz} | τ_{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 |
| | А | Б | В | Г | А | Б |

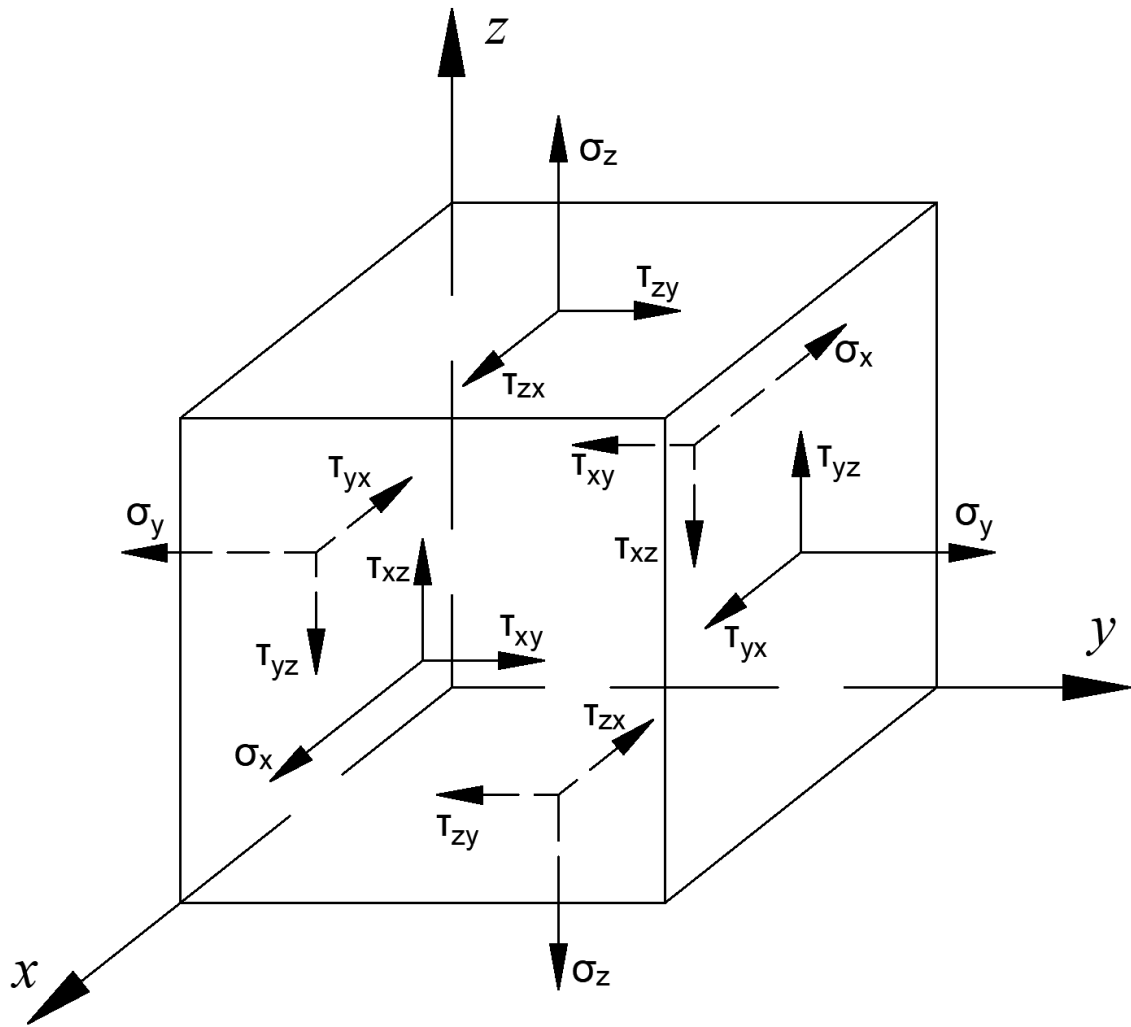


Рис. 4.1

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.

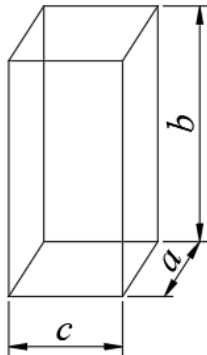


Рис. 5.1

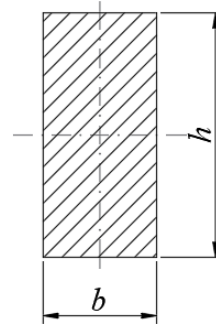
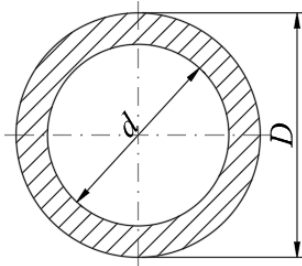


Рис. 5.2

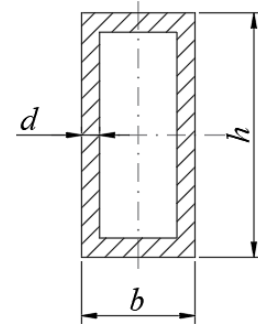


Таблица 5.1

Исходные данные

| № строки | № 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 |
| | А | Б | В | Г | А | Б | В |

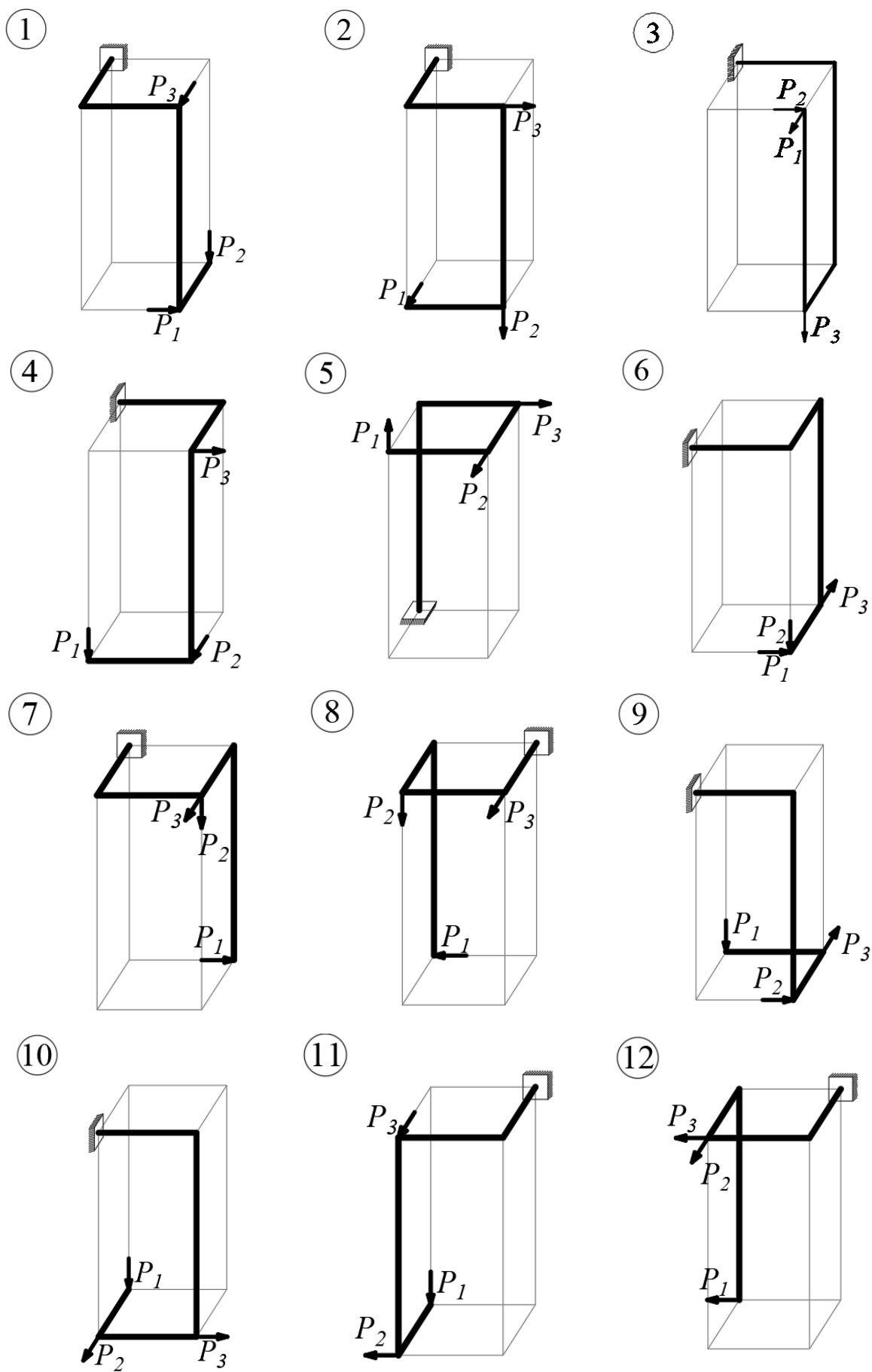


Рис. 5.3

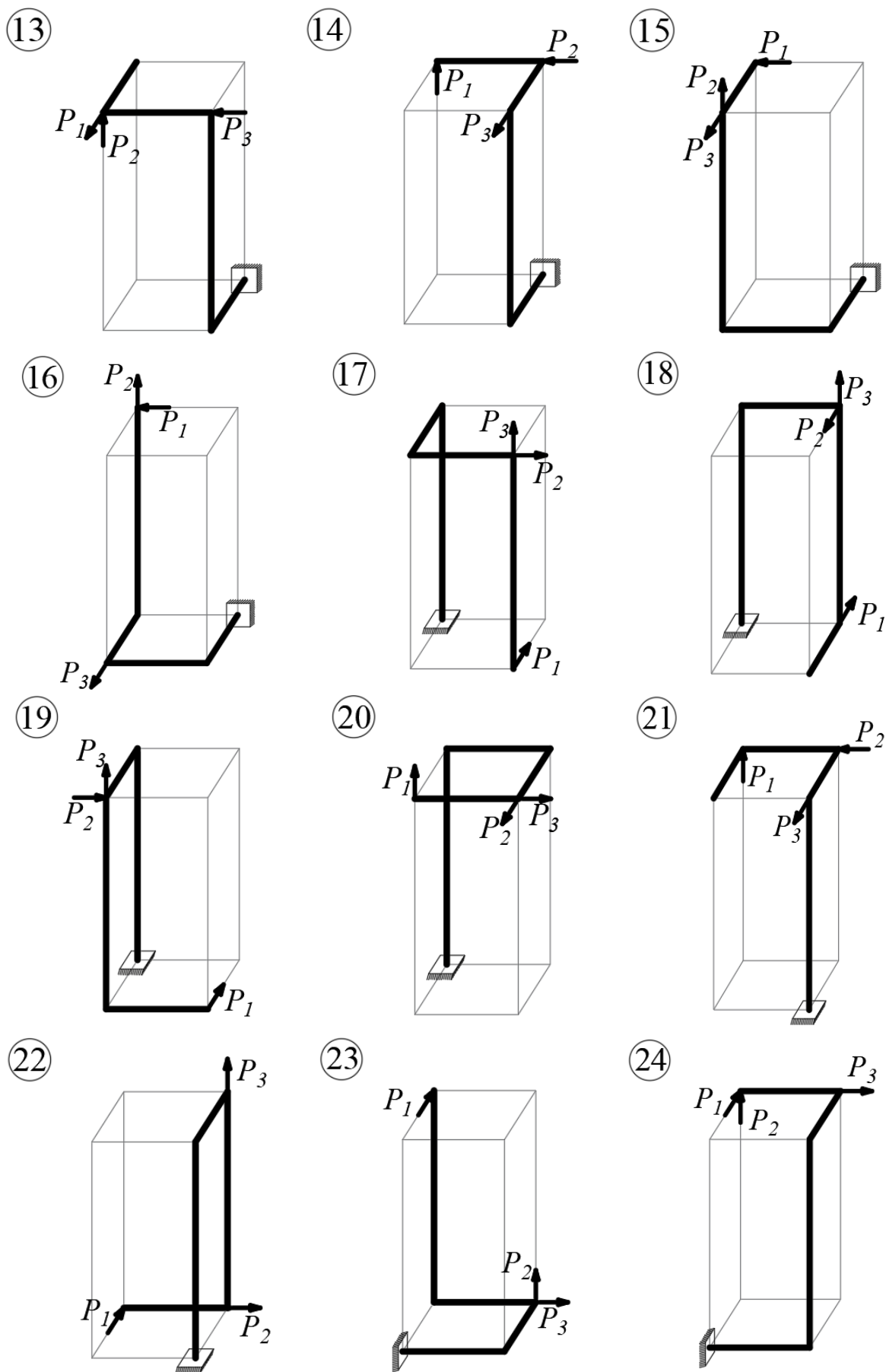


Рис. 5.3 (продолжение)

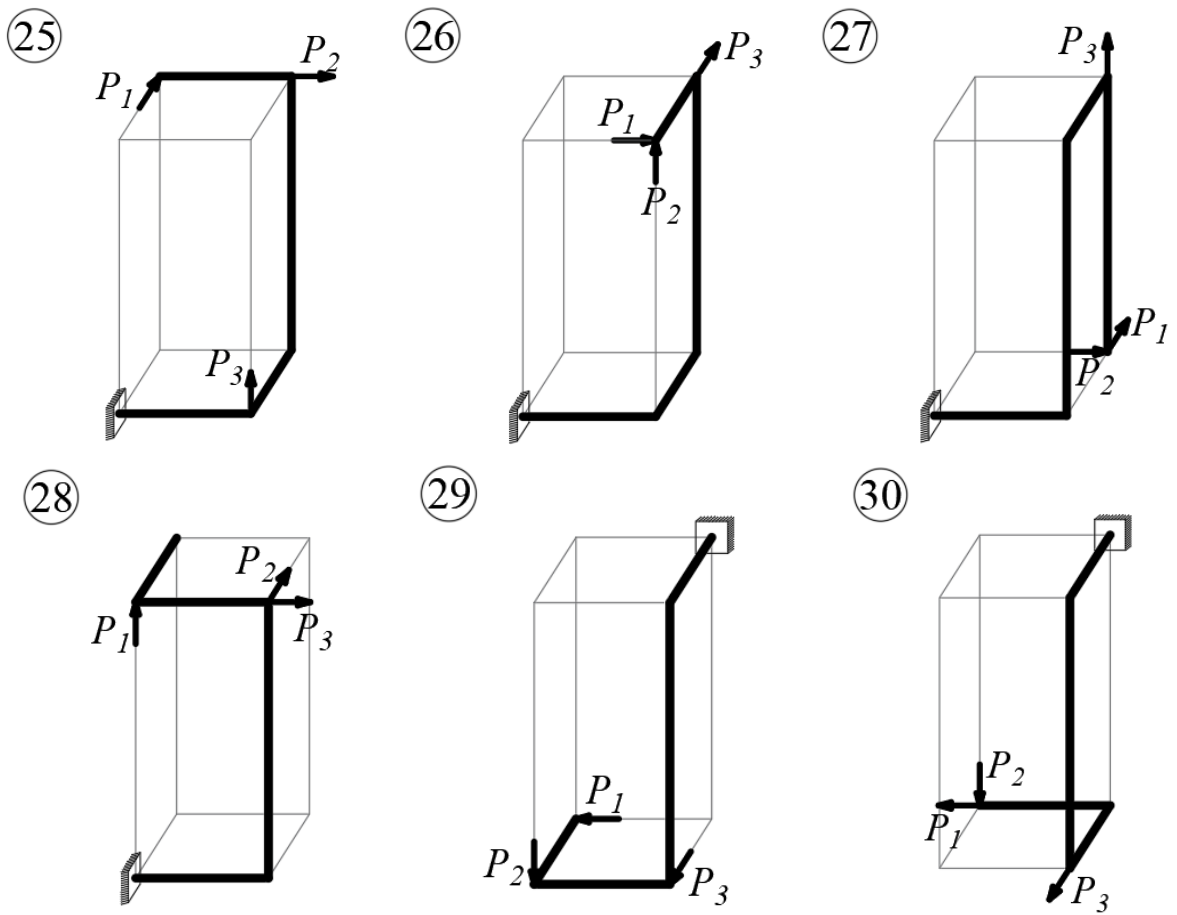


Рис. 5.3 (окончание)

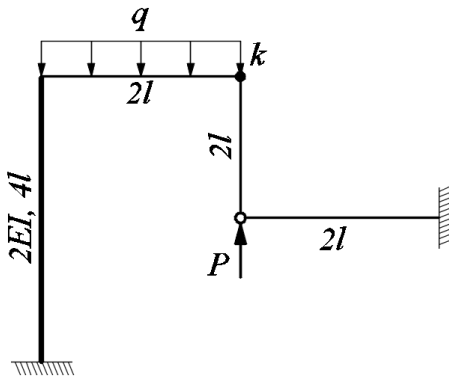
6. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ ПЛОСКОЙ РАМЫ

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 Δ или угол поворота θ для указанной на расчетной схеме точки.

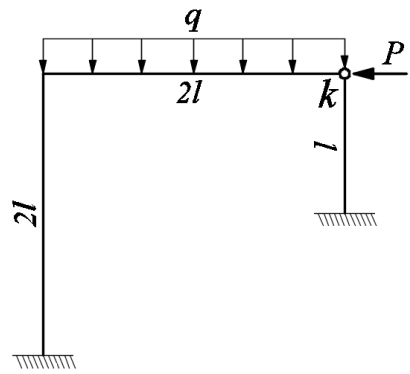
Расчеты проводить в общем виде в долях q , l , E , I . Принять $P = ql$, $M = ql^2$. Если на рисунке не указано иное, принять жесткость поперечного сечения на изгиб равной EI .

1



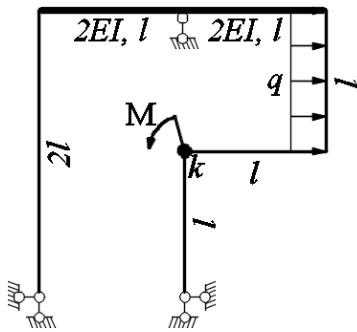
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

2



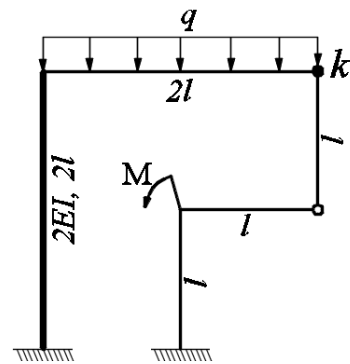
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

3



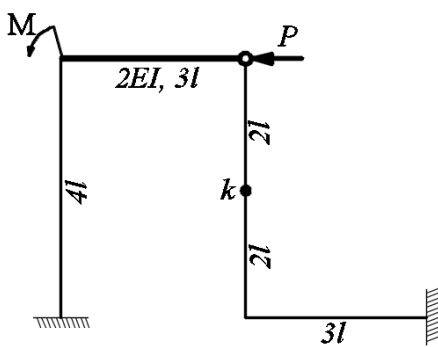
$$\theta_k = ?$$

4



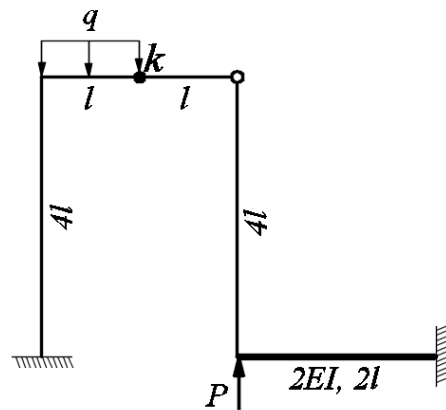
$$\Delta_k^{гор} = ?$$

5



$$\Delta_k^{гор} = ?$$

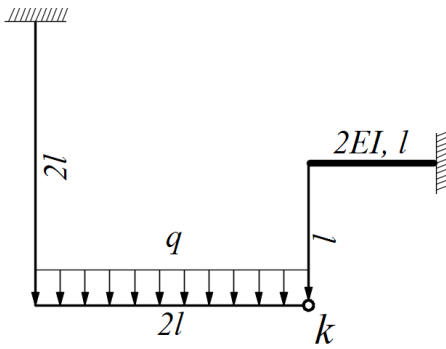
6



$$\Delta_k^{верт} = ?$$

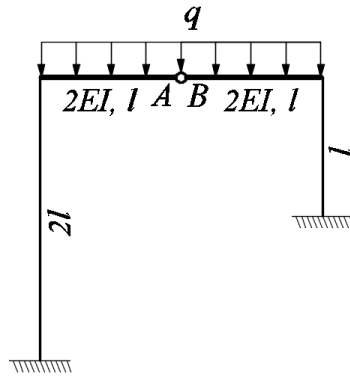
Рис. 6.1

7



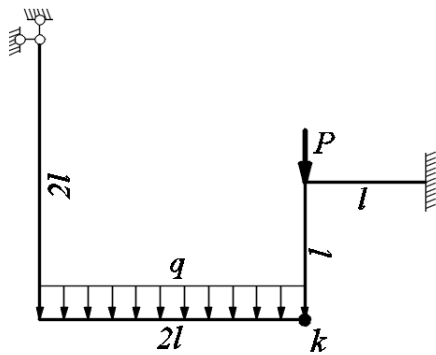
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

8



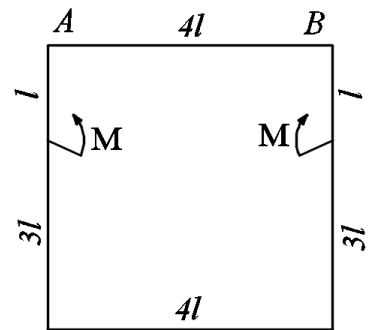
$$\theta_{AB} = ?$$

9



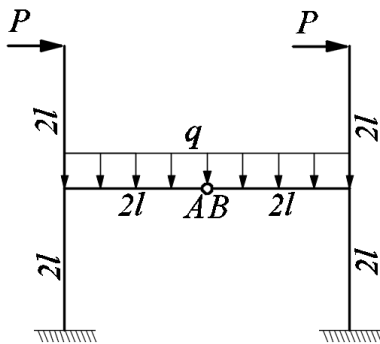
$$\Delta_k^{верт} = ?$$

10



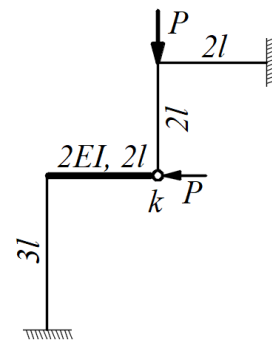
$$\theta_{AB} = ?$$

11



$$\theta_{AB} = ?$$

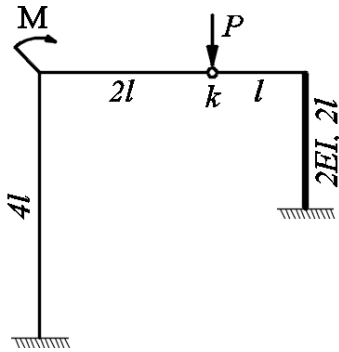
12



$$\Delta_k^{гор} = ?$$

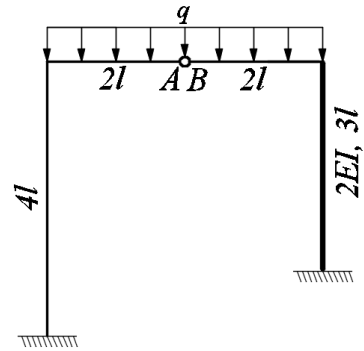
Рис. 6.1 (продолжение)

13



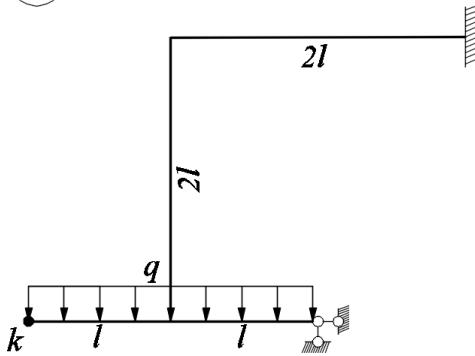
$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

14



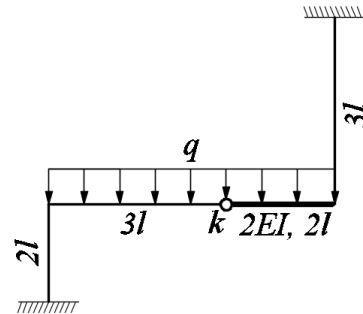
$$\theta_{AB} = ?$$

15



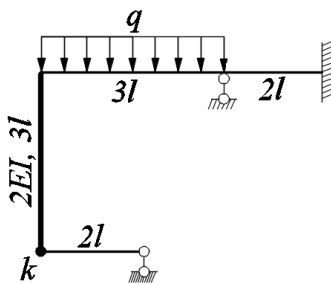
$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

16



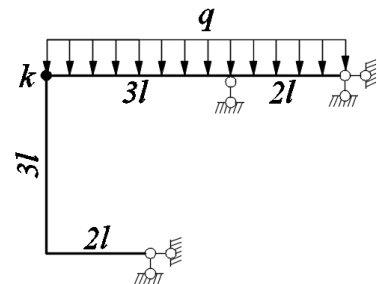
$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

17



$$\Delta_k^{\text{полн}} = ?$$

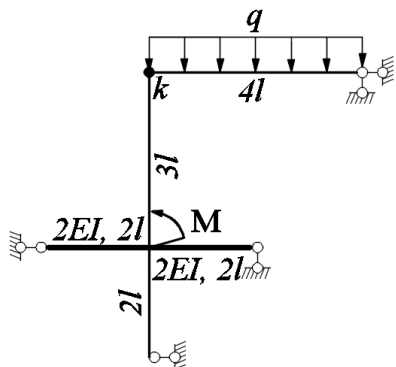
18



$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

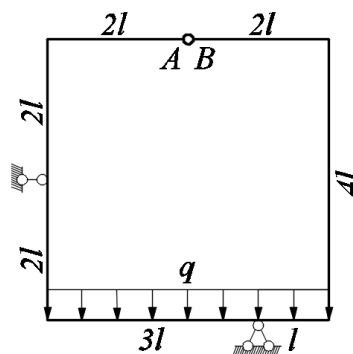
Рис. 6.1 (продолжение)

19



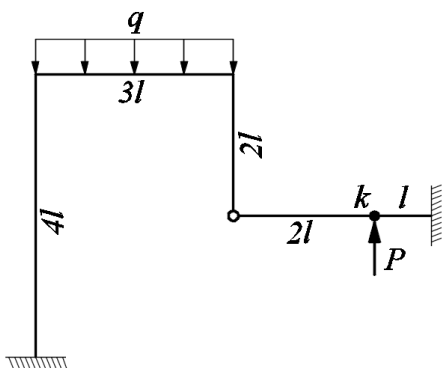
$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

20



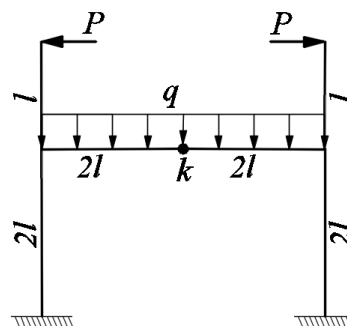
$$\theta_{AB} = ?$$

21



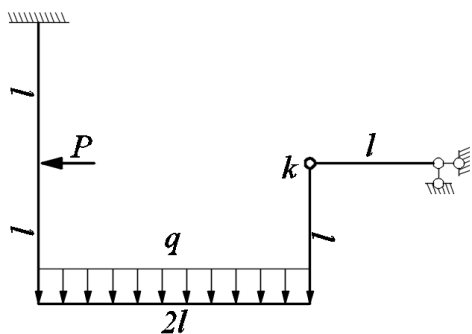
$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

22



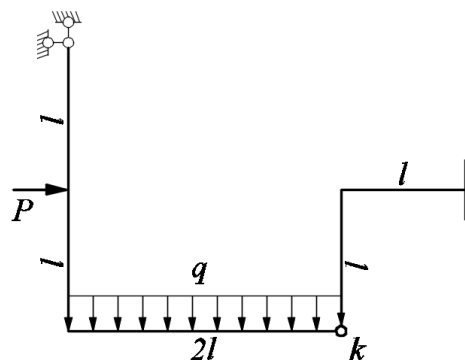
$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

23



$$\Delta_k^{\text{верт}} = ?$$

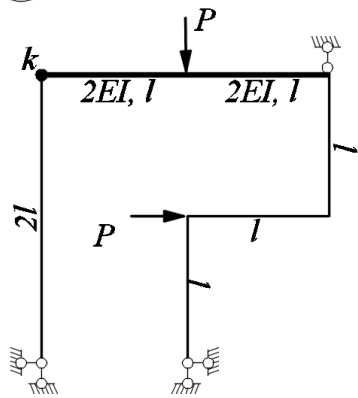
24



$$\Delta_k^{\text{гор}} = ?$$

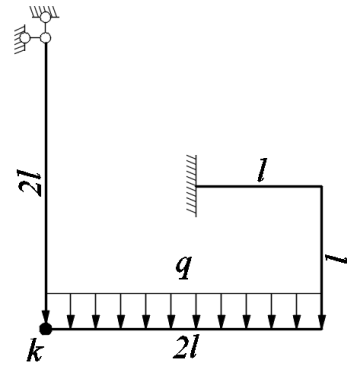
Рис. 6.1 (продолжение)

25



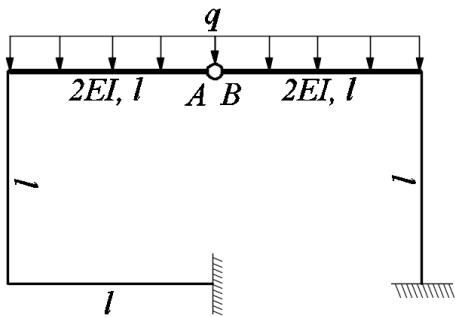
$$\Delta_k^{zop} = ?$$

26



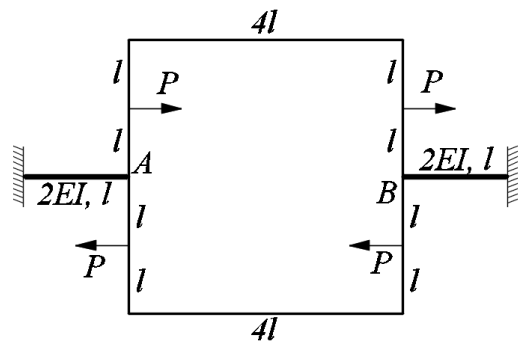
$$\Delta_k^{zop} = ?$$

27



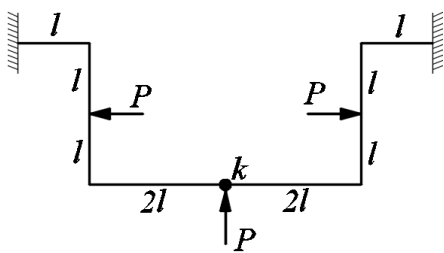
$$\theta_{AB} = ?$$

28



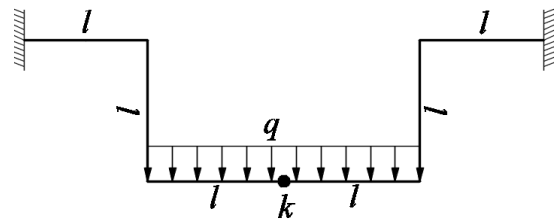
$$\theta_{AB} = ?$$

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.

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 .

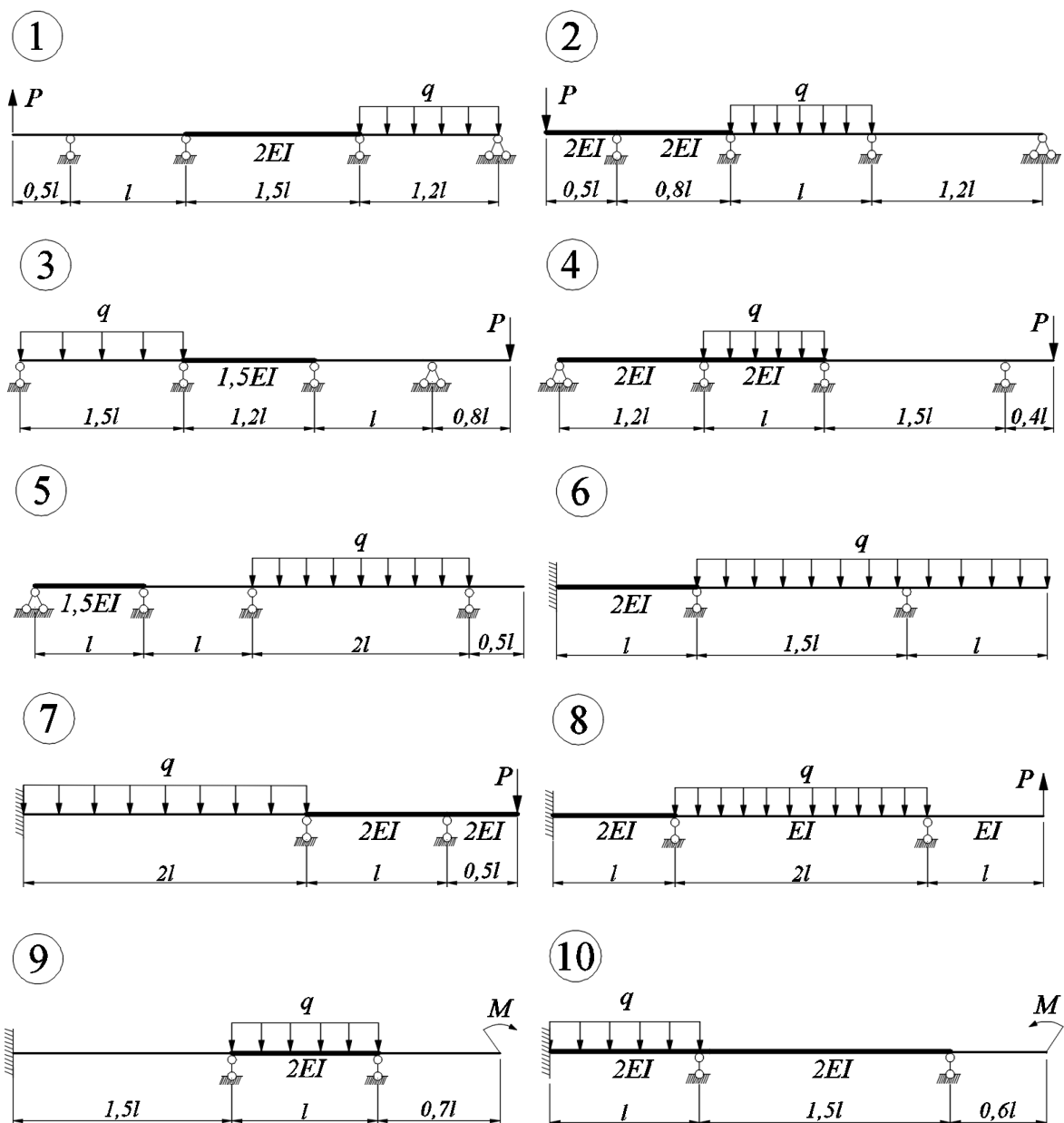


Рис. 7.1

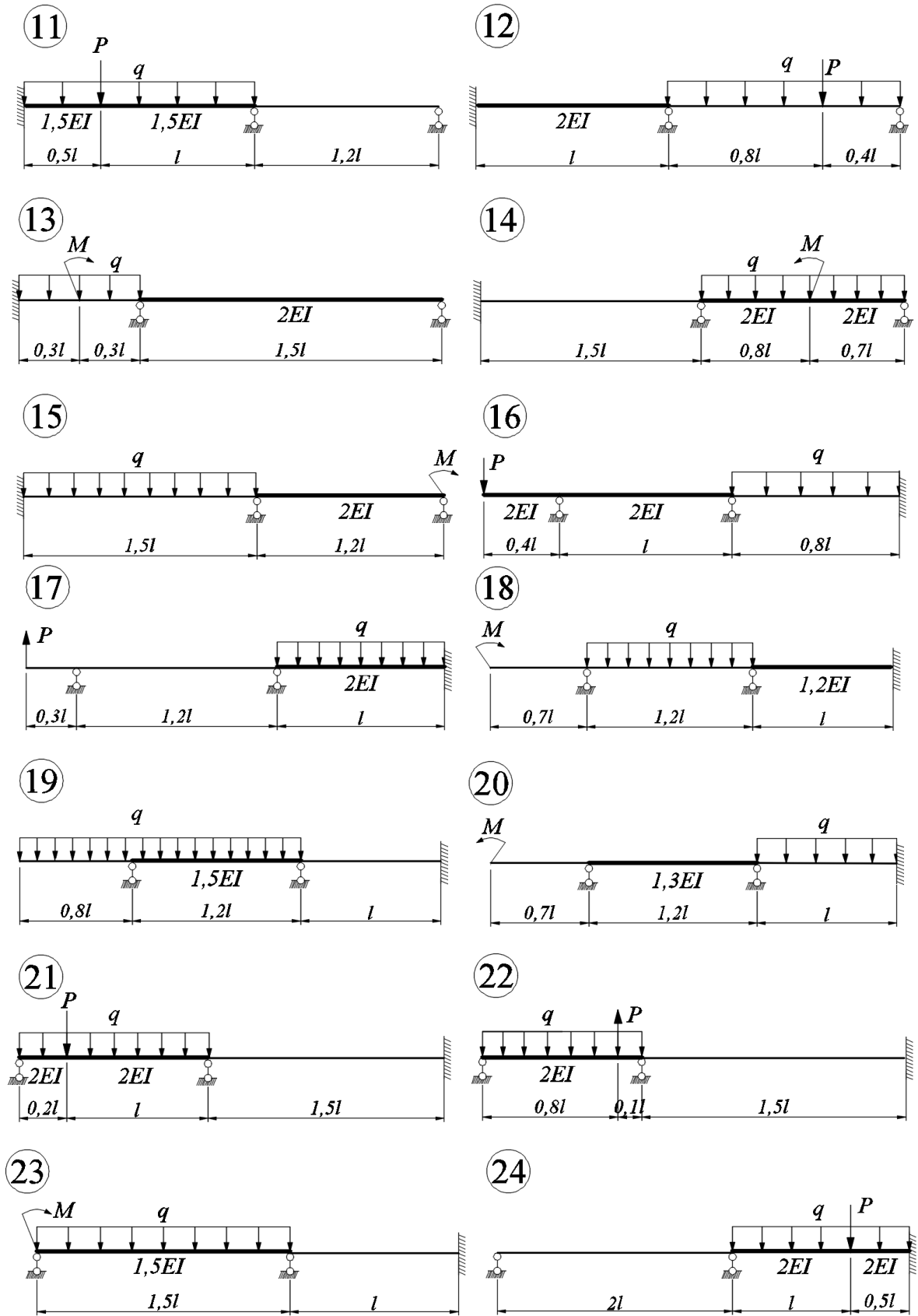


Рис. 7.1 (продолжение)

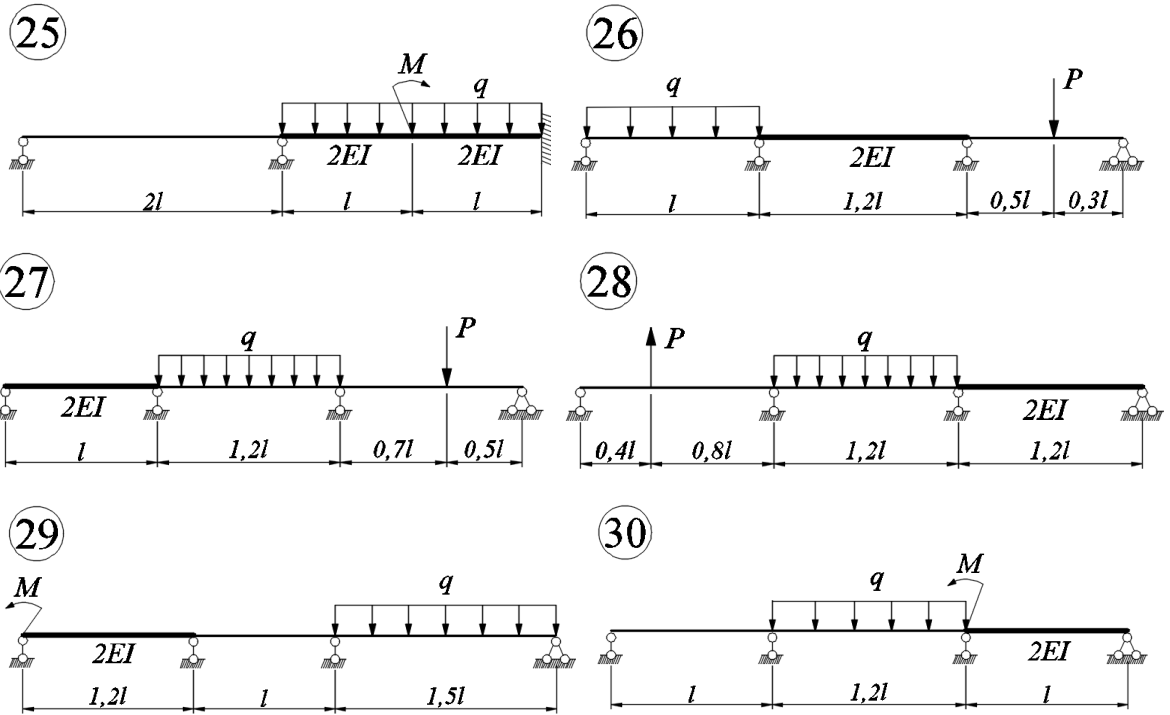


Рис. 7.1 (окончание)

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 .

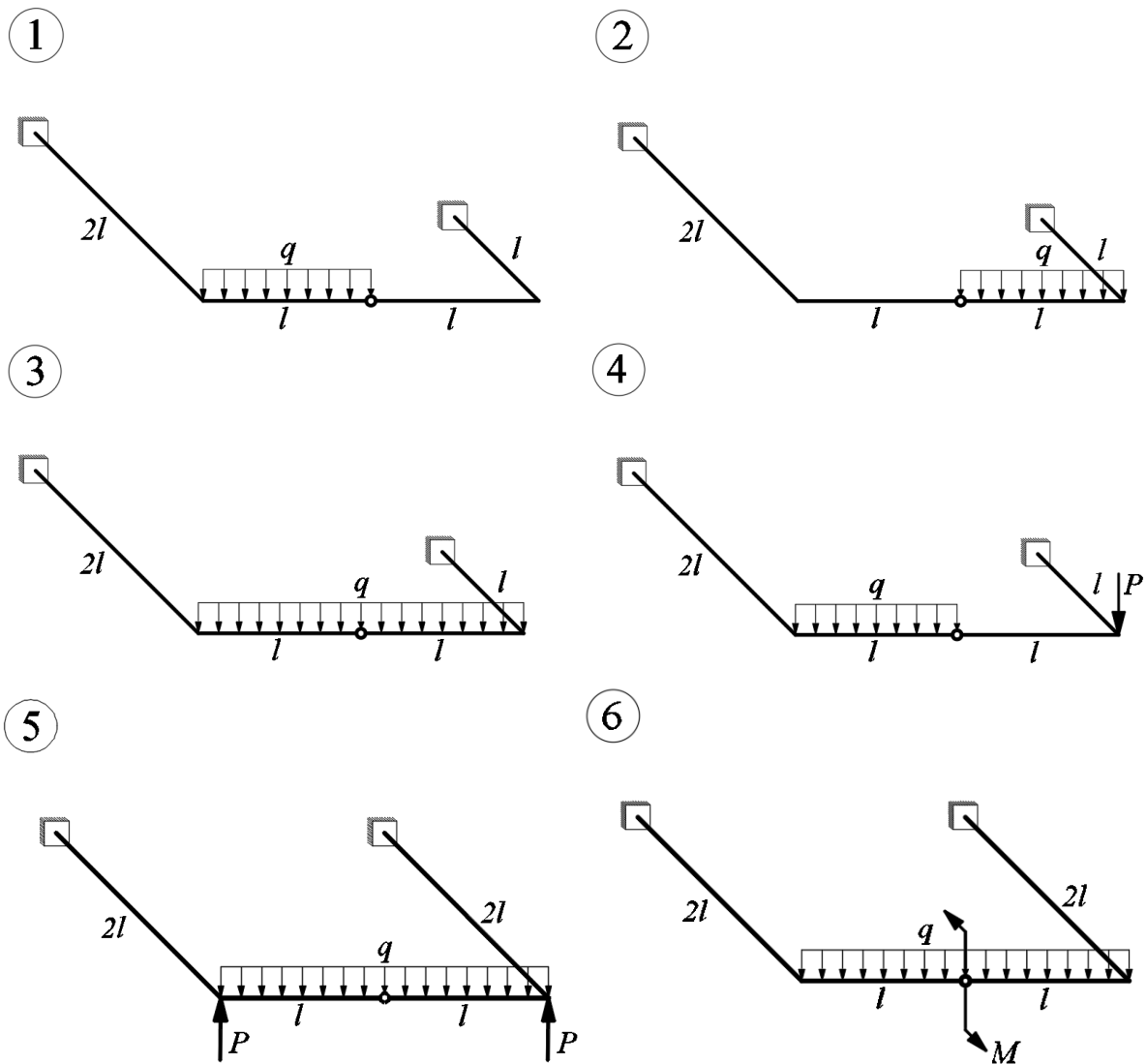
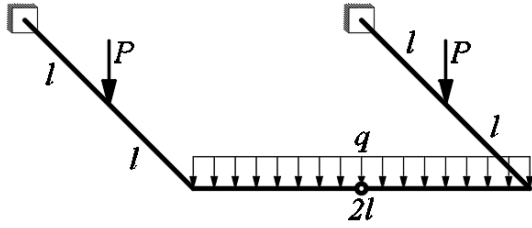
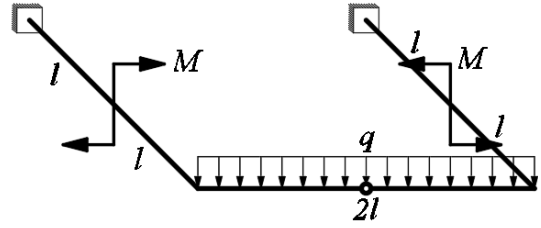


Рис. 8.1

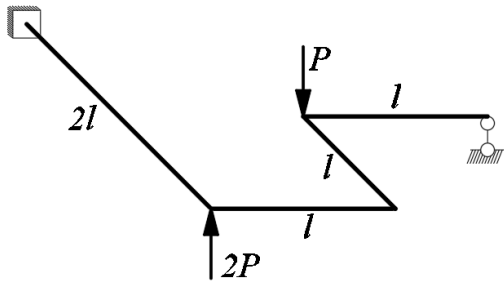
7



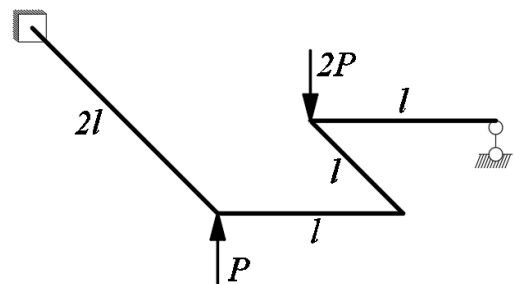
8



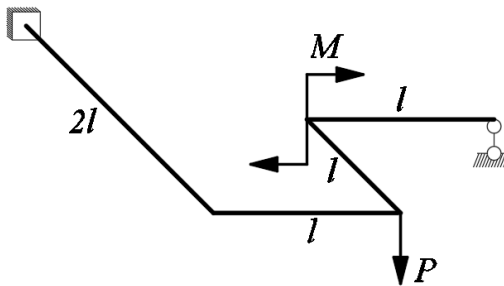
9



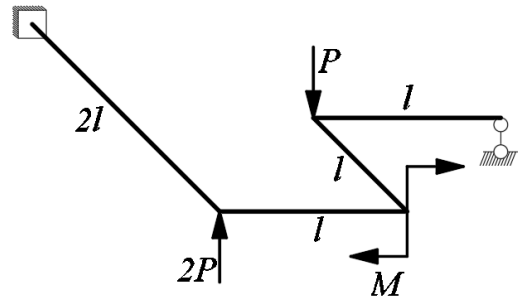
10



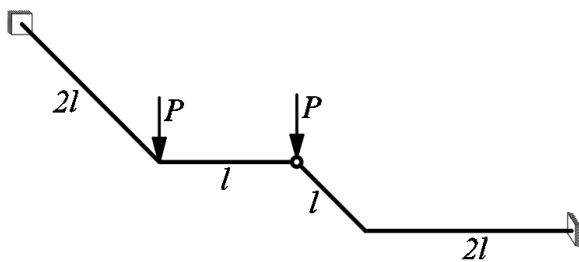
11



12



13



14

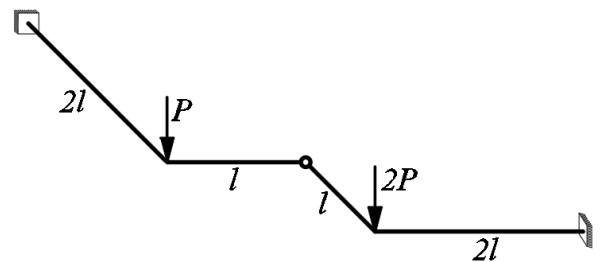
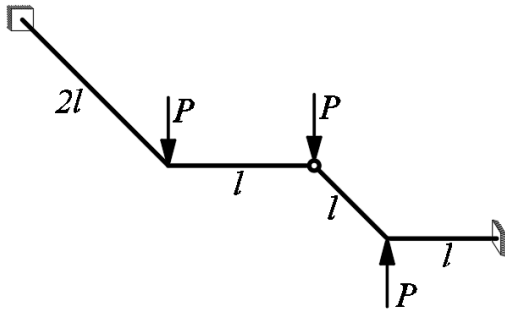
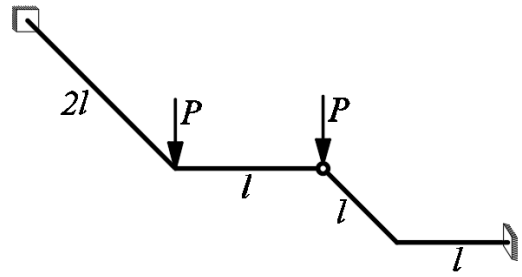


Рис. 8.1 (продолжение)

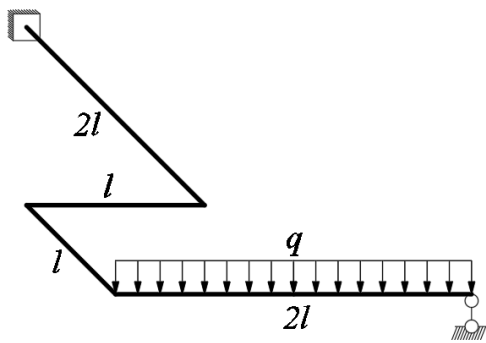
15



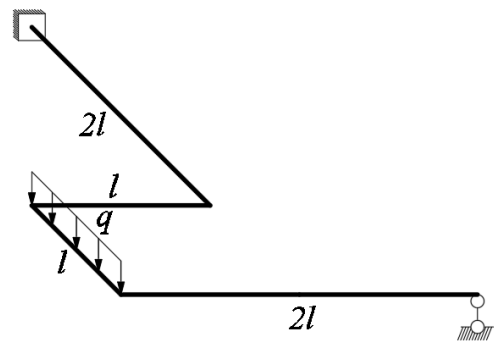
16



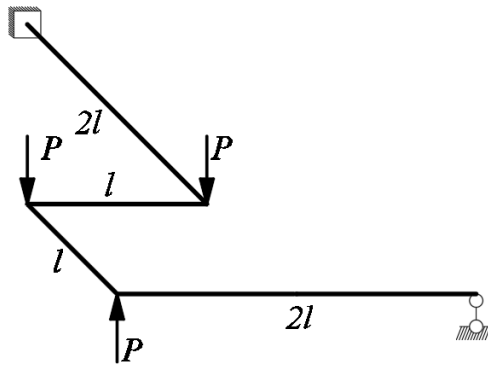
17



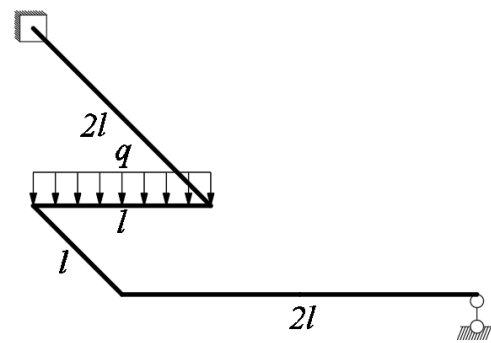
18



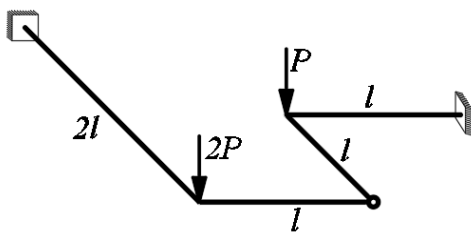
19



20



21



22

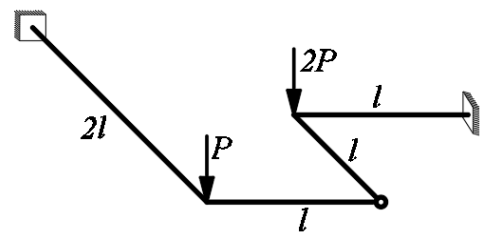
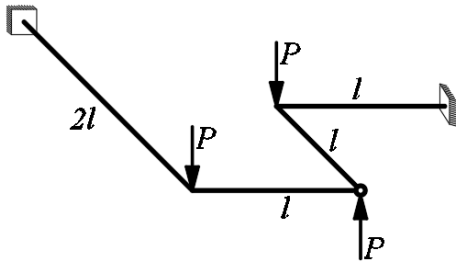
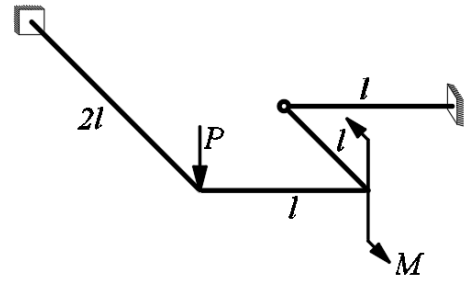


Рис. 8.1 (продолжение)

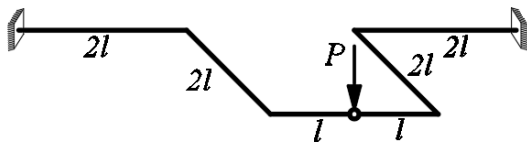
23



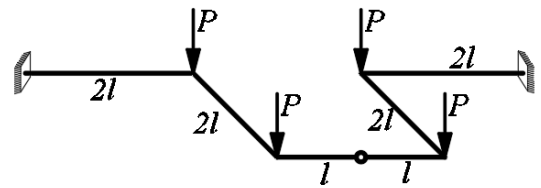
24



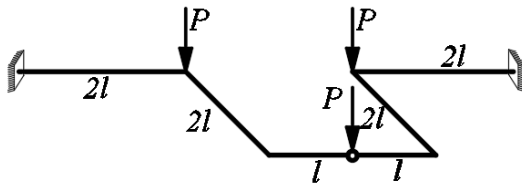
25



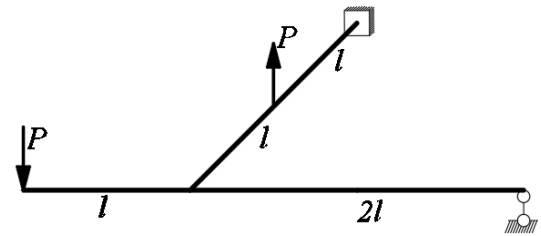
26



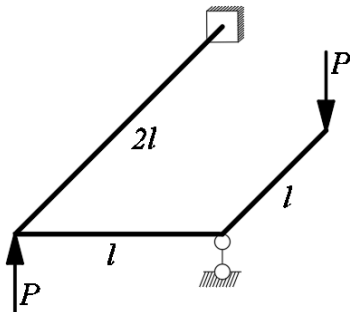
27



28



29



30

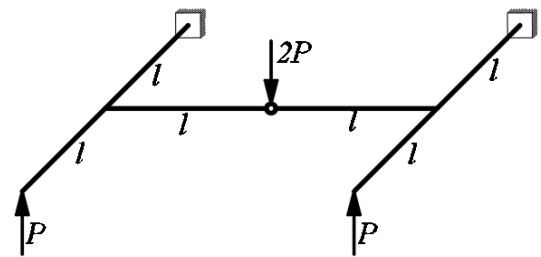


Рис. 8.1 (окончание)

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.

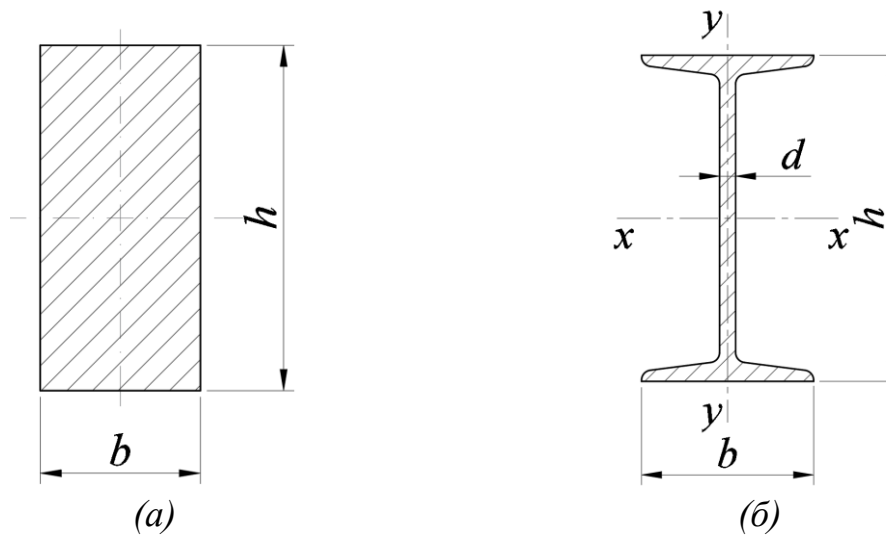


Рис. 9.1

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 20 | 210 |
| 4 | 4 | 3,5 | 300 | Сталь Ст. 5 | 225 |
| 5 | 1 | 4 | 250 | Сталь 45 | 260 |
| 6 | 6 | 4,5 | 200 | Дюралюминий Д16Т | 160 |
| 7 | 8 | 5 | 450 | Чугун | 170 |
| 8 | 7 | 2 | 400 | Сосна | 15 |
| 9 | 9 | 2,5 | 350 | Ель | 15 |
| 0 | 10 | 3 | 300 | Сталь Ст. 4 | 210 |
| | А | Б | В | Г | |

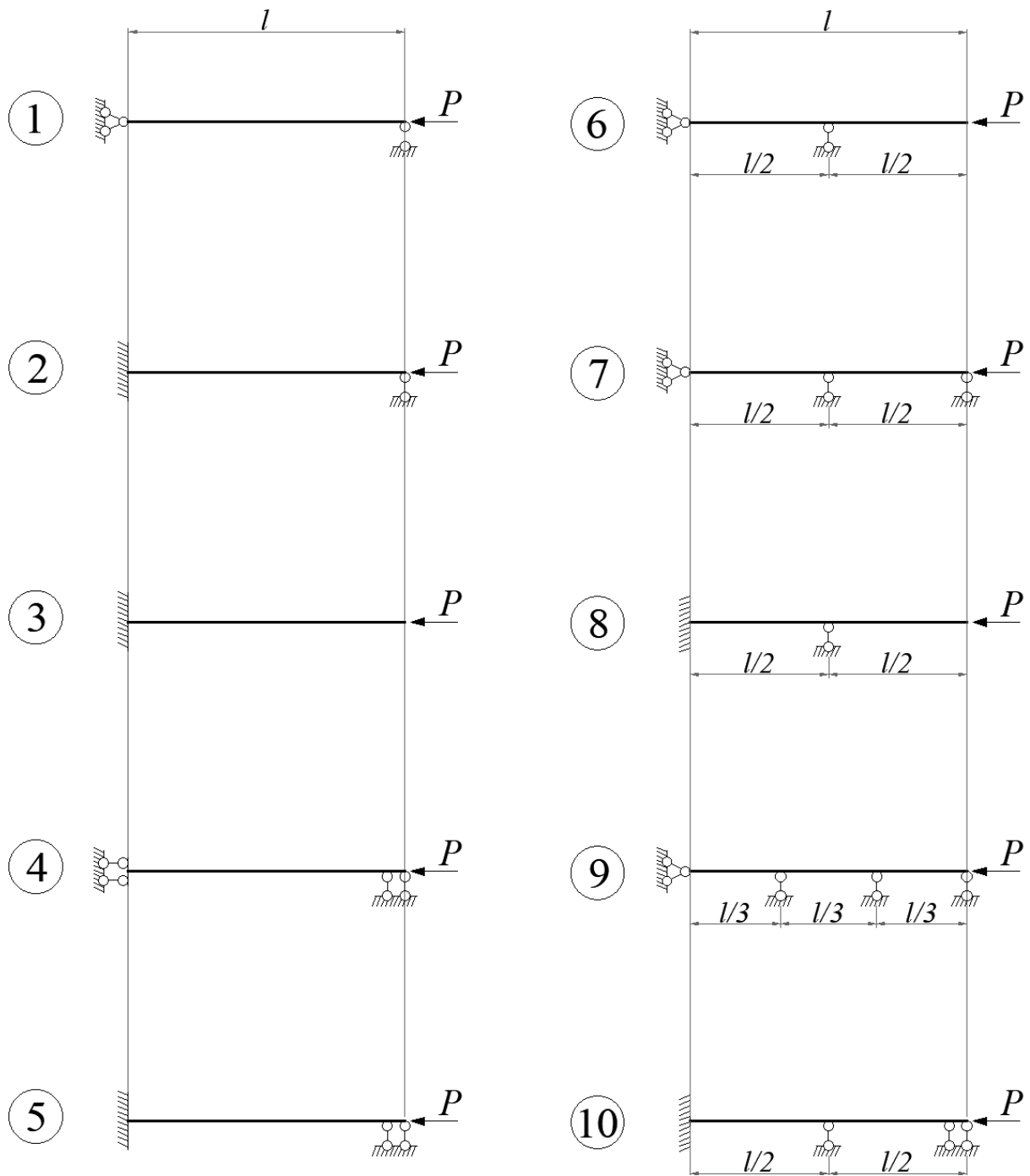


Рис. 9.2

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 | | P, кН | q, кН/м | k |
|----------|--------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------|----------|----------|
| | | | L ₁ | L ₂ | | | |
| 1 | 1 | Тип 1 (h = 20 см) | 1,0 | 1,1 | 50 | 5 | 0,10 |
| 2 | 2 | Тип 2 (Двутавр №25Б1) | 1,1 | 1,2 | 55 | 8 | 0,15 |
| 3 | 3 | Тип 1 (h = 25 см) | 1,2 | 1,3 | 60 | 10 | 0,20 |
| 4 | 4 | Тип 2 (Двутавр №25Б4) | 1,3 | 1,4 | 65 | 15 | 0,25 |
| 5 | 5 | Тип 1 (h = 30 см) | 1,4 | 1,5 | 70 | 20 | 0,30 |
| 6 | 6 | Тип 2 (Двутавр №30Б1) | 1,5 | 1,6 | 75 | 25 | 0,35 |
| 7 | 7 | Тип 1 (h = 35 см) | 1,6 | 1,7 | 80 | 30 | 0,40 |
| 8 | 8 | Тип 2 (Двутавр №30Б4) | 1,7 | 1,8 | 85 | 5 | 0,45 |
| 9 | 9 | Тип 1 (h = 40 см) | 1,8 | 1,9 | 90 | 8 | 0,50 |
| 0 | 0 | Тип 2 (Двутавр №35Б1) | 1,9 | 2,0 | 95 | 10 | 0,55 |
| | Б | В | Г | А | Б | В | Г |

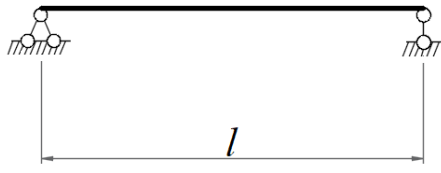


Рис. 10.1

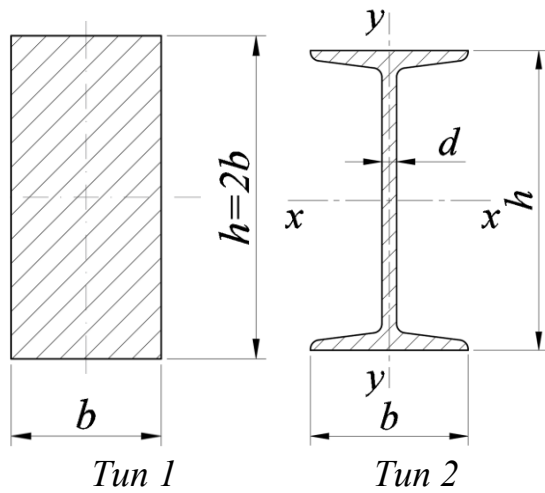


Рис. 10.2

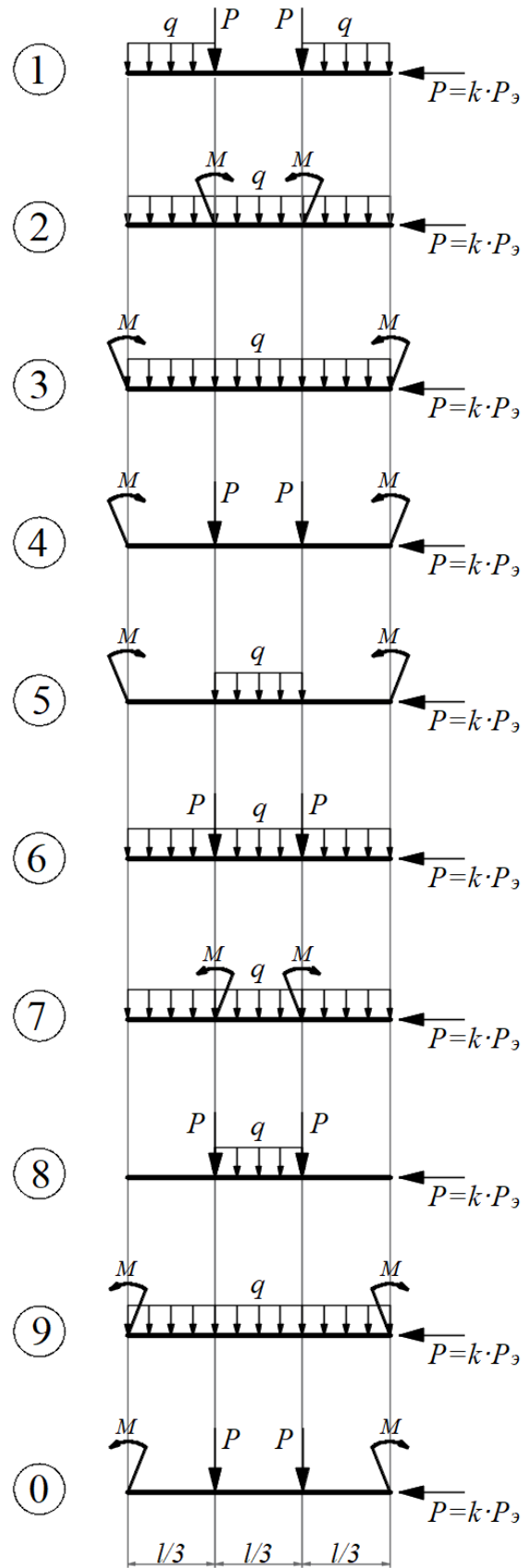


Рис. 10.3

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 | 2,0 | 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 |
| | А | Б | В | Г | А | Б | В |

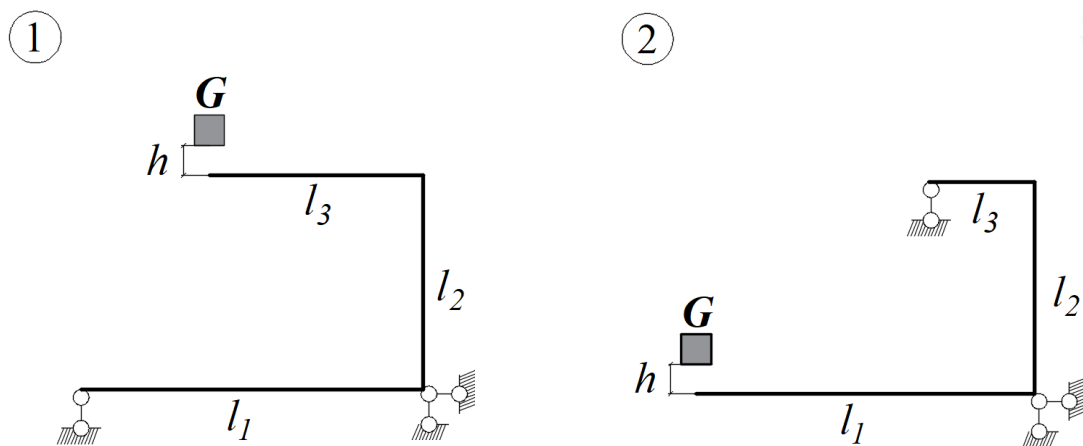


Рис. 11.1

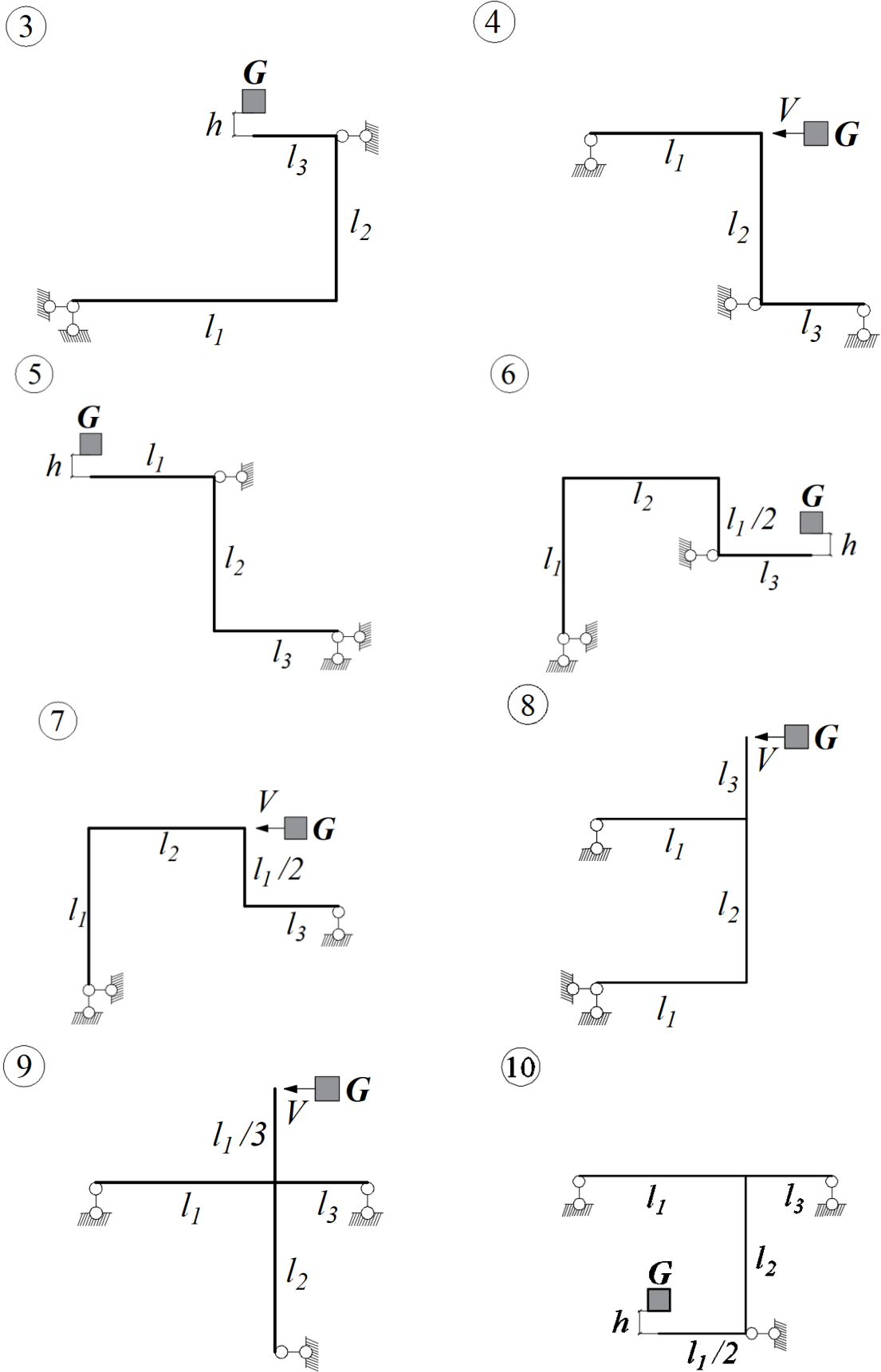


Рис. 11.1 (окончание)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

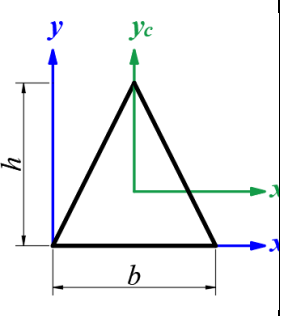
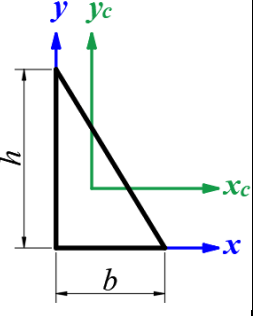
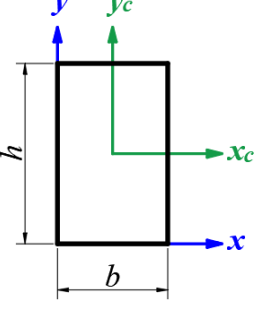
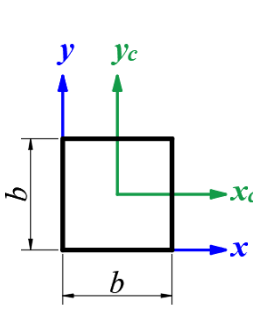
1. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов: учебное пособие / В. И. Феодосьев. — 17-е изд. — Москва: МГТУ им. Баумана, 2018. — 542 с. — ISBN 978-5-7038-4819-7.
2. Сопротивление материалов (с примерами решения задач) [Текст]: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению "Строительство" / 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 | πR^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_ρ | $\frac{\pi D^4}{32}$ | $\frac{\pi D^4}{32} \cdot [1 - \alpha^4]$ | $\frac{\pi D^3 \delta}{4}$ |

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. Б.1);

b – меньшая сторона;

α – безразмерный коэффициент, зависящий от соотношения сторон.

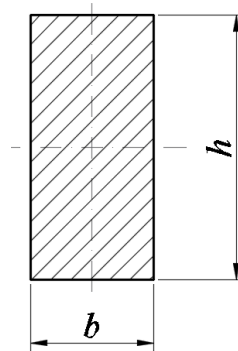


Рис. Б.1

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 α , β и γ зависят от соотношения h/b и определяются по таблице Б.1.

Таблица Б.1

| h/b | 1,0 | 1,5 | 1,75 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 4,0 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| α | 0,208 | 0,231 | 0,239 | 0,246 | 0,258 | 0,267 | 0,282 |
| β | 0,141 | 0,196 | 0,214 | 0,229 | 0,249 | 0,263 | 0,281 |
| γ | 1,000 | 0,859 | 0,820 | 0,795 | 0,766 | 0,753 | 0,745 |

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

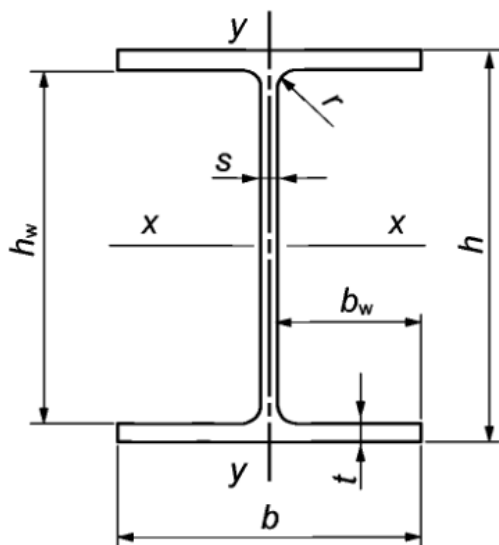


Рис. В.1

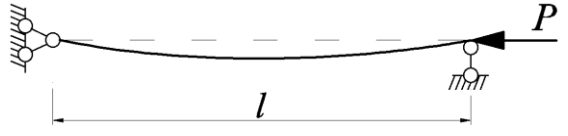
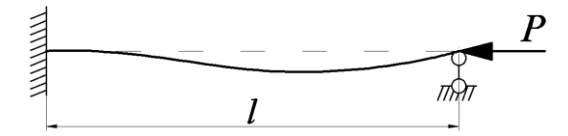
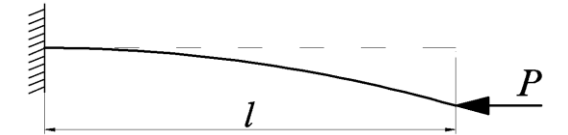
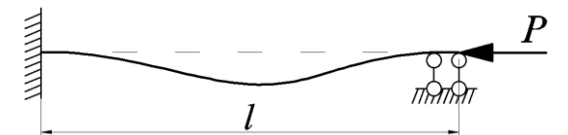
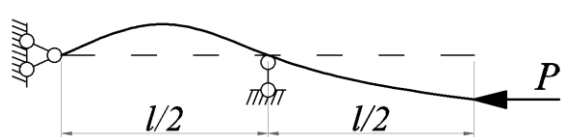
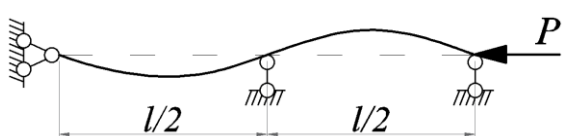
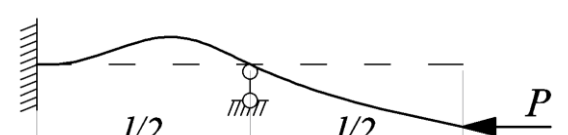
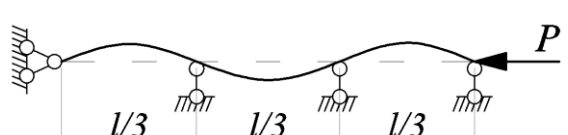
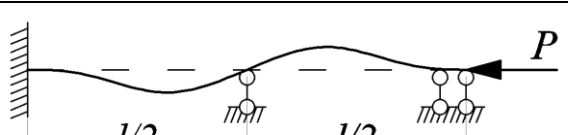
h – высота двутавра, h_w – высота стенки двутавра в свету, b – ширина полки, b_w – свес полки, t – толщина полки, s – толщина стенки, r – радиус скругления

Таблица В.1

| Номер профиля | Номинальные размеры | | | | | | | Площадь пер. сечения $A_w, \text{см}^2$ | Масса 1м двугава, кг | Справочные величины для осей профиля | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-------|------|------|-------|-------|------|-----------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| | h | b | s | t | h_w | b_w | r | | | $I_x, \text{см}^4$ | $W_x, \text{см}^3$ | $S_x, \text{см}^3$ | $i_x, \text{мм}$ | $I_y, \text{см}^4$ | $W_y, \text{см}^3$ | $S_y, \text{см}^3$ | $i_y, \text{мм}$ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Тип Б – Балочные нормальные двугавры | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 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 β |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|  | 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

| λ | 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 | 0,91 | 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 Е. Характеристики материала

Таблица Е.1

| Материал | Е, МПа | $\sigma_{\text{пц}}$, МПа | а, МПа | б, МПа | с, МПа | λ_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 | 61 |
| 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 | 773 | 12 | 0,053 | - | 80 |
| Сосна, ель | $0,1 \cdot 10^5$ | 20 | 29,3 | 0,194 | - | - | 70 |

ДЛЯ ЗАМЕТОК

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 . Цена 270 руб.

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