

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1. Требования, предъявляемые к выполнению и оформлению расчетно-графической работы .....	5
2. Задание С1. Произвольная плоская система сил .....	7
2.1. Содержание задания С1 .....	7
2.2. Краткие методические указания к выполнению.....	13
2.3.Пример выполнения задания С1.....	13
3. Задание С2. Сочлененная система тел .....	16
3.1. Содержание задания С2.....	16
3.2. Краткие методические указания к выполнению.....	25
3.3.Пример выполнения задания С2.....	25
4. Задание С3. Пространственная система сил .....	29
4.1 Содержание задания С3 .....	29
4.2. Краткие методические указания к выполнению.....	35
4.3. Пример выполнения задания С3.....	35
Контрольные вопросы .....	38
Список литературы .....	40
Приложение .....	41

## Введение

В процессе обучения и освоения дисциплины «Теоретическая механика» важное место отводится самостоятельной работе студентов (СРС), которая необходима для закрепления сведений, полученных в ходе аудиторных занятий (лекций и практических занятий) и является исключительно важным элементом эффективного усвоения учебных материалов.

Выполнение расчетно-графической работы позволит каждому студенту глубже изучить раздел теоретической механики «Статика» и приобрести навыки решения конкретных задач по статическому расчету элементов конструкций. Студенты знакомятся с различными типами опор, применяемыми в расчетных схемах, и их реакциями. Далее студенты составляют уравнения равновесия твердого тела или системы тел, решая которые определяют реакции опор. Следует отметить, что определение опорных реакций, как правило, является первым этапом расчета на прочность элементов конструкций. Навыки, полученные студентами при выполнении заданий, станут основой при решении инженерных задач, связанных с силовыми расчетами конструкций и позволят овладеть следующими общекультурными и профессиональными компетенциями:

- готовность к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции;
- способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности и способность привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

# **1. Требования, предъявляемые к выполнению и оформлению расчетно-графической работы**

1.1. Расчетно-графическая работа выполняется на сброшюрованных листах формата А4, строго по варианту назначенному преподавателем. Первый лист является титульным. Пример заполнения титульного листа приведен в приложении.

1.2. Все страницы должны иметь поля: слева – 20 мм, справа – 5 мм, сверху – 5 мм, снизу – 5 мм.

1.3. Перед выполнением задания необходимо записать его условие, выбранные исходные данные и в соответствии с ними изобразить расчетную схему.

1.4. Решение записывается подробно и аккуратно со всеми вычислениями, вспомогательными чертежами и пояснениями. Требуемые величины находятся сначала в алгебраической форме и записываются в виде формулы. Затем в эту формулу подставляются известные числовые величины в соответствии с их позицией в формуле и после знака равенства записывается результат и его размерность. Промежуточные вычисления при этом опускаются. Вычисления проводятся с точностью до третьей либо четвертой значащей цифры.

1.5. Расчетные схемы рисуются крупно на отдельной странице с помощью чертежных инструментов, строго в масштабе, с указанием всех размеров, числовых данных и осей. Углы должны вычерчиваться точно с использованием транспортира. Многие величины, определяемые в ходе решения задач, являются векторными, поэтому следует определить не только их модули, но и построить (изобразить) эти векторы на рисунках.

1.6. Пометки, сделанные преподавателем при проверке не убираются. Следует иметь в виду, что преподаватель при проверке работы отмечает, как правило, лишь место появления ошибки и ее характер.

Разобравшись по учебнику с теоретическим материалом, студент должен исправить допущенную ошибку, а затем внести исправления во все расчеты, оказавшиеся ошибочными, начиная с места появления ошибки и до конца решения задачи.

1.7. К работе, высылаемой на повторную проверку, в обязательном порядке должен прилагаться ее первоначальный (незачтенный) вариант.

1.8. Работа считается зачтенной только после ее *защиты* преподавателю, проводимой в форме собеседования.

1.9. *Работа, не соответствующая своему варианту, или выполненная с нарушением изложенных требований, не засчитывается и возвращается для исправления.*

## 2. Задание С1

### Произвольная плоская система сил

#### 2.1. Содержание задания С1

Рама, имеющая опоры, в виде заделки или неподвижного цилиндрического шарнира и невесомого стержня, нагружена равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью  $q$  или линейно распределенной нагрузкой с максимальной интенсивностью  $q_{max}$ , парой сил с моментом  $M$  и силами  $P_1$  и  $P_2$ , расположенными в плоскости рамы.

Определить реакции связей, наложенных на раму.

Варианты расчетных схем в соответствии с вариантами расчетно-графической работы изображены на рис. 2.1. Числовые значения параметров приведены в табл. 1.

**Таблица 1**

Числовые значения параметров задания С1

N	$a,$ м	$b,$ м	$c,$ м	$d,$ м	$M,$ Нм	$P_1,$ Н	$P_2,$ Н	$q_{max},$ Н/м	$q,$ Н/м	$\alpha,$ °	$\beta,$ °
1	5	3	4	2	10	15	12	3	0,8	60	30
2	2	3	3	2	10	15	15	3	0,8	75	60
3	3	4	4	3	15	15	9	4	1,4	60	65
4	3	3	3	1	15	20	12	5	0,75	75	30
5	4	4	4	1	20	20	13	6	1,5	60	30
6	2	2	3	1	20	25	12	4	1,6	60	15
7	4	5	5	2	10	20	15	2	1,3	50	60
8	3	5	4	1	10	10	12	3	1,1	30	30

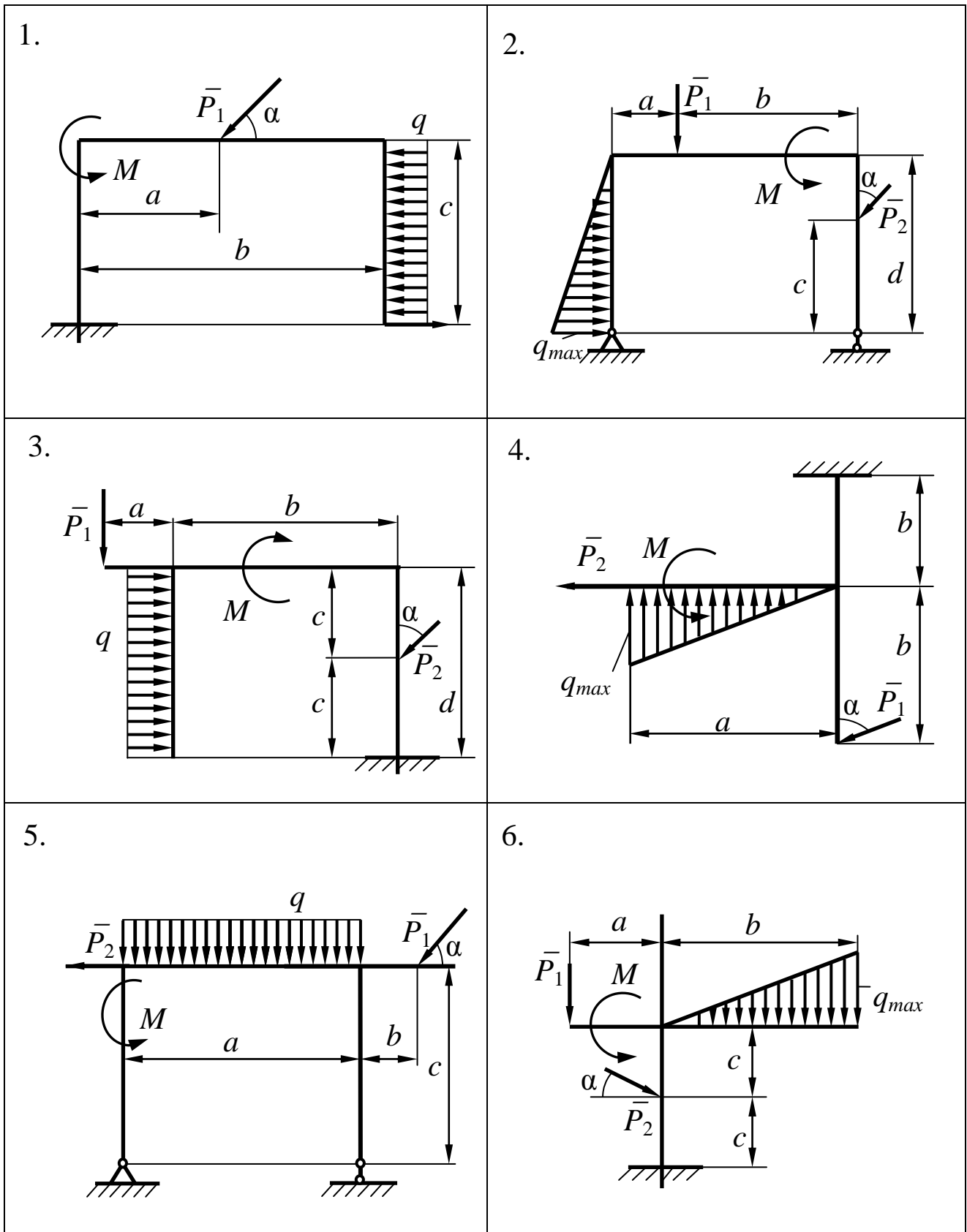
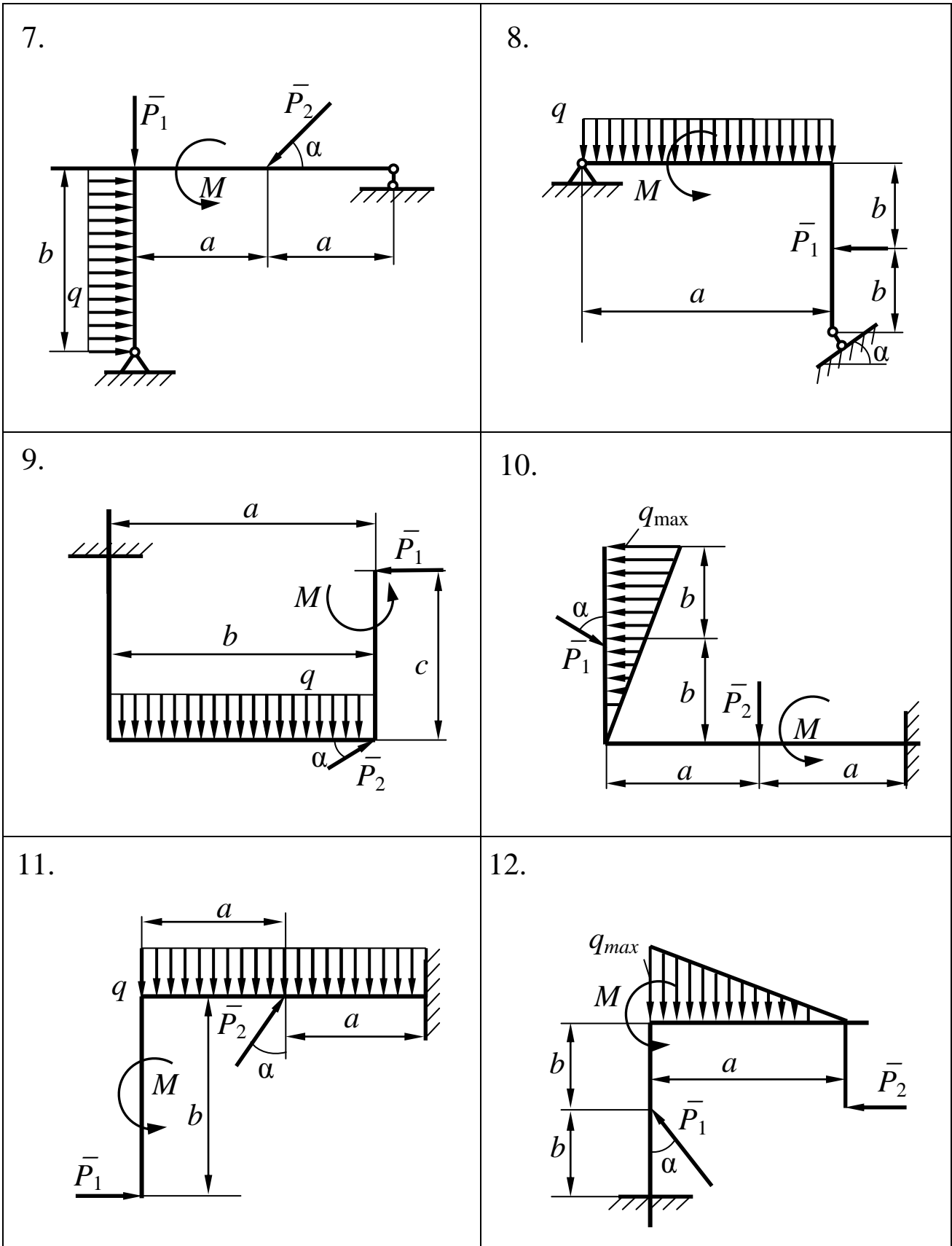
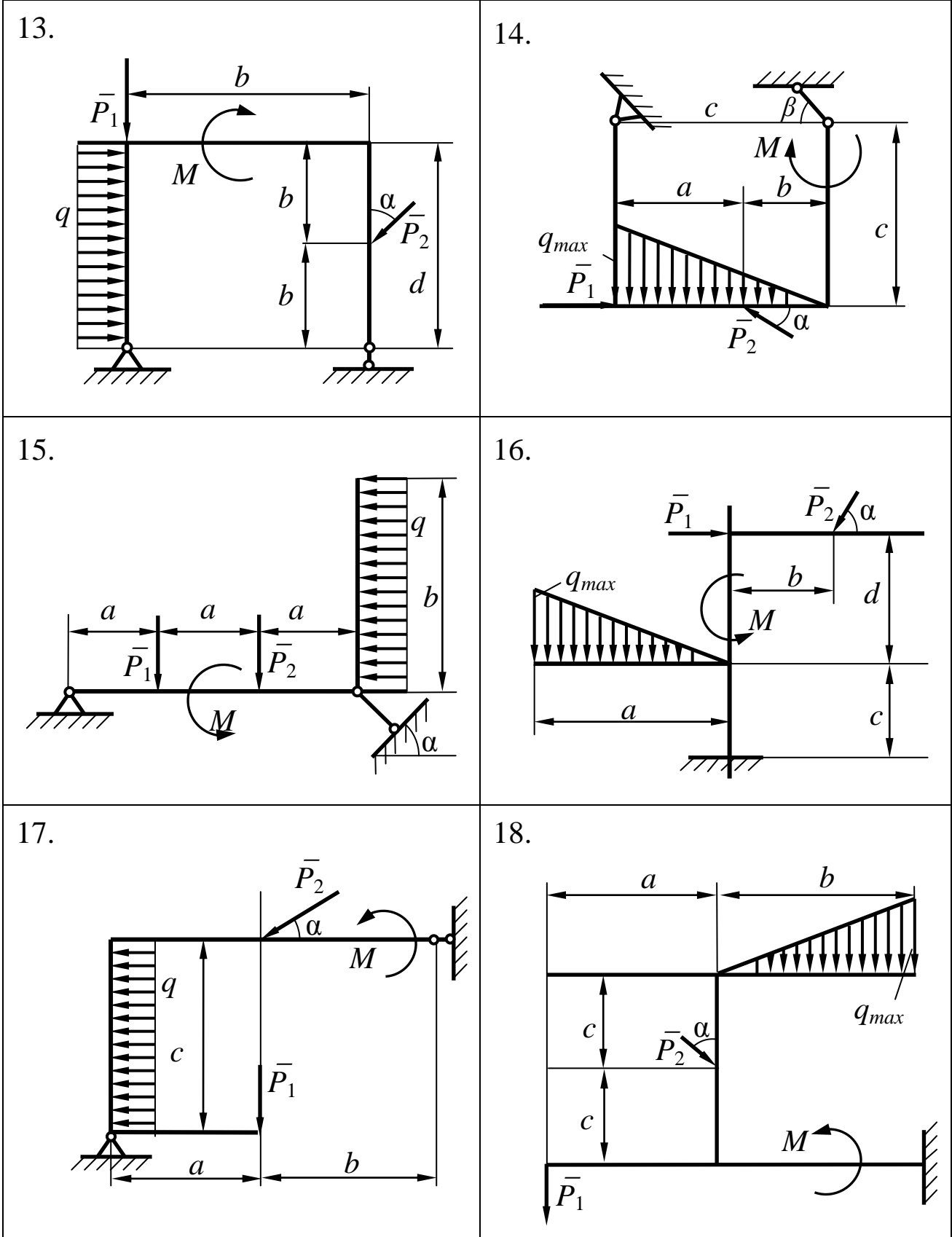


Рис. 2.1

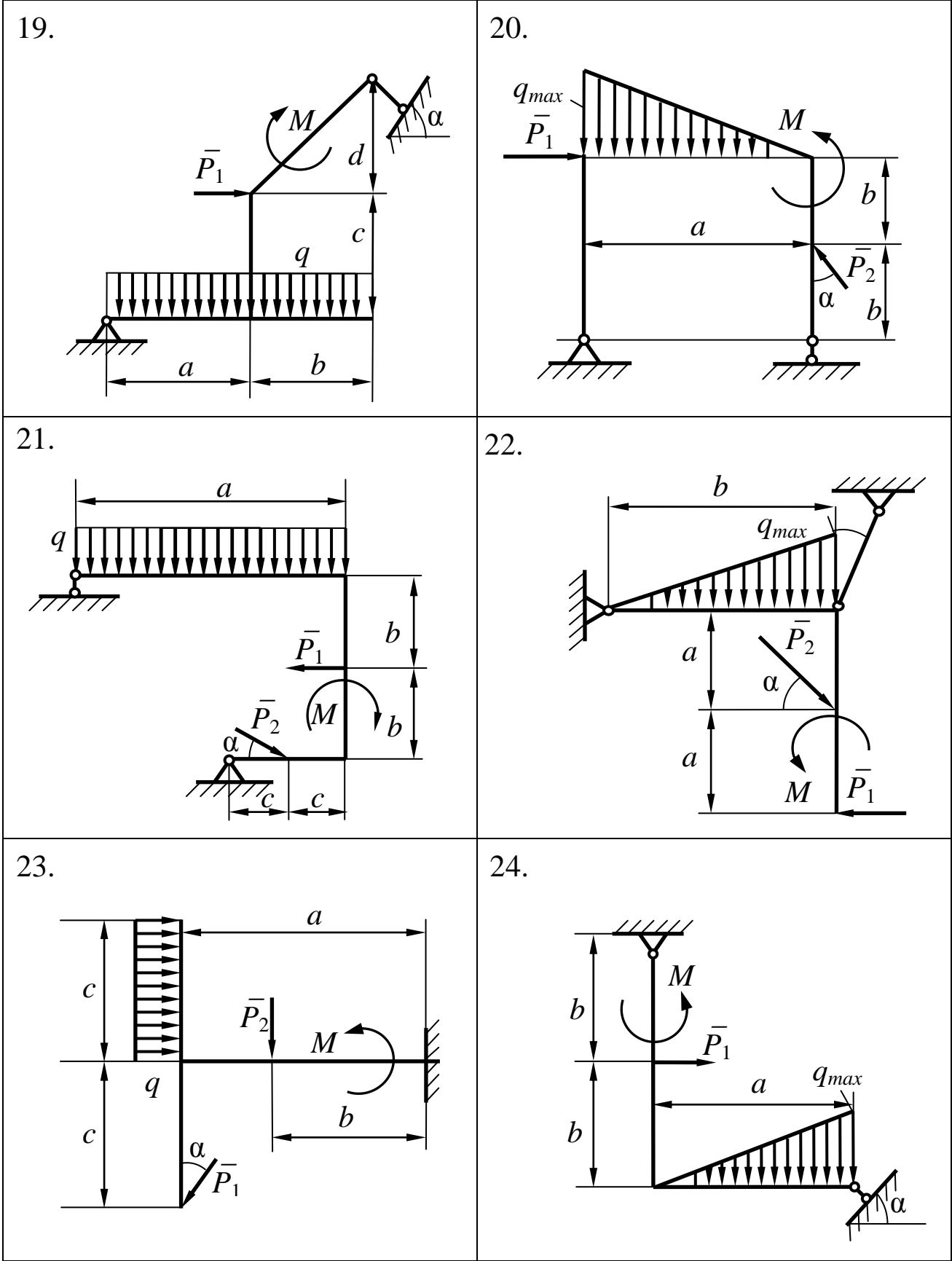


Продолжение рис. 2.1



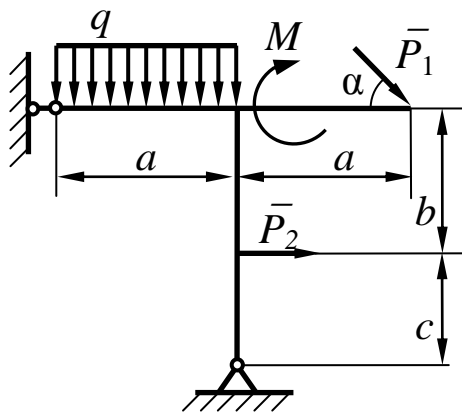
Продолжение рис. 2.1



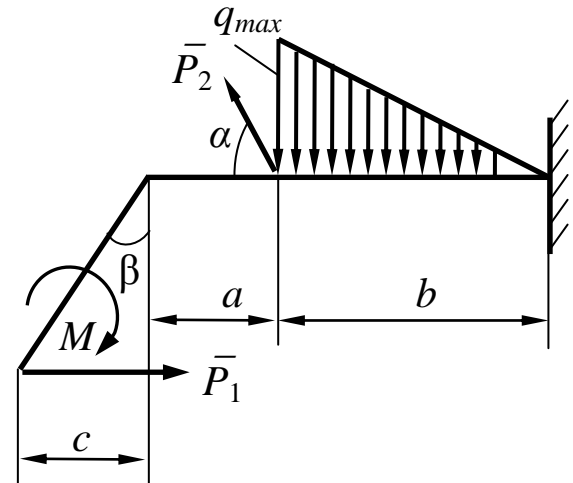


Продолжение рис. 2.1

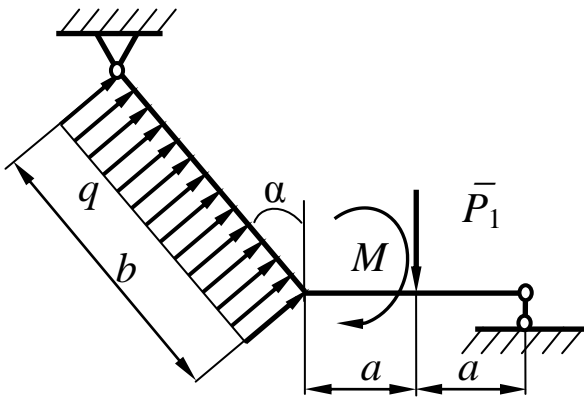
25.



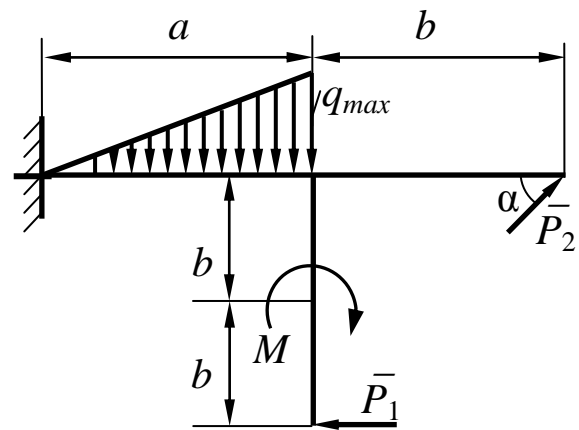
26.



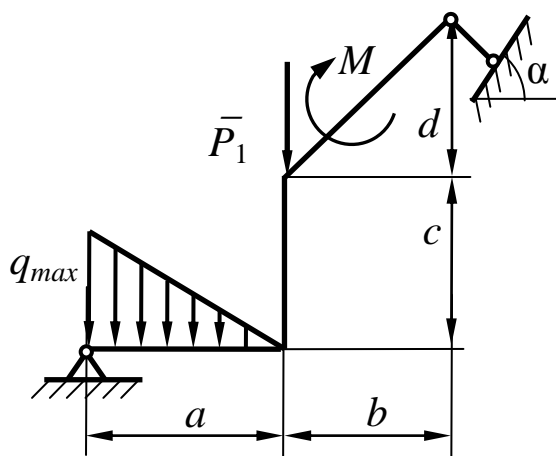
27.



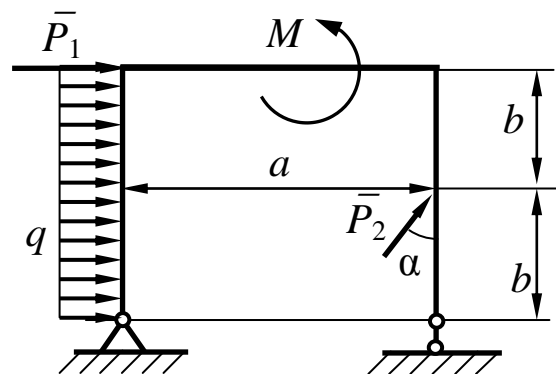
28.



29.



30.



Окончание рис. 2.1

## 2.2. Краткие методические указания к выполнению

2.2.1. Проработать раздел «Произвольная плоская система сил», пользуясь конспектом лекций и рекомендуемыми учебниками [1 – 4].

2.2.2. Рассмотреть равновесие произвольной плоской системы сил, действующей на тело.

2.2.3. Приложить активные силы, причем распределенную нагрузку заменить сосредоточенной силой, определив ее величину и точку приложения.

2.2.4. Выбрать оси прямоугольной системы координат  $Ax$ .

2.2.5. Освободиться от действия связей, заменив их действие на раму силами реакций. Например, реакция заделки в некоторой точке  $A$  состоит из силы, составляющие которой обозначаются как  $\bar{X}_A$ ,  $\bar{Y}_A$  и момента заделки  $M_A$ .

2.2.6. Составить три уравнения равновесия произвольной плоской системы сил и из них определить величины реакций.

## 2.3. Пример выполнения задания С1

### 2.3.1. Условие примера выполнения задания С1

Плоская невесомая прямоугольная рама (рис. 2.2) нагружена силами  $P_1 = 1$  кН и  $P_2 = 2$  кН, парой сил с моментом  $M = 3$  кН/м и равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью  $q = 4$  кН/м.

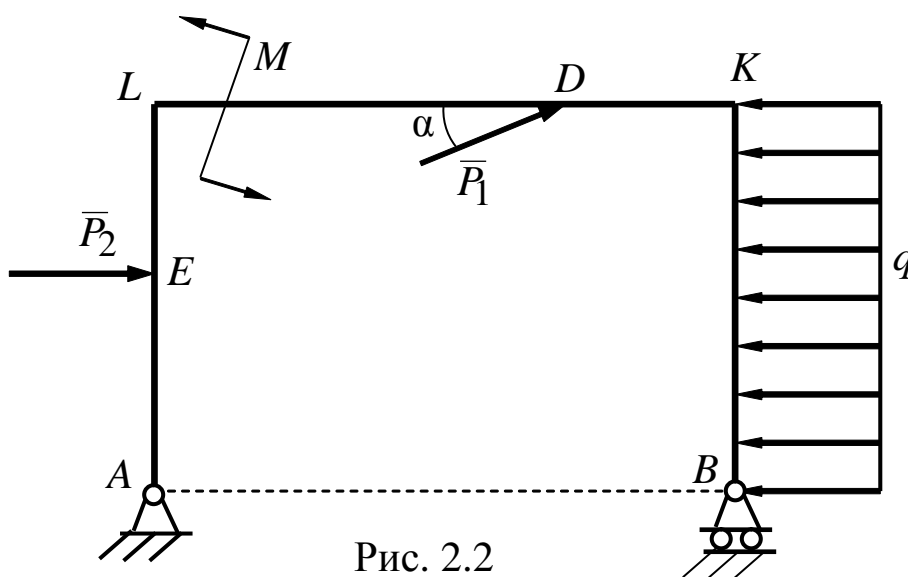


Рис. 2.2

Определить реакции неподвижного цилиндрического шарнира  $A$  и катка  $B$ , если  $BK = 1,5$  м,  $KD = 0,5$  м,  $DL = 1,6$  м,  $AE = 0,8$  м,  $\alpha = 30^\circ$ .

### 2.3.2. Решение примера выполнения задания C1

Объект равновесия – рама, на которую наложены две связи: неподвижный цилиндрический шарнир  $A$  и каток  $B$ . Мысленно отбрасываем связи и заменяем их действиями реакциями (рис. 2.3). Таким образом, рамка находится в равновесии под действием произвольной плоской системы сил  $\bar{P}_1$ ,  $\bar{P}_2$ ,  $M$ ,  $\bar{X}_A$ ,  $\bar{Y}_A$ ,  $\bar{N}_B$  и  $\bar{Q}$ . Здесь  $Q = q \cdot l_1 = 4 \cdot 1,5 = 6$  кН - равнодействующая равномерно распределенной нагрузки и  $BC = 0,5 \cdot BK = 0,75$  м. Строим оси прямоугольных декартовых координат. Начало координат располагаем в точке  $A$  (см. рис. 2.3).

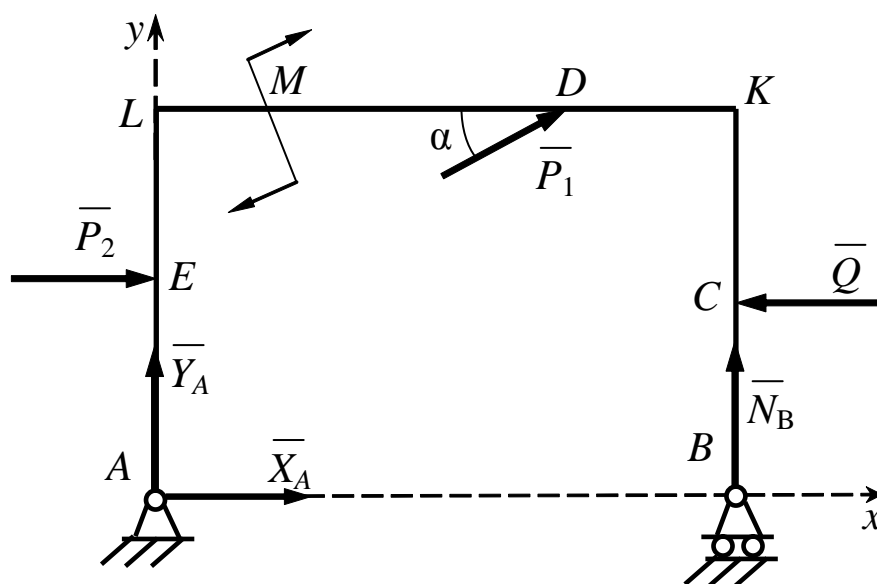


Рис. 2.3

Запишем уравнения равновесия рамы:

$$\sum X = X_A + P_2 + P_1 \cos \alpha - Q = 0, \quad (1.1)$$

$$\sum Y = Y_A + P_1 \sin \alpha + N_B = 0, \quad (1.2)$$

$$\sum m_A(\overline{F_k}) = -P_2 \cdot AE - M - P_1 \cos \alpha \cdot AL + \\ + P_1 \sin \alpha \cdot DL + Q \cdot BC + N_B AB = 0. \quad (1.3)$$

Здесь при определении момента силы  $P_1$  относительно точки  $A$  применена теорема Вариньона о моменте равнодействующей.

Из первого уравнения

$$X_A = Q - P_2 - P_1 \cos \alpha = 6 - 2 - 1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 3,13 \text{ кН}.$$

Из третьего уравнения

$$N_B = (P_2 \cdot AE + M + P_1 \cos \alpha \cdot AL - P_1 \sin \alpha \cdot DL - Q \cdot BC) / AB = \\ = (2 \cdot 0,8 + 3 + 1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,5 - 1 \cdot 0,5 \cdot 1,6 - 6 \cdot 0,75) / 2,1 \approx 0,285 \text{ кН}.$$

Из второго уравнения

$$Y_A = -P_1 \sin \alpha - N_B = -1 \cdot 0,5 - 0,285 = -0,785 \text{ кН}.$$

Знак минус означает, что направление реакции  $Y_A$  противоположно тому, которое показано на рис. 2.3.

### 3. Задание С2

#### Сочлененная система тел

#### 3.1. Содержание задания С2

Сочлененная система, состоит из двух стержней, соединенных неподвижным цилиндрическим шарниром либо свободно опирающихся друг на друга, и имеет внешние опоры, изображенные на рис. 3.1. Внешние опоры могут содержать жесткую заделку, неподвижный цилиндрический шарнир, невесомый стержень или нить, подвижную опору. Система нагружена равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью  $q$  и (или) линейно распределенной нагрузкой с максимальной интенсивностью  $q_{\max}$ , парой сил с моментом  $M_1$  и силой  $F_1$ .

Определить реакции внешних и внутренних связей, наложенных на заданную систему тел.

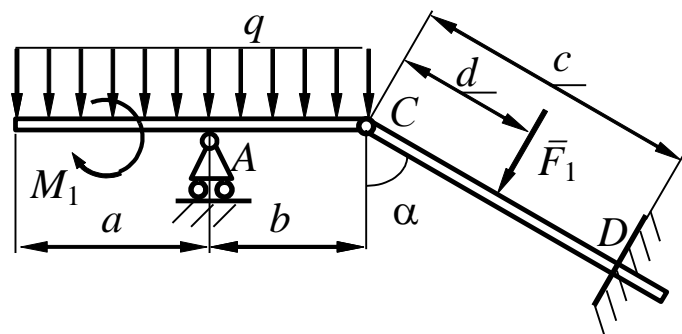
Варианты расчетных схем в соответствии с вариантами расчетно-графической работы изображены на рис. 3.1. Числовые значения параметров приведены в табл. 2.

**Таблица 2**

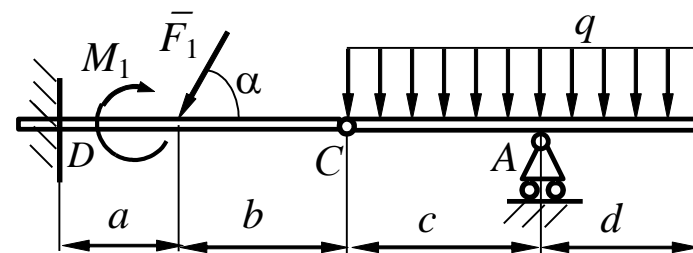
Числовые значения параметров задания С2

N	$a$ , м	$b$ , м	$c$ , м	$d$ , м	$M_1$ , кНм	$F_1$ , Н	$q_{\max}$ , Н/м	$q$ , Н/м	$\alpha$ , °	$\beta$ , °	$\gamma$ , °
1	5	3	4	2	10	15	3	0,8	60	30	120
2	4	3	4	2	10	15	3	0,8	85	60	150
3	3	4	4	3	15	15	4	1,4	60	45	90
4	6	3	3	1	15	20	5	0,75	75	30	120
5	7	4	4	1	20	20	6	1,5	45	30	135
6	5	2	3	1	20	25	4	1,6	50	15	120
7	8	5	5	2	10	20	2	1,3	90	60	100
8	9	5	4	1	10	10	3	1,1	75	45	120

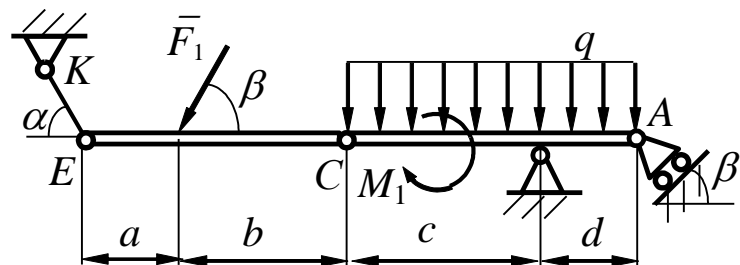
1.



2.



3.



4.

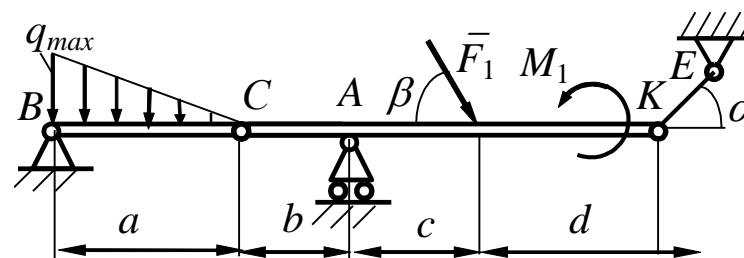
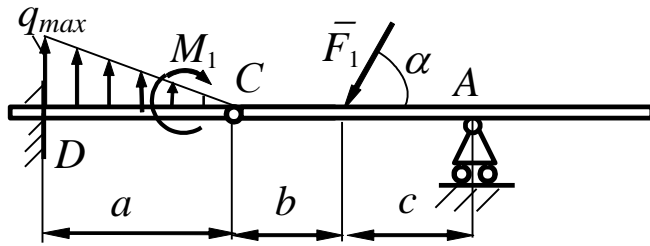
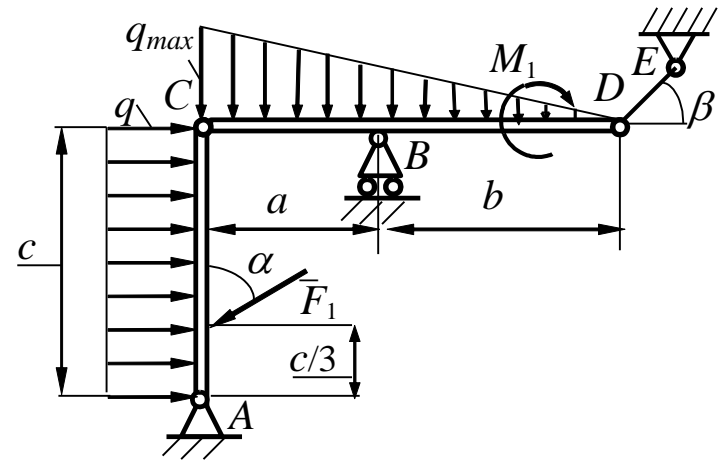


Рис. 3.1

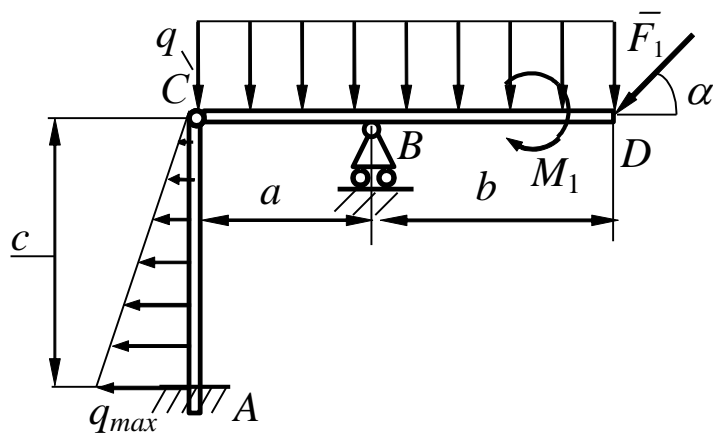
5.



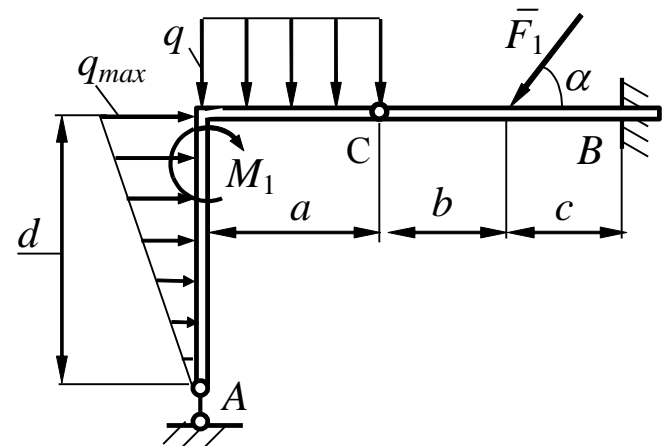
6.



7.

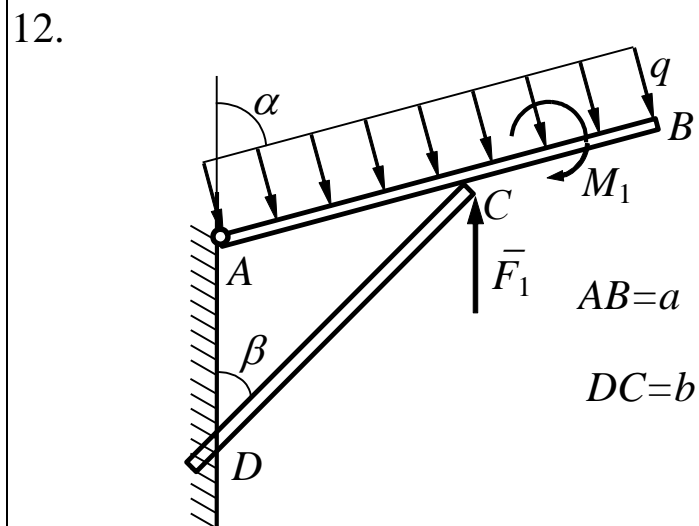
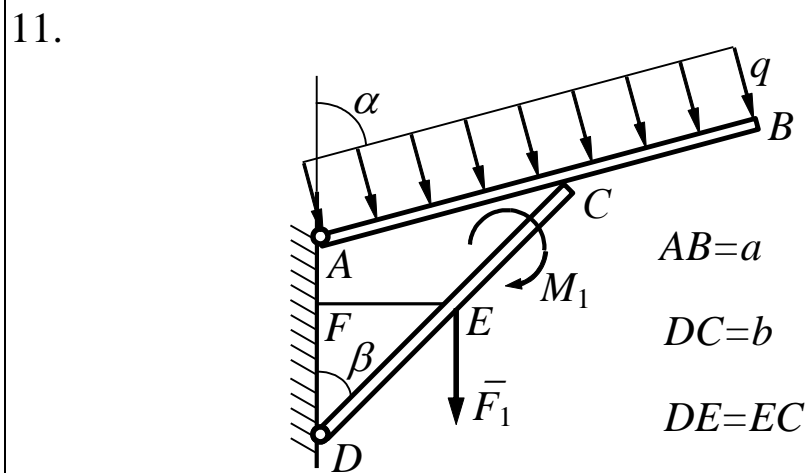
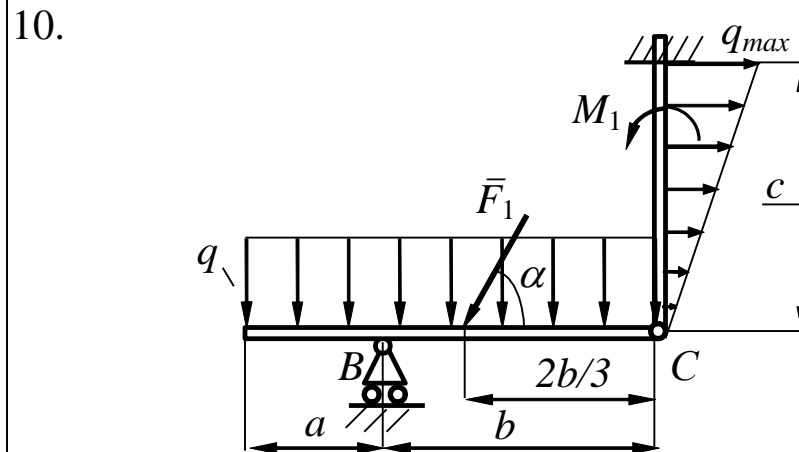
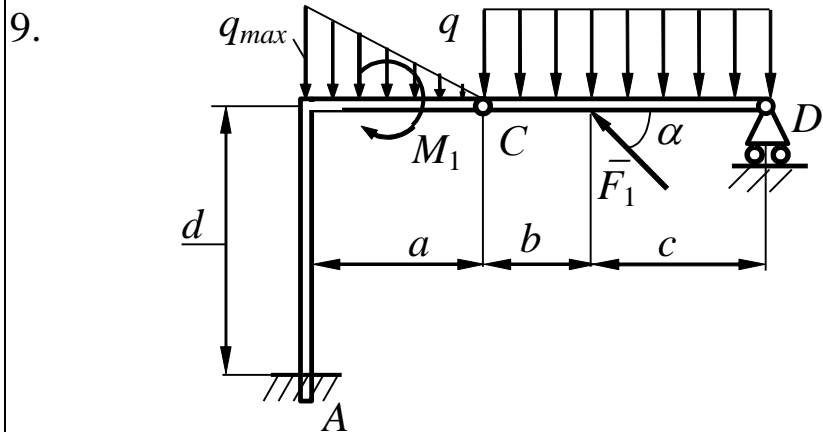


8.



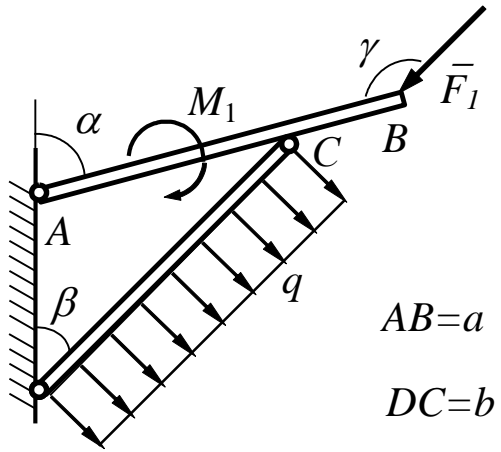
Продолжение рис. 3.1



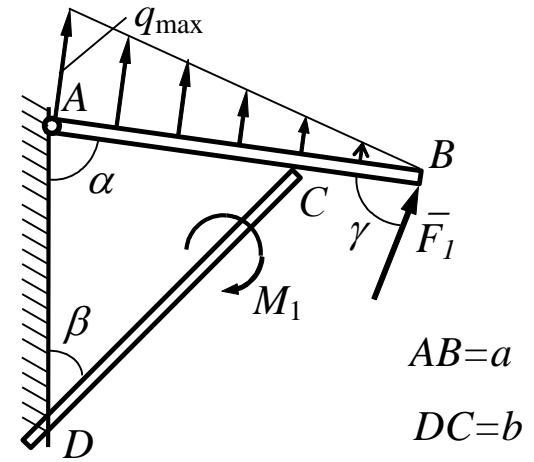


Продолжение рис. 3.1

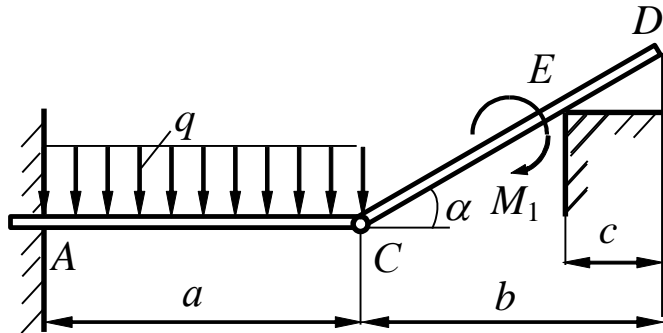
13.



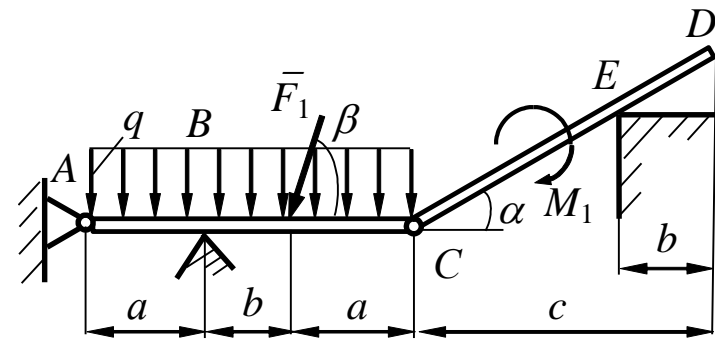
14.



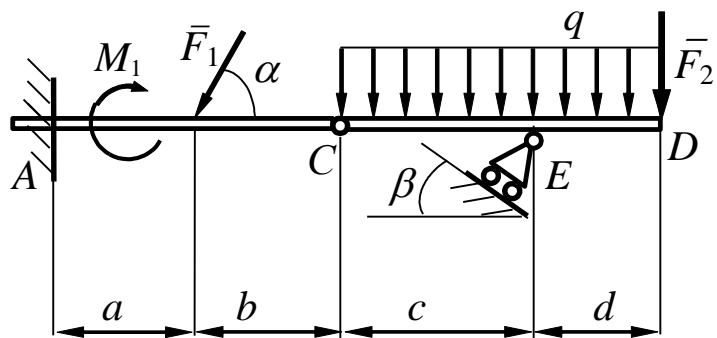
15.



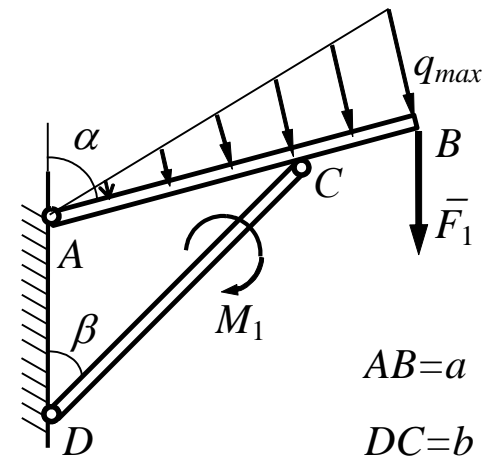
16.



Продолжение рис. 3.1

17. <sup>0</sup>

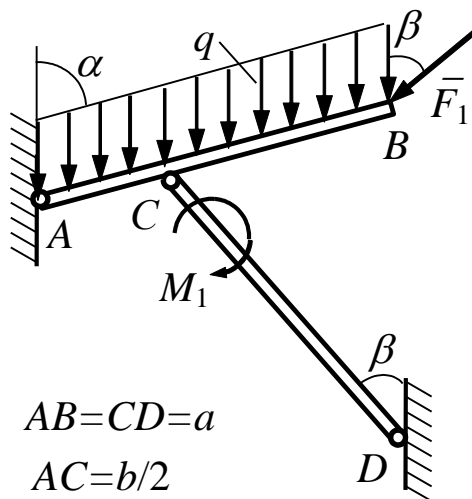
18.



$$AB = a$$

$$DC = b$$

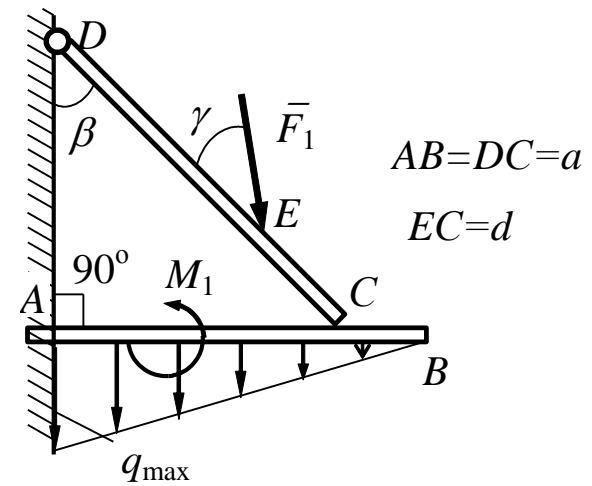
19.



$$AB = CD = a$$

$$AC = b/2$$

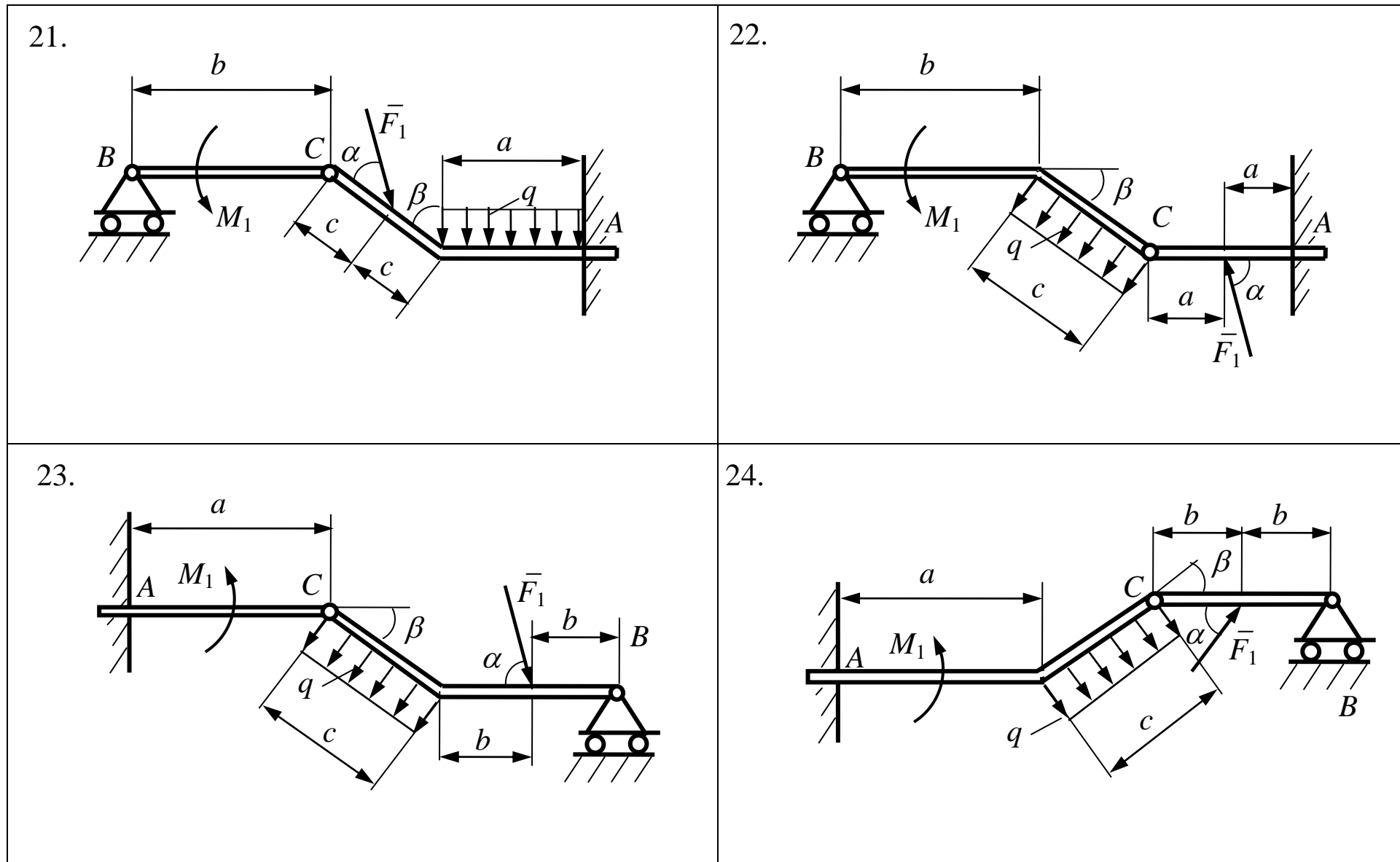
20.



$$AB = DC = a$$

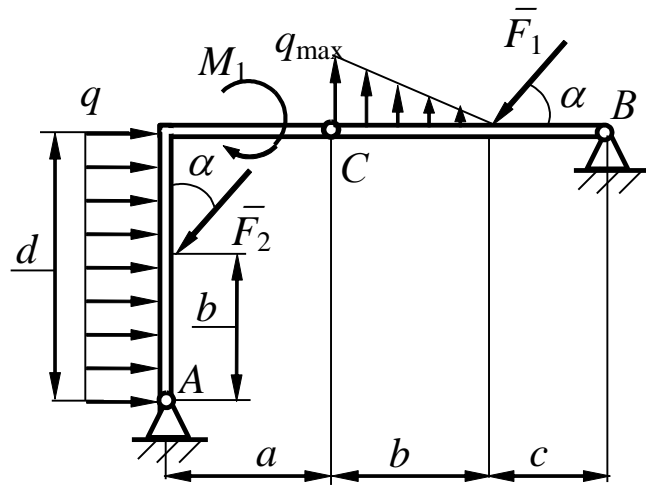
$$EC = d$$

Продолжение рис. 3.1

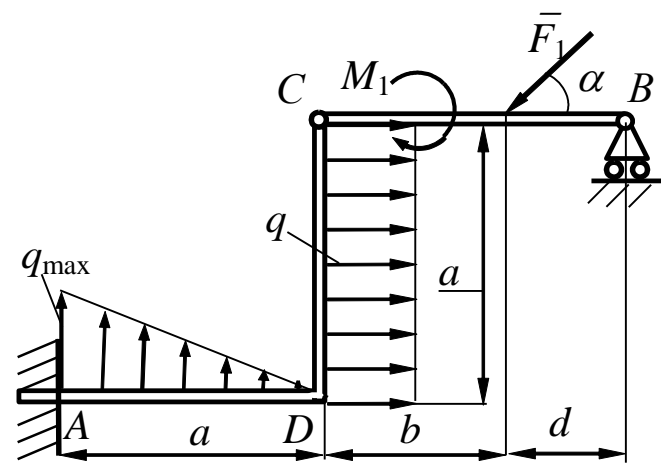


Продолжение рис. 3.1

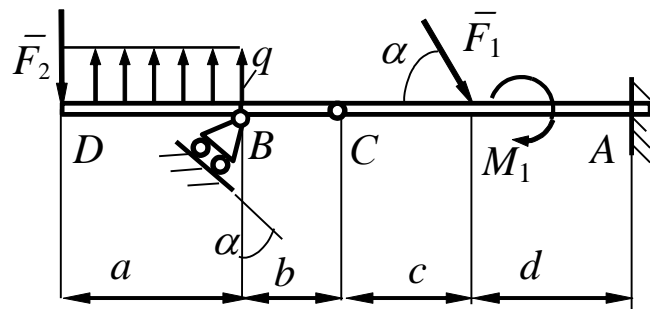
25.



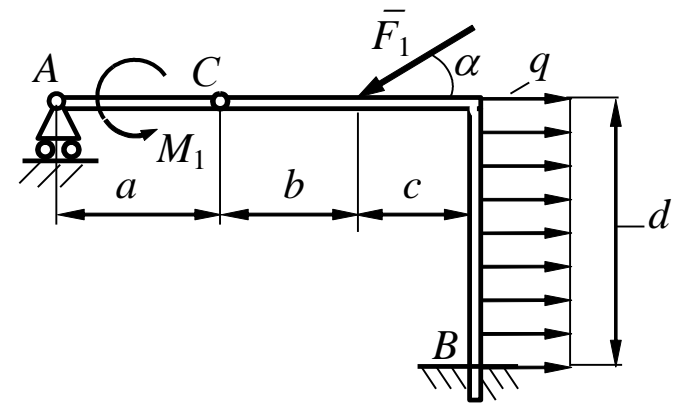
26.



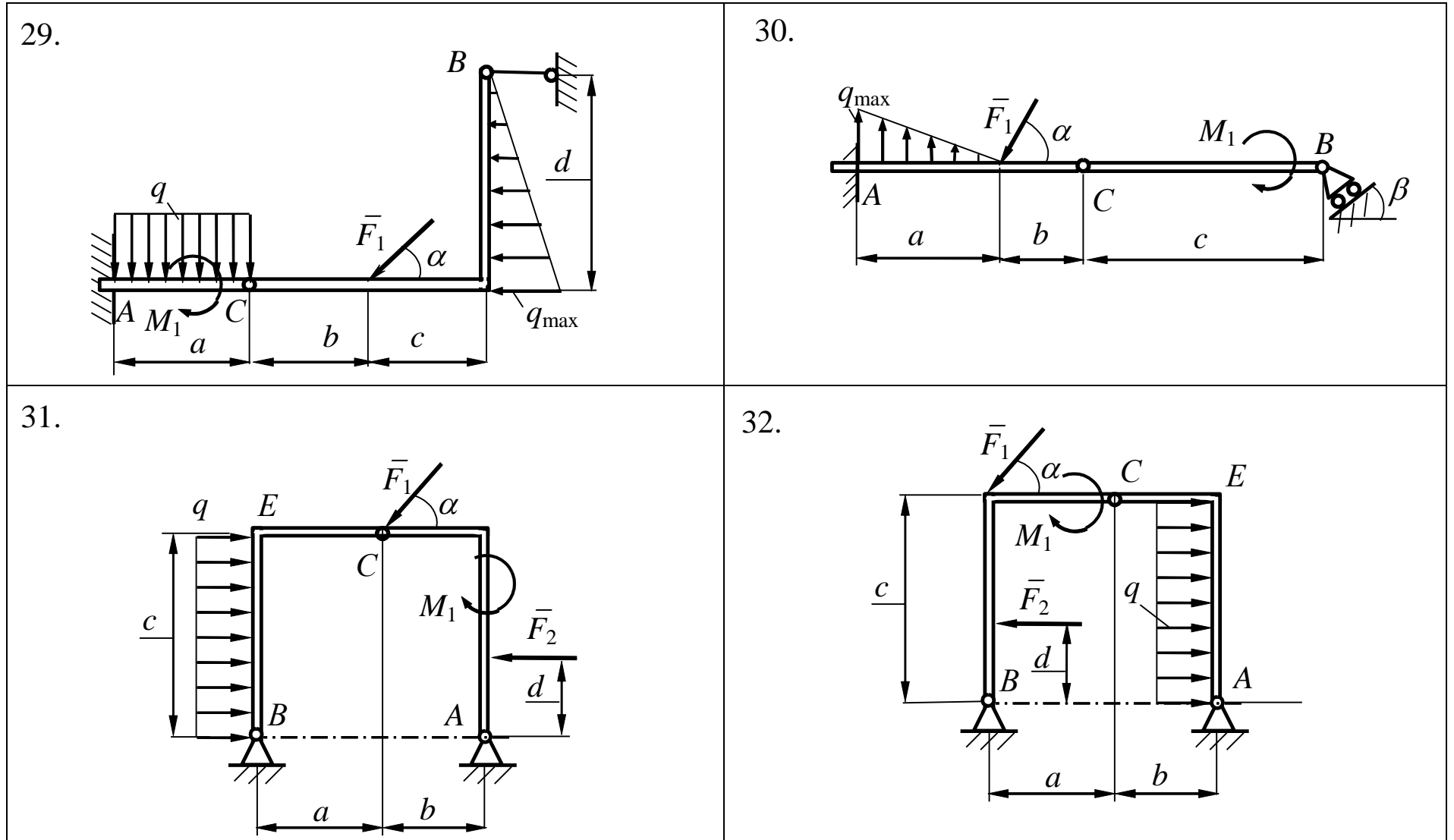
27.



28.



Продолжение рис. 3.1



Окончание рис. 3.1

## 3.2. Краткие методические указания к выполнению

3.2.1. Проработать раздел «Сочлененная система тел», пользуясь конспектом лекций и рекомендуемыми учебниками [1 – 4].

3.2.2. Расчленить сочлененную систему тел на две части по внутренней связи. При этом должен соблюдаться аксиома равенства действия и противодействия, то есть сила действующая на первую часть системы со стороны второй ее части должна равняться ответной силе действующей со стороны первой части на вторую.

3.2.3. Расставить активные силы и реакции связей приложенные к каждой из частей системы. При этом распределенную нагрузку заменить сосредоточенной силой, определив ее величину и точку приложения.

3.2.4. Выбрать оси прямоугольной системы координат  $Axу$ .

3.2.5. Составить по три уравнения равновесия для каждой части системы и определить искомые реакции.

## 3.3. Пример выполнения задания С2

### 3.3.1. Условие примера выполнения задания С2

Определить реакции неподвижного цилиндрического шарнира  $A$ , катков  $B$  и  $C$ , и промежуточного шарнира  $D$  составной балки, изображенной на рис. 3.2, если  $P = 3$  кН,  $M = 5$  кНм,  $q = 2$  кН/м,  $q_{\max} = 4$  кН/м,  $AE = 8$  м,  $AB = 10$  м,  $BD = 4$  м,  $DC = 6$  м,  $\alpha = 60^\circ$ .

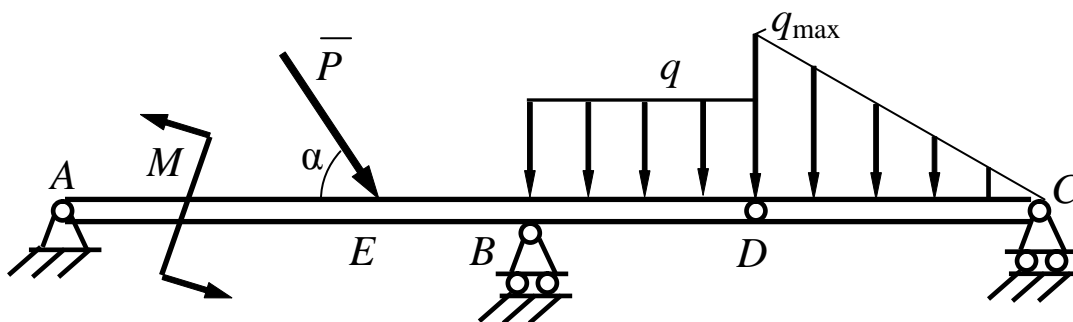


Рис. 3.2

### 3.3.2. Решение примера выполнения задания С2

В этой задаче рассматривается равновесие сочлененной системы. Представленная система состоит из двух частей: левой части  $AD$  и правой части  $DC$ , соединенных между собой с помощью цилиндрического шарнира  $D$ . Искомые реакции можно определить двумя способами. Первый способ решения задачи заключается в рассмотрении равновесия всей системы (составной балки) и одной из ее частей, а второй – в рассмотрении равновесия каждой части отдельно. При этом силы, с которыми одна часть действует на другую согласно аксиоме равенства действия и противодействия, равны по модулю и противоположны по направлению. Мы воспользуемся вторым способом решения.

Расчленим составную балку по цилиндрическому шарниру  $D$  на две части: левую –  $AD$  и правую –  $DC$ . Силы, действующие на каждую из частей балки изображены на рис. 3.3.

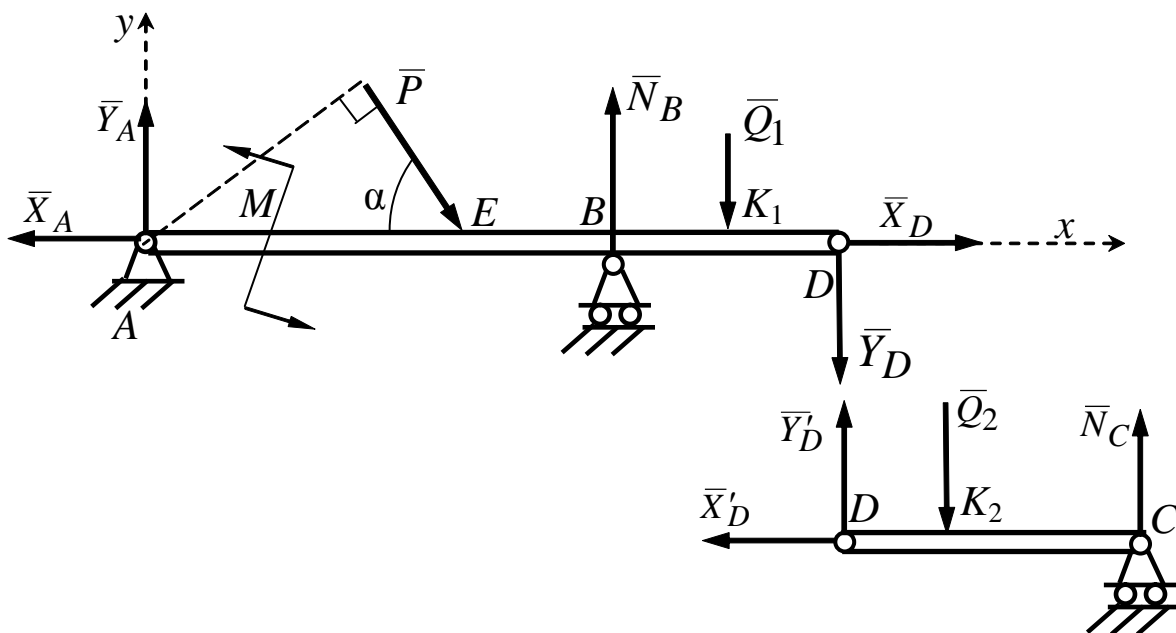


Рис. 3.3

Здесь силы взаимного давления одной части на другую попарно равны

$$X'_D = X_D, Y'_D = Y_D. \quad (3.1)$$

Распределенные нагрузки, действующие на левую и правую части балки, заменяем их равнодействующими  $Q_1$  и  $Q_2$ :



$$Q_1 = q \cdot BD = 2 \cdot 4 = 8 \text{ кН},$$

$$Q_2 = \frac{1}{2} q_{\max} \cdot DC = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 6 = 12 \text{ кН},$$

линии действия которых проходят соответственно через точки  $K_1$  и  $K_2$ :

$$BK_1 = \frac{1}{2} BD = \frac{1}{2} \cdot 4 = 2 \text{ м}, \quad DK_2 = \frac{1}{3} DC = \frac{1}{3} \cdot 6 = 2 \text{ м}.$$

Из рис. 3.3 видно, что к левой части балки приложена произвольная плоская система сил, включающая восемь силовых факторов:  $\bar{P}$ ,  $\bar{Q}_1$ ,  $M$ ,  $\bar{X}_A$ ,  $\bar{Y}_A$ ,  $\bar{X}_D$ ,  $\bar{Y}_D$ ,  $\bar{N}_B$ , а к правой части – четыре силы:  $\bar{Q}_2$ ,  $\bar{X}_D$ ,  $\bar{Y}_D$ ,  $\bar{N}_C$ . Запишем уравнения равновесия для каждой из частей балки.

Левая часть

$$\sum X = -X_A + P \cos \alpha + X_D = 0, \quad (3.2)$$

$$\sum Y = Y_A - P \sin \alpha + N_B - Q_1 - Y_D = 0, \quad (3.3)$$

$$\sum m_A(\bar{F}_K) = M - P \cdot AE \sin \alpha + N_B \cdot AB - Q_1 \cdot AK_1 - Y_D \cdot AD = 0 \quad (3.4)$$

Правая часть

$$\sum X = -X'_D = 0, \quad (3.5)$$

$$\sum Y = Y'_D - Q_2 + N_C = 0, \quad (3.6)$$

$$\sum m_D(\bar{F}_K) = N_C \cdot DC - Q_2 \cdot DK_2 = 0. \quad (3.7)$$

Решая уравнения (3.2) – (3.7) с учетом равенств (3.1), получаем

$$X'_D = X_D = 0,$$

$$N_C = Q_2 \cdot \frac{DK_2}{DC} = 12 \cdot \frac{2}{6} = 4 \text{ кН},$$

$$Y'_D = Y_D = Q_2 - N_C = 12 - 4 = 8 \text{ кН},$$

$$X_A = P \cos \alpha + X_D = 3 \cdot 0,5 + 0 = 1,5 \text{ кН},$$

$$N_B = \frac{(P \cdot AE \sin \alpha - M + Q_1 AK_1 + Y_D AD)}{AB} =$$

$$= \frac{(3 \cdot 8 \frac{\sqrt{3}}{2} - 5 + 8 \cdot 12 + 8 \cdot 14)}{10} \approx 22,4 \text{ кН},$$

$$Y_A = P \sin \alpha - N_B + Q_1 + Y_D = 3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 22,4 + 8 + 8 \approx -3,8 \text{ кН}.$$

Направление реакции  $\bar{Y}_A$  противоположно показанному на рис. 3.3 направлению.

## 4. Задание С3

### Пространственная система сил

#### 4.1 Содержание задания С3

Изогнутая под прямыми углами пространственная рама концом  $A$  заделана в неподвижную опору и нагружена равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью  $q$  или линейно распределенной нагрузкой с максимальной интенсивностью  $q_{\max}$ , парой сил с моментом  $M$  и силой  $P$ , расположенной в плоскости перпендикулярной участку рамы длиной  $l_4$  и образующей угол  $\alpha$  с прямой изображенной на рисунке.

Определить опорные реакции рамы.

Варианты расчетных схем изображены на рис. 4.1. Номер на рисунке соответствует варианту задания. Числовые значения параметров приведены в табл. 3.

Таблица 3

Числовые значения параметров задания С3

№ п/п	$P$ , Н	$M$ , Нм	$q, (q_{\max})$ Н/м	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$l_3$ , м	$l_4$ , м	$\alpha$ , град
1	800	1000	400	2	0,5	1	1,5	15
2	600	400	800	1,5	1	1	2	30
3	400	100	600	2	1	1,5	1,5	45
4	500	800	250	2	1,5	1,5	0,8	60
5	200	500	300	1,8	1,2	1,4	1	75
6	700	400	1000	1,6	1	1,2	1,2	90
7	1000	400	700	1,4	1,2	0,8	1	105
8	400	600	500	1,2	1	0,6	0,8	120

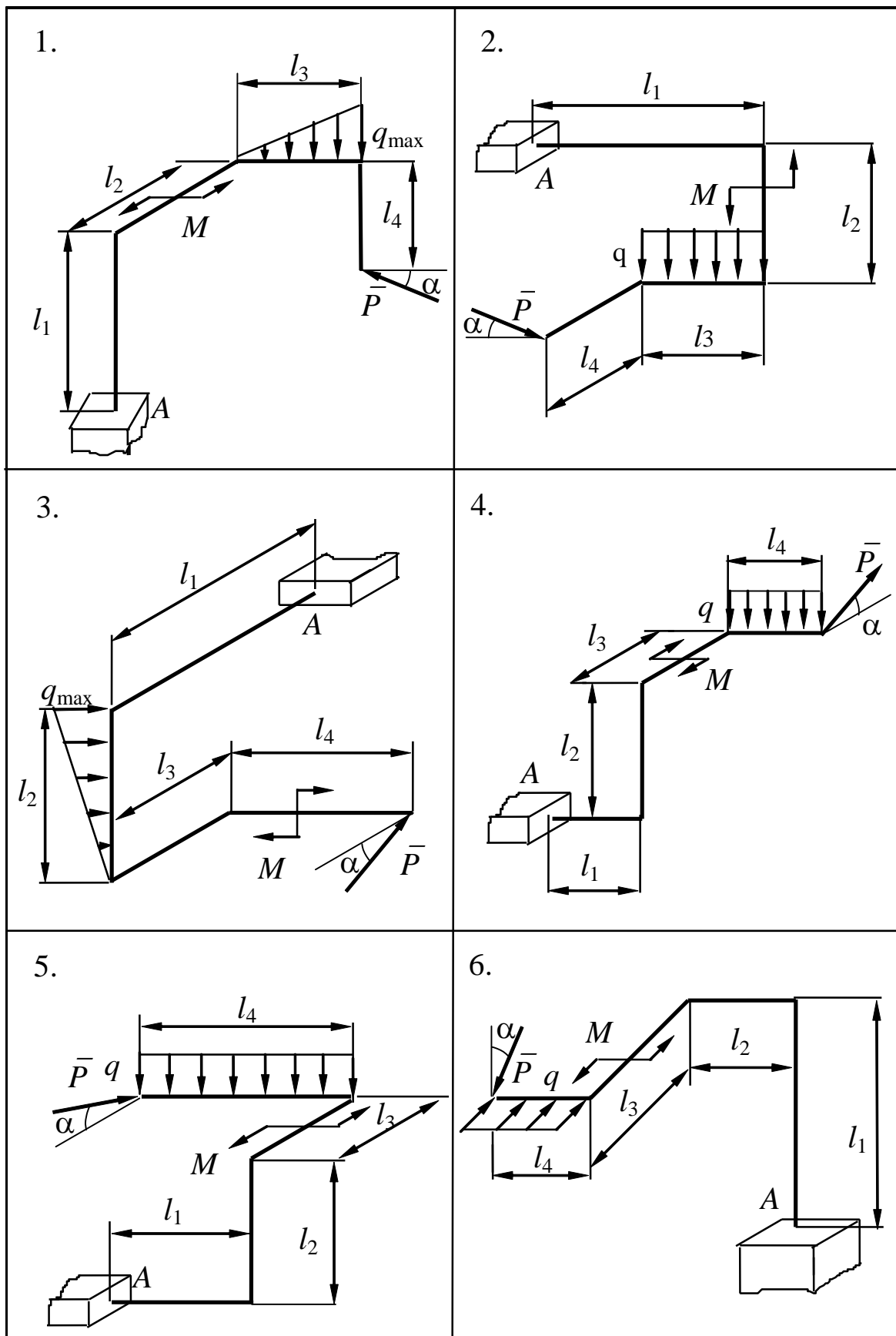
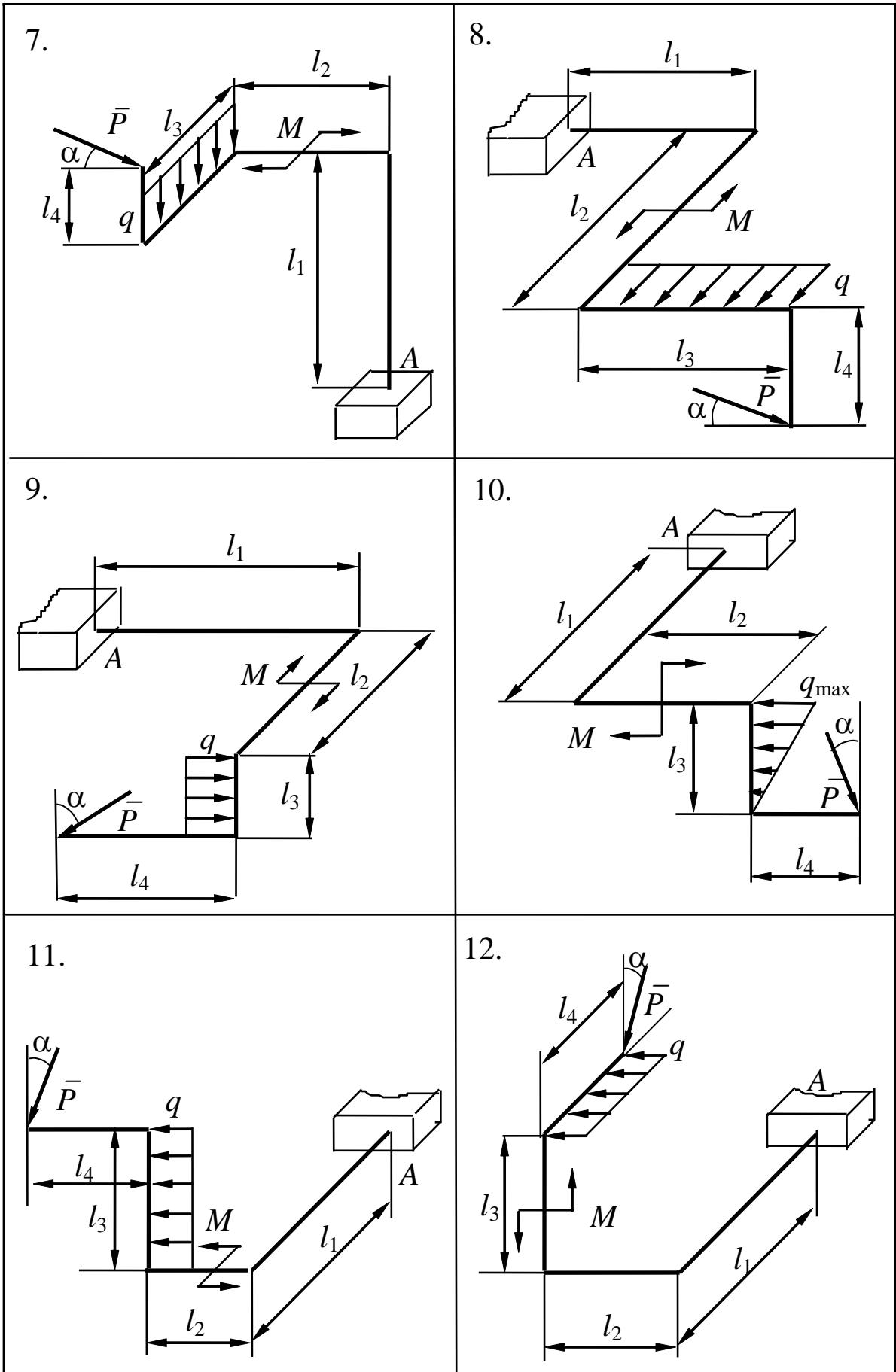
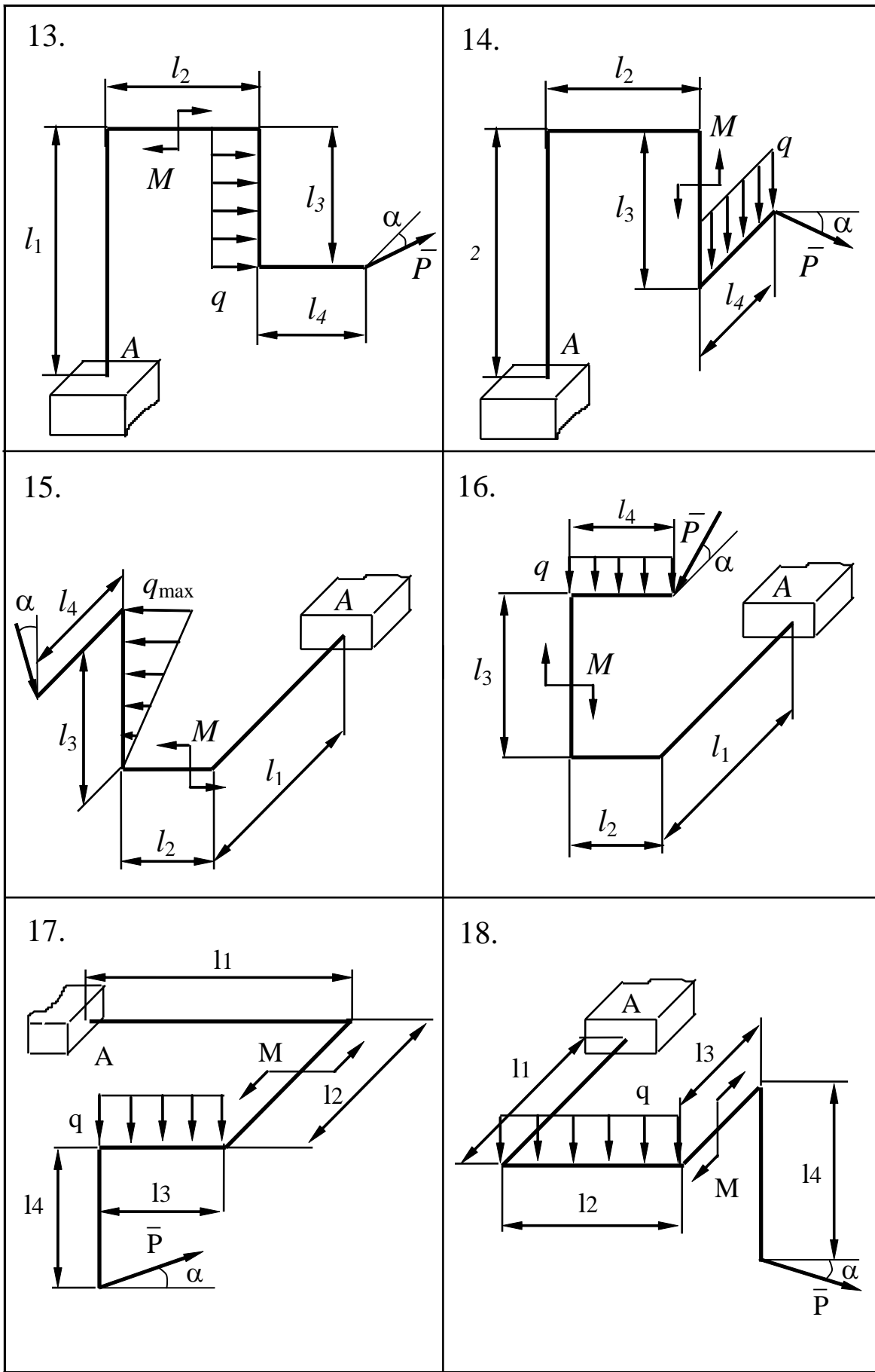


Рис. 4.1

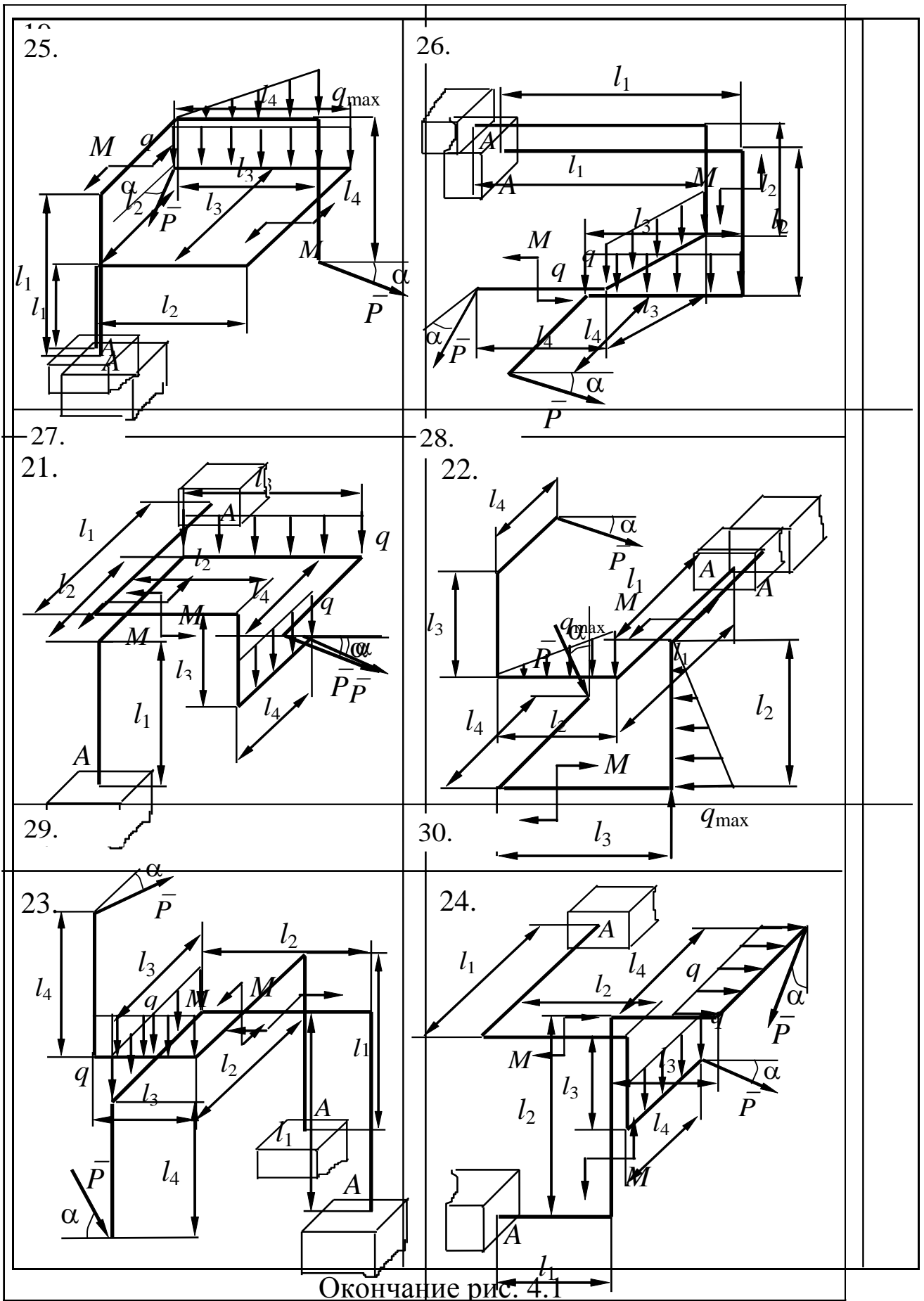


Продолжение рис. 4.1





Продолжение рис. 4.1



Окончание рис. 4.1  
Продолжение рис. 4.1



## 4.2. Краткие методические указания к выполнению

4.2.1. Прежде, чем приступить к выполнению задания, необходимо проработать соответствующие разделы лекций и рекомендуемой литературы [1 – 4].

4.2.2. Выбрать оси прямоугольной системы координат  $Axuz$ , направив одну из осей вдоль участка длиной  $l_1$ , а вторую – вдоль участка длиной  $l_2$ .

4.2.3. Приложить активные силы, причем распределенную нагрузку заменить сосредоточенной силой, определив ее величину и точку приложения.

4.2.4. Освободиться от заделки в точке  $A$ , заменив ее действие на раму реакцией. Реакция заделки состоит из силы, имеющей составляющие  $\bar{X}_A$ ,  $\bar{Y}_A$ ,  $\bar{Z}_A$ , и момента заделки  $\bar{M}_A$  с составляющими  $\bar{M}_{Ax}$ ,  $\bar{M}_{Ay}$ ,  $\bar{M}_{Az}$ .

4.2.5. Составить шесть уравнений равновесия пространственной системы сил, действующих на раму, и определить искомые реакции.

## 4.3. Пример выполнения задания С3

### 4.3.1. Условие примера выполнения задания С3

Пространственная рама, изогнутая под прямыми углами, концом  $A$  заделана в неподвижную опору и нагружена силой  $P = 2$  кН, двумя парами сил с моментами  $M_1 = 3$  кНм и  $M_2 = 7$  кНм, равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью  $q = 4$  кНм и линейно распределенной нагрузкой максимальной интенсивностью  $q_{\max} = 6$  кНм. Рама с приложенными к ней заданными силами изображена на рис. 4.2.

Определить опорные реакции, если  $l_1 = 5$  м,  $l_2 = 4$  м,  $l_3 = 3$  м,  $l_4 = 2$  м.

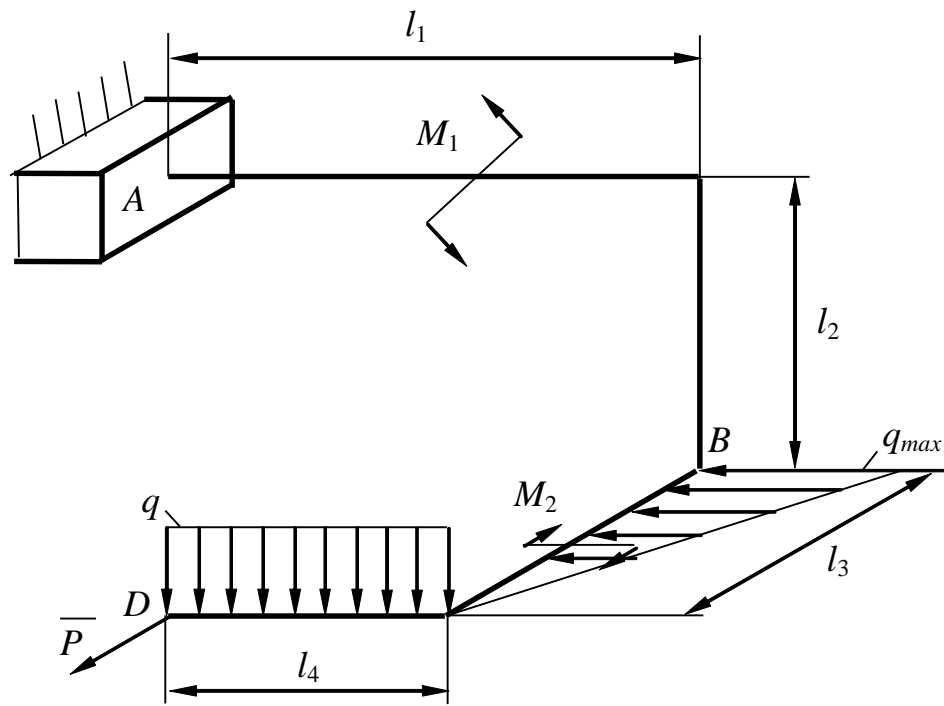


Рис. 4.2

#### 4.3.2. Решение примера выполнения задания С3

Связью для рамы, выбранной в качестве объекта равновесия, является жесткая заделка. Отбросим мысленно связь и заменим ее действие на раму реакциями  $\bar{X}_A$ ,  $\bar{Y}_A$ ,  $\bar{Z}_A$ ,  $\bar{M}_{Ax}$ ,  $\bar{M}_{Ay}$ ,  $\bar{M}_{Az}$ , изображенными на рис. 4.3.

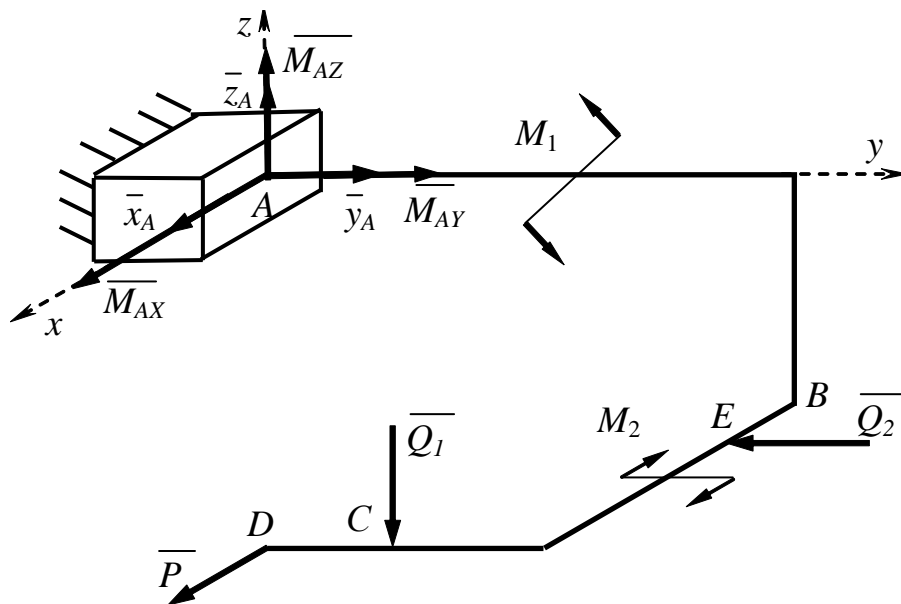


Рис. 4.3

Действие распределенных нагрузок представляет их равнодействующими  $Q_1$  и  $Q_2$ :

$$Q_1 = ql_4 = 4 \cdot 2 = 8 \text{ кН},$$

$$Q_2 = \frac{1}{2} q_{\max} l_3 = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 3 = 9 \text{ кН},$$

соответственно приложенное в точках  $C$  и  $E$ , причем:

$$DC = \frac{1}{2} l_4 = \frac{1}{2} \cdot 2 = 1 \text{ м}, \quad BE = \frac{1}{3} l_3 = \frac{1}{3} \cdot 3 = 1 \text{ м}.$$

Из рис. 4.3 следует, что к раме приложена произвольная пространственная система сил:  $\bar{P}$ ,  $\bar{M}$ ,  $\bar{Q}_1$ ,  $\bar{Q}_2$ ,  $\bar{X}_A$ ,  $\bar{Y}_A$ ,  $\bar{Z}_A$ ,  $\bar{M}_{AX}$ ,  $\bar{M}_{AY}$ ,  $\bar{M}_{AZ}$ . Запишем уравнения равновесия рамы:

$$\sum X = X_A + P = 0,$$

$$\sum Y = Y_A - Q_2 = 0,$$

$$\sum Z = Z_A - Q_1 = 0,$$

$$\sum m_X(\bar{F}_K) = M_{AX} + M_1 - Q_1(l_1 - DC) - Q_2 l_2 = 0,$$

$$\sum m_Y(\bar{F}_K) = M_{AY} + Q_1 l_3 - P l_2 = 0,$$

$$\sum m_Z(\bar{F}_K) = M_{AZ} - P(l_1 - l_4) - Q_2 \cdot BE - M_2 = 0.$$

Из первых трех уравнений находим  $X_A$ ,  $Y_A$  и  $Z_A$ :

$$X_A = -P = -2 \text{ кН}, \quad Y_A = Q_2 = 9 \text{ кН}, \quad Z_A = Q_1 = 8 \text{ кН}.$$

Из следующих трех уравнений определяем составляющие  $M_{AX}$ ,  $M_{AY}$ ,  $M_{AZ}$  момента реакции заделки:

$$M_{AX} = Q_1(l_1 - DC) + Q_2 l_2 - M_1 = 8 \cdot (5 - 1) + 9 \cdot 4 - 3 = 65 \text{ кНм},$$

$$M_{AY} = P l_2 + Q_1 l_3 = 2 \cdot 4 - 8 \cdot 3 = -16 \text{ кНм},$$

$$M_{AZ} = P(l_1 - l_4) + Q_2 BE + M_2 = 2 \cdot (5 - 2) + 9 \cdot 1 + 7 = 22 \text{ кНм}.$$

Направления реакций  $\bar{X}_A$  и  $\bar{M}_{AY}$  противоположны тем, которые показаны на рис. 4.3.

## Контрольные вопросы

1. В чем состоит предмет статики?
2. Основные понятия статики?
3. Как формулируются аксиомы статики?
4. Чем отличается несвободное тело от свободного?
5. Что называется реакцией связи? Как определить направление реакции связи?
6. Приведите примеры различных типов связей. Объясните направления реакций связей.
7. При каком условии можно рассматривать несвободное тело как свободное?
8. Всякая ли система сил имеет равнодействующую?
10. Как формулируются условия равновесия системы сходящихся сил в геометрической и аналитической формах?
12. Что называется парой сил?
13. Как направлен и чему равен по модулю вектор-момент пары?
14. При каком условии две пары будут эквивалентными?
15. В чем состоит теорема о сложении системы пар, расположенных в одной плоскости и в различных плоскостях?
16. В каком случае вектор-момент силы относительно точки равен нулю?
17. Изменится ли вектор-момент силы относительно данной точки при переносе точки приложения силы по линии ее действия?
18. Что называется моментом силы относительно точки на плоскости?
19. Что называется плечом силы относительно точки на плоскости?
20. В какой последовательности определяется момент силы относительно данной оси и как выбирается знак этого момента?
21. В каких случаях момент силы относительно данной оси равен нулю?
22. Какая существует зависимость между вектором-моментом силы относительно данной точки и моментом той же силы относительно оси, проходящей через эту точку?
23. Что называется главным вектором произвольной плоской (или произвольной пространственной) системы сил? Какая разница между главным вектором и равнодействующей?

24. Изменится ли главный вектор данной системы сил при перемене центра приведения?

25. Что называется главным моментом произвольной плоской системы сил и главным вектором-моментом произвольной пространственной системы сил?

26. Как изменяется главный вектор-момент произвольной пространственной системы сил при перемене центра приведения?

27. В чем состоит теорема Вариньона о моменте равнодействующей произвольной плоской и произвольной пространственной системы сил?

28. Как формулируются условия равновесия произвольной плоской и произвольной пространственной систем сил?

29. Сколько неизвестных величин должно входить в уравнения равновесия сил, расположенных в одной плоскости, для того чтобы задача была статически определимой?

30. В чем заключается метод решения задачи о равновесии системы, состоящей из нескольких твердых тел?

### *Дополнительные вопросы*

1. Какие связи наложены на перемещения элементов вашей конструкции? (Названия опор, изображенных на рисунке).

2. Какие реакции возникают со стороны опор?

3. Что называется проекцией силы на ось? Как определить знак проекции силы на ось? Пояснить для сил, изображенных в вашей задаче.

4. Что называется моментом силы относительно точки на плоскости? Как определяется знак момента силы относительно точки? Пояснить для сил, изображенных в вашей задаче.

5. Что называется плечом силы относительно точки на плоскости? Изобразить плечо каждой силы в вашей задаче.

6. Что называется парой сил? Как определить момент, создаваемый парой сил относительно точки на плоскости?

7. В чем выражается принцип равенства действия и противодействия при расчленении системы тел на отдельные тела?

8. Как разложить силу на два направления? По каким формулам определяются величины составляющих сил?

9. Как определить величину и направление равнодействующей двух сил?

10. Как разложить силу на три взаимно перпендикулярных направления? По каким формулам определяются величины составляющих сил?

11. В чем заключается метод двойного проецирования? По каким формулам при этом определяются величины составляющих сил?

12. В какой последовательности определяется момент силы относительно данной оси и как выбирается знак этого момента? Поясните, используя графические построения, последовательность определения моментов сил относительно какой-либо оси при решении вашей задачи.

## Список литературы

1. Бутенин Н. В. Курс теоретической механики: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим специальностям: В 2-х т. / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин – Санкт-Петербург: Лань, 2009 – Т.1: Статика и кинематика. Т.2: Динамика – 736 с.

2. Никитин Н. Н. Курс теоретической механики: учебник для студентов вузов, обучающихся по техническим направлениям подготовки и специальностям / Н. Н. Никитин – Санкт-Петербург: Лань, 2011 – 720 с.

3. Яблонский А.А. , Никифорова В.М. Курс теоретической механики. Статика. Кинематика. Динамика. – М.: Интеграл-Пресс, 2006 – 603 с.

4. Дронг В. И. Курс теоретической механики: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов в области техники и технологии / В. И. Дронг [и др.]; под ред. К. С. Колесникова - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005 - 736 с.

## Приложение

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования

**«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра теоретической механики

### Расчетно-графическая работа Статика

Вариант №

№ группы	Должность	Ф.И.О.	Дата	Подпись
Выполнил	студент			
Проверил	доцент			
Принял	доцент			

Уфа 2014