### *Контрольные вопросы и задания*

1. Что называется фермой? К каким элементам фермы прикладываются внешние силы?
2. Какие существуют способы определения усилий в стержнях фермы?
3. Каковы достоинства и недостатки способа вырезания узлов?
4. Каковы достоинства и недостатки способа Риттера?
5. Каковы достоинства и недостатки матричного способа определения усилий в стержнях фермы?
6. Как по результатам расчета можно выяснить, растянуты стержни или сжаты?
7. Можно ли определить усилия в стержнях фермы, рассмотренной в примере выполнения задания, способом вырезания узлов? Если нельзя, то почему?
8. Можно ли определить усилия в стержнях фермы, рассмотренной в примере выполнения задания, способом Риттера? Если нельзя, то почему?
9. Как определить, является ли данная ферма статически определимой?
10. При каком соотношении между количеством узлов и стержней плоской фермы применим данный метод расчета?

## *Задание С-4.* ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ ОПОР ПЛОСКОЙ СОСТАВНОЙ КОНСТРУКЦИИ (СИСТЕМА ДВУХ ТЕЛ)

Плоская конструкция, состоящая из двух частей, соединенных шарниром в точке $C$, находится в равновесии под действием заданной системы сил. На горизонтальную часть $DE$ конструкции въезжает поезд, проходит по ней и полностью съезжает. Поезд моделируется подвижной распределенной нагрузкой.

Установить зависимость реакций опор и соединения $C$ от положения равномерно распределенной нагрузки $q$ на участке $DE$ конструкции и провести анализ полученных результатов.

Схемы конструкций представлены в «Рисунках к заданию С-4», а необходимые для расчета данные — в табл. С4.1.

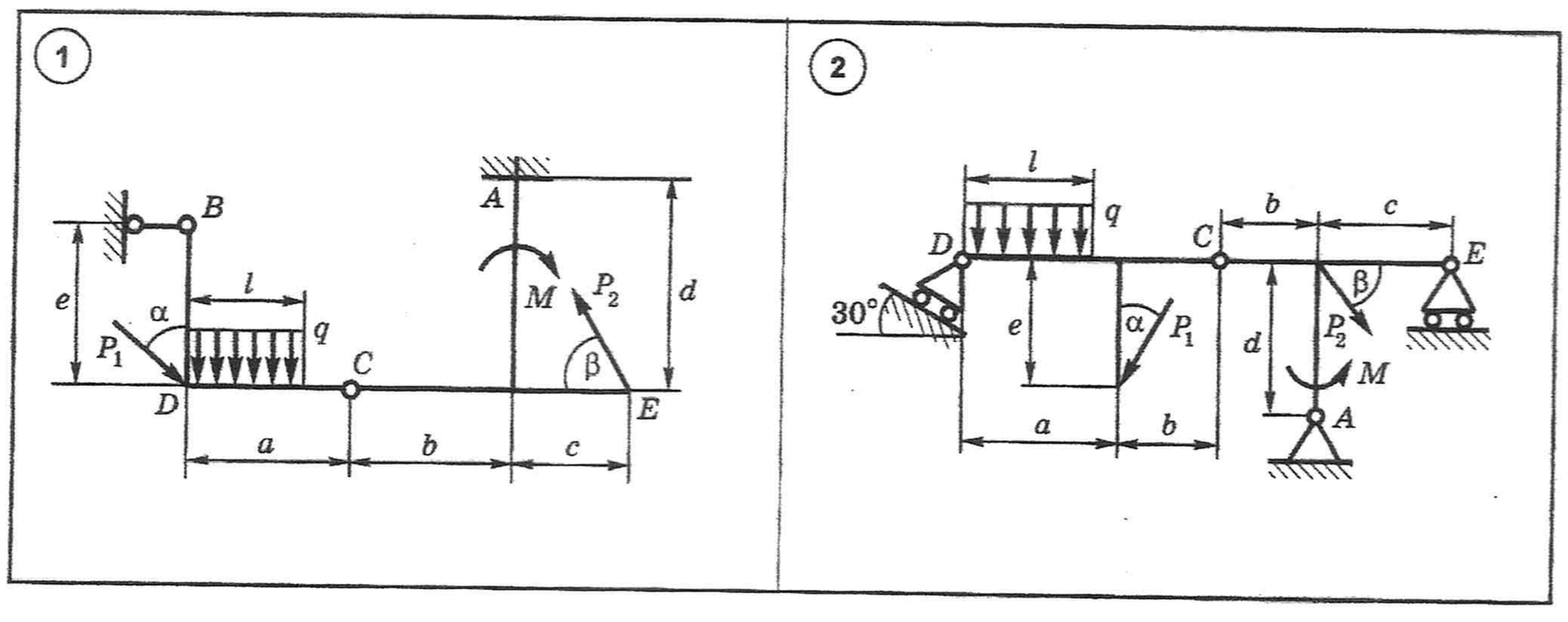
*Таблица С4.1*

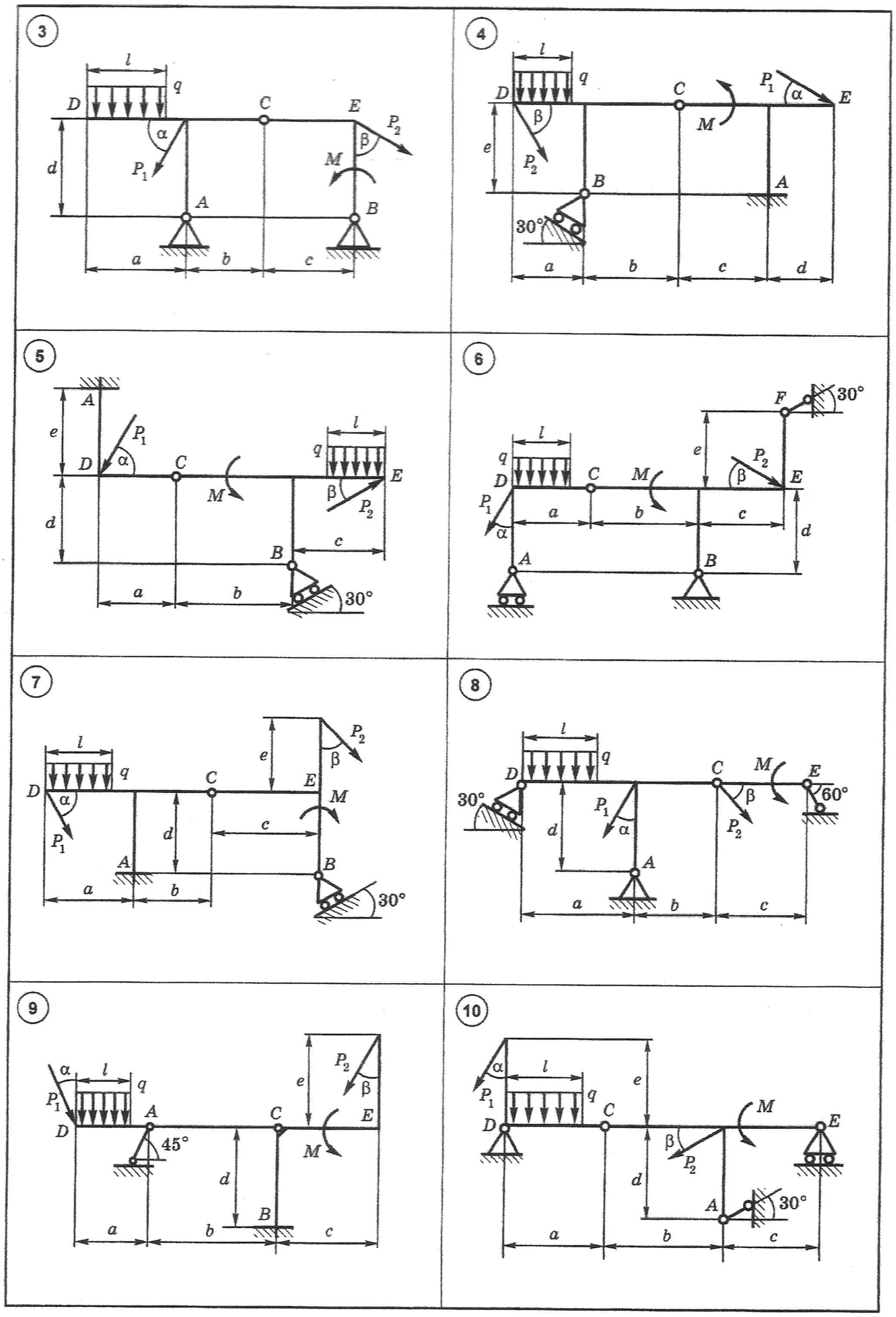
| № | $P_1$, кН | $P_2$, кН | $q$, кН/м | $M$, кН·м | $a$, м | $b$, м | $c$, м | $d$, м | $e$, м | $l$, м | α | β |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *1* | 12 | 4 | 25 | 22 | 3 | 4 | 6 | 4 | 3 | 2 | 60° | 45° |
| *2* | 10 | 8 | 40 | 35 | 4 | 1,5 | 3 | 4 | 3 | 1,8 | 60° | 30° |
| *3* | 40 | 4 | 20 | 25 | 5 | 4 | 4,5 | 5 | — | 2,5 | 30° | 45° |
| *4* | 10 | 10 | 40 | 40 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1,5 | 60° | 30° |
| *5* | 15 | 12 | 30 | 22 | 2,1 | 4,8 | 3 | 2,5 | 2 | 2 | 60° | 45° |
| *6* | 20 | 4 | 23 | 21 | 3 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2,2 | 60° | 30° |
| *7* | 20 | 4 | 33 | 51 | 3 | 2,5 | 4 | 3 | 2,5 | 1,6 | 45° | 60° |
| *8* | 20 | 7 | 33 | 21 | 5 | 3,5 | 3 | 3 | — | 2,3 | 30° | 45° |
| *9* | 10 | 5 | 27 | 20 | 3 | 6 | 4 | 3,5 | 3 | 1,5 | 45° | 20° |
| *10* | 20 | 10 | 20 | 60 | 3 | 5 | 4 | 4 | 3 | 1,7 | 45° | 30° |
| *11* | 22 | 6 | 30 | 30 | 4 | 5 | 3 | 3 | 2,5 | 2 | 30° | 60° |

*Продолжение табл. С4.1*

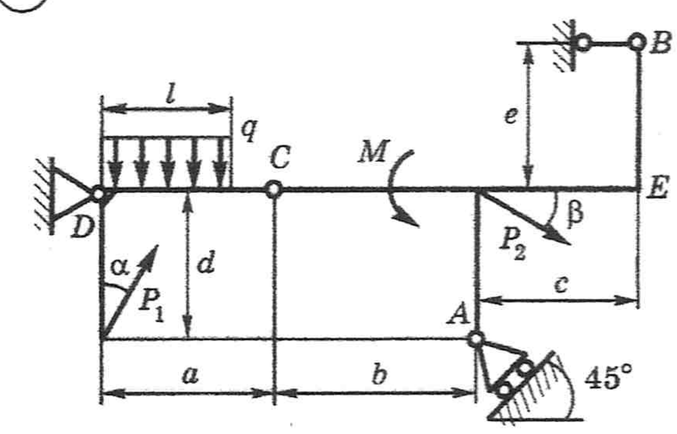
| № | $P_1$, кН | $P_2$, кН | $q$, кН/м | $M$, кН·м | $a$, м | $b$, м | $c$, м | $d$, м | $e$, м | $l$, м | α | β |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *12* | 35 | 8 | 24 | 10 | 4 | 4,5 | 3,5 | 2 | 3 | 1,6 | 30° | 45° |
| *13* | 25 | 10 | 60 | 40 | 3,5 | 5 | 3 | 3 | 2,5 | 1,8 | 45° | 60° |
| *14* | 40 | 12 | 40 | 10 | 5 | 3 | 2,8 | 3 | 2,5 | 2 | 60° | 20° |
| *15* | 22 | 8 | 40 | 20 | 6 | 4 | 3 | 3,5 | 3 | 2,2 | 45° | 30° |
| *16* | 21 | 4 | 5 | 5,5 | 4 | 3,5 | 2 | 3 | 2,5 | 1,8 | 60° | 30° |
| *17* | 51 | 8 | 50 | 40 | 6 | 4 | 3,5 | 2 | 3 | 2 | 60° | 45° |
| *18* | 21 | 4 | 50 | 15 | 5 | 5 | 3 | 3,4 | 2,6 | 2 | 60° | 30° |
| *19* | 20 | 4 | 60 | 40 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2,8 | 1,7 | 30° | 60° |
| *20* | 60 | 8 | 20 | 40 | 4 | 3 | 3 | 4,5 | 3,5 | 2,1 | 30° | 45° |
| *21* | 30 | 8 | 25 | 42 | 4 | 3,8 | 3 | 4 | 3 | 1,6 | 45° | 60° |
| *22* | 10 | 8 | 22 | 30 | 4 | 3,5 | 3,8 | 2 | 3 | 2,1 | 30° | 45° |
| *23* | 40 | 6 | 25 | 40 | 4 | 4 | 5 | 4 | 2,5 | 2 | 30° | 60° |
| *24* | 10 | 6 | 35 | 40 | 6 | 4 | 4 | 3,5 | 3 | 2,4 | 60° | 30° |
| *25* | 20 | 10 | 20 | 35 | 4 | 3 | 5 | 3 | 4 | 2 | 30° | 60° |
| *26* | 5,5 | 3 | 18 | 20 | 7 | 2 | 3 | 4 | 3,5 | 2,5 | 60° | 45° |
| *27* | 40 | 5 | 19 | 20 | 3 | 2,5 | 4 | 4 | 3,5 | 1,8 | 60° | 30° |
| *28* | 15 | 2 | 15 | 20 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 2 | 30° | 45° |
| *29* | 40 | 5 | 35 | 50 | 4 | 4 | 3 | 3,5 | 3 | 1,8 | 30° | 60° |
| *30* | 40 | 18 | 15 | 20 | 4 | 3,5 | 4 | 3 | 2,6 | 2 | 60° | 45° |

## РИСУНКИ К ЗАДАНИЮ С-4

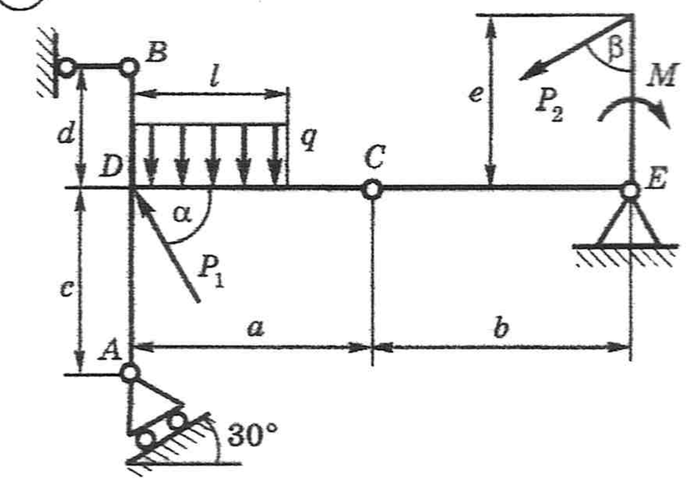



3
l
q
D
C
E
α
β
P1
P2
M
d
A
B
a
b
c
4
l
q
D
C
P1
α
E
β
M
e
P2
B
A
30°
a
b
c
d
5
A
e
P1
D
α
C
l
q
E
M
β
P2
d
B
c
a
b
30°
6
F
30°
l
q
e
P2
D
C
M
β
E
P1
a
b
c
d
α
A
B
7
l
q
D
α
C
e
P2
β
E
M
P1
d
c
A
B
a
b
30°
8
l
q
D
C
M
E
30°
β
60°
P1
d
α
P2
A
a
b
c
9
α
l
q
P1
A
D
45°
C
e
P2
β
E
M
d
B
a
b
c
10
α
l
q
P1
e
C
M
D
E
β
P2
d
A
30°
a
b
c

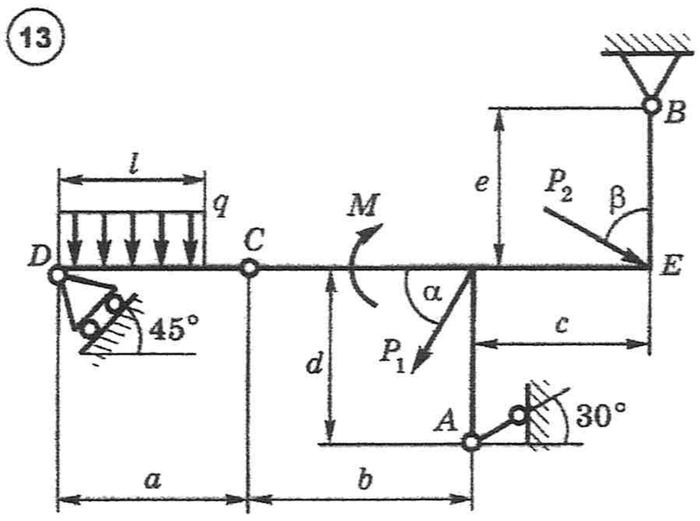
11



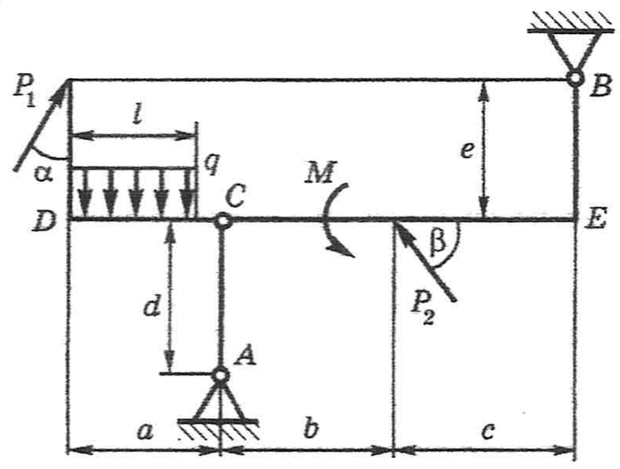

12



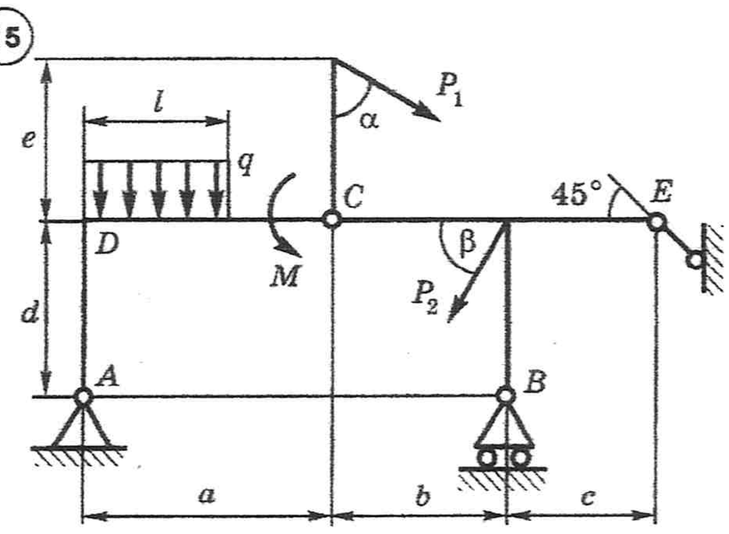

13



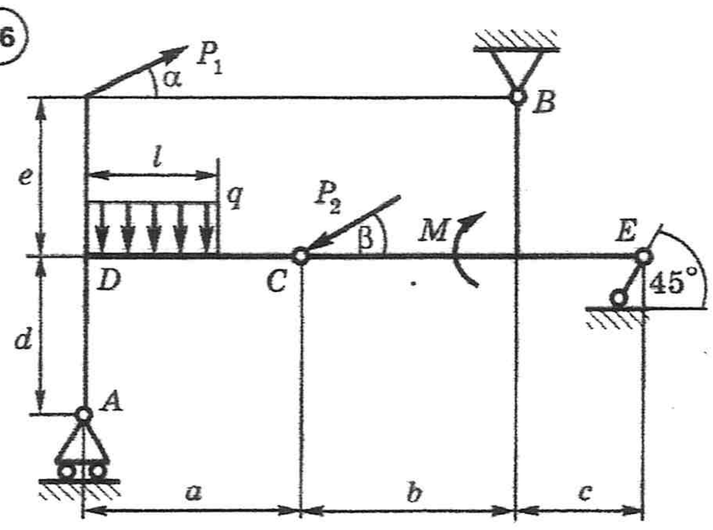

14



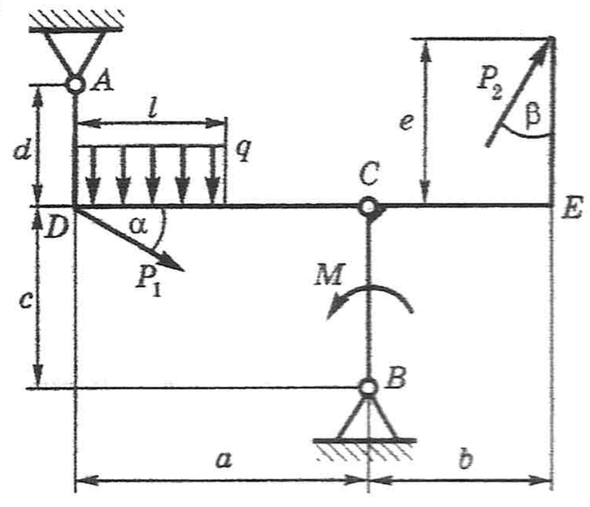

15



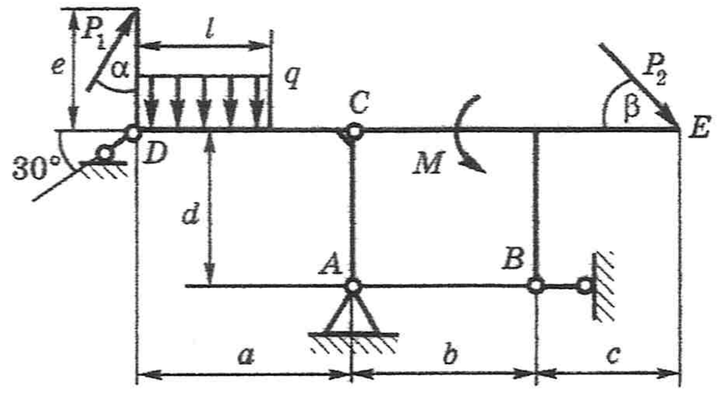

16



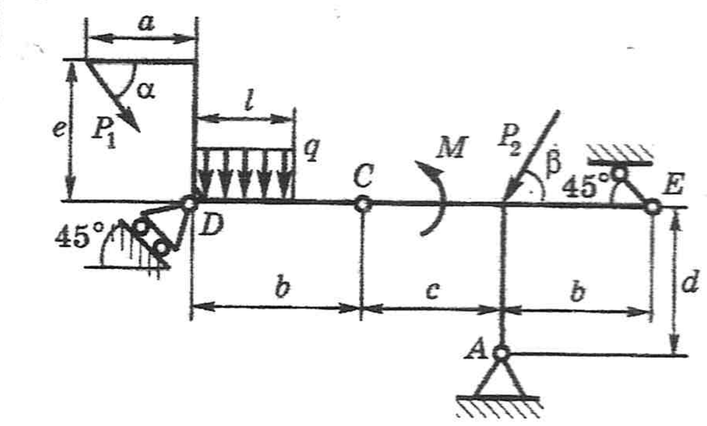

17



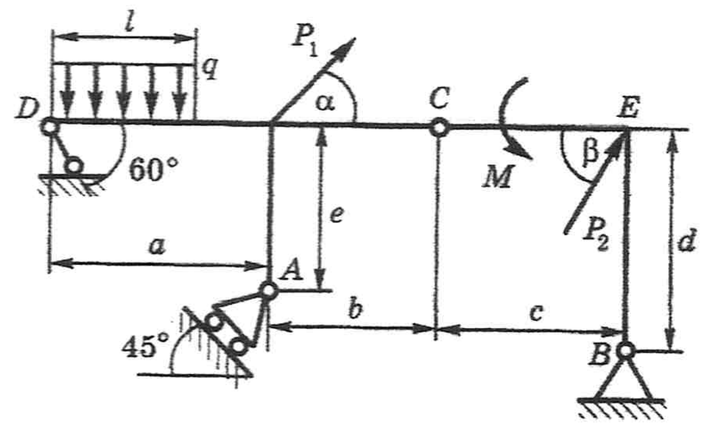

18



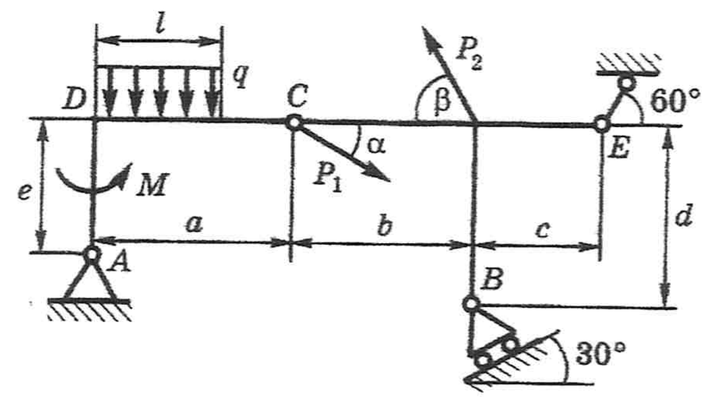
19



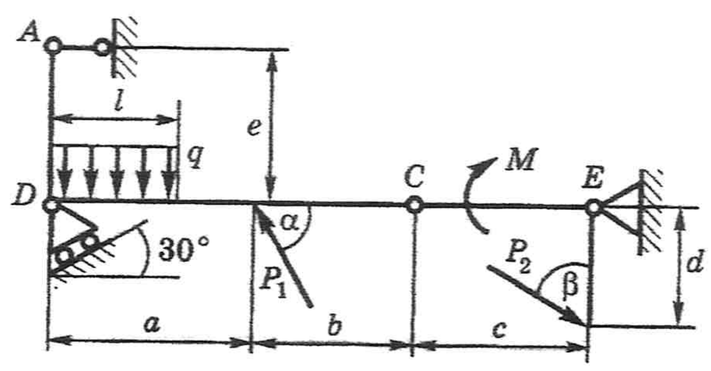

20



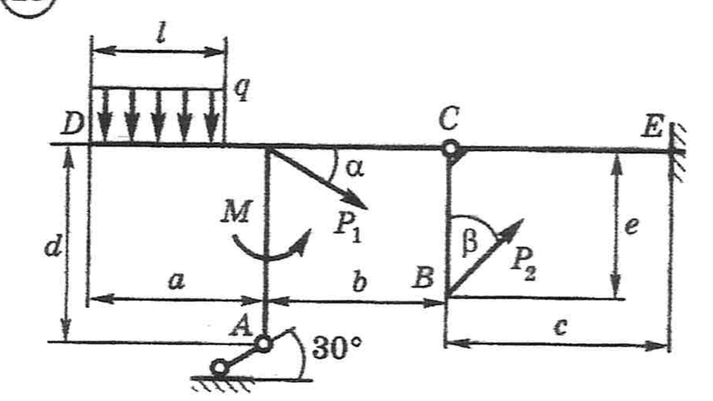

21



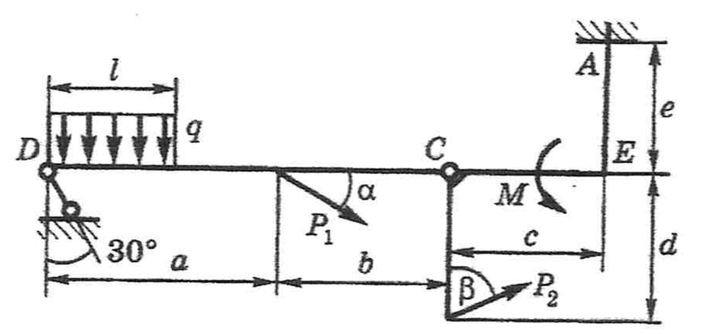

22



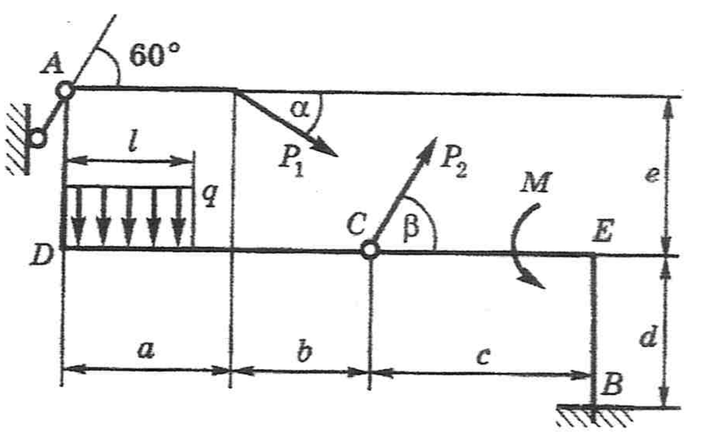

23



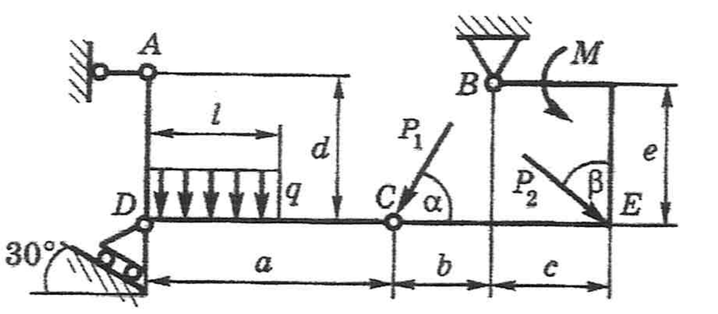

24

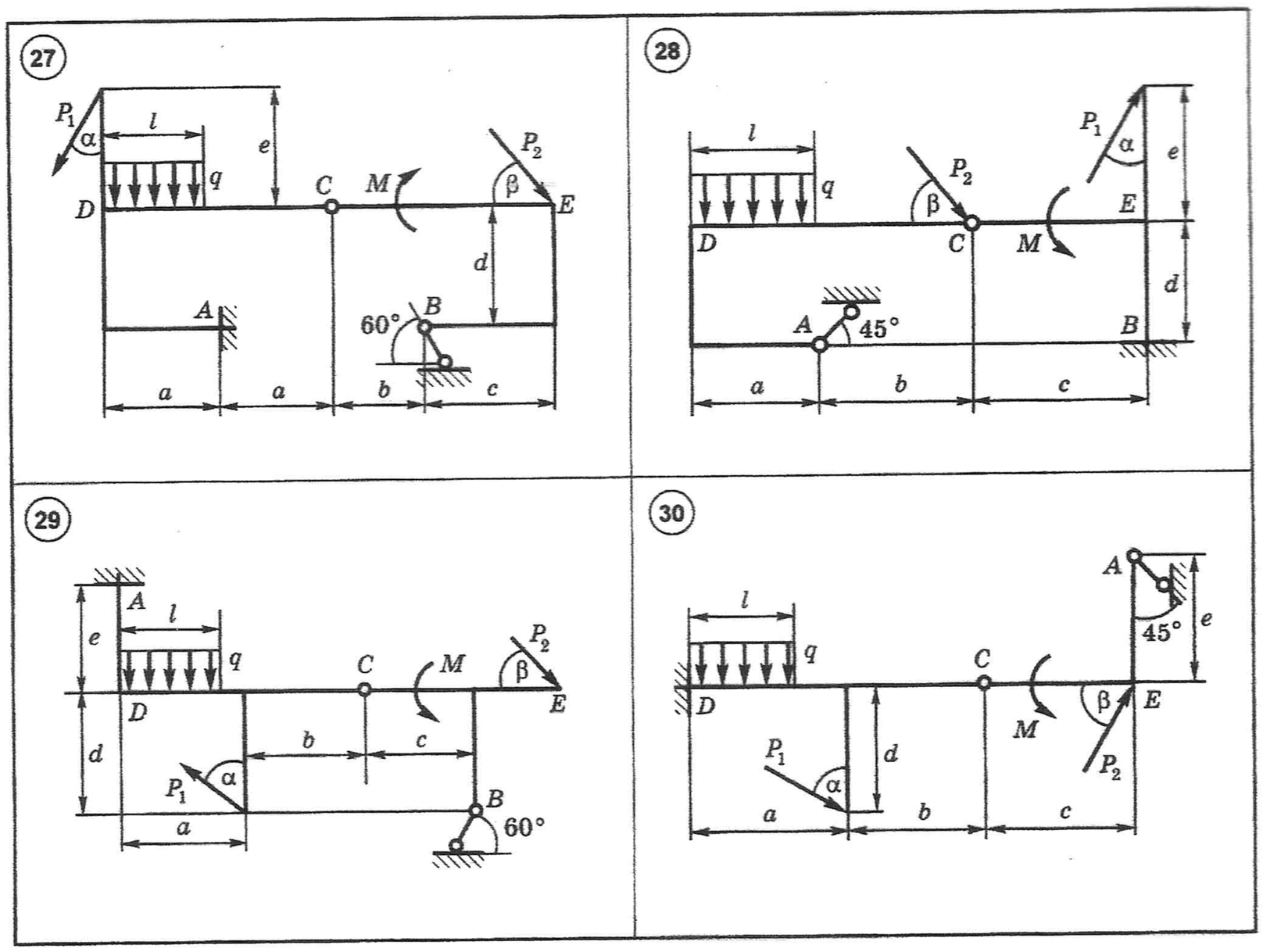



25




26






## ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

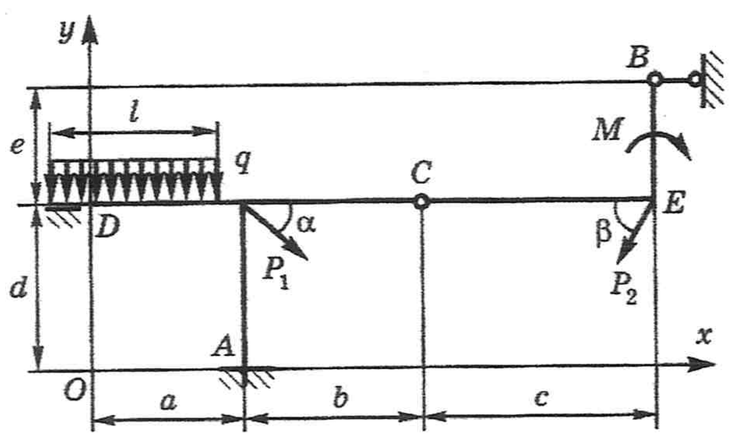


Рис. С4.1

Схема конструкции показана на рис. С4.1. Дано: $P_1 = 20$ кН, $P_2 = 15$ кН, $q = 10$ кН/м, $M = 30$ кН·м, $\alpha = 45°$, $\beta = 60°$, $a = 3$ м, $b = 4$ м, $c = 5$ м, $d = 3{,}5$ м, $e = 2{,}5$ м, $l = 4$ м.

Оси координат $Oxy$ расположены так, как показано на рис. С4.1. Положение подвижной распределенной нагрузки на балке $DE$ задается координатой $x$ левого края нагрузки.

**Решение.**

1. *Определение зависимостей реакций опор конструкции от расстояния $x$ для случая, когда равномерно распределенная нагрузка $q$ частично расположена на элементе $DC$ конструкции.*

Рассмотрим случай, когда равномерно распределенная нагрузка интенсивности $q$ только частично расположена на левой части элемента $DC$ конструкции. Предполагается, что часть $KD$ (рис. С4.2*а*) равномерно распределенной нагрузки не оказывает воздействия на элемент $DC$. Покажем силы, приложенные к элементам $ADC$ и $CBE$ конструкции, заменив действие свя-

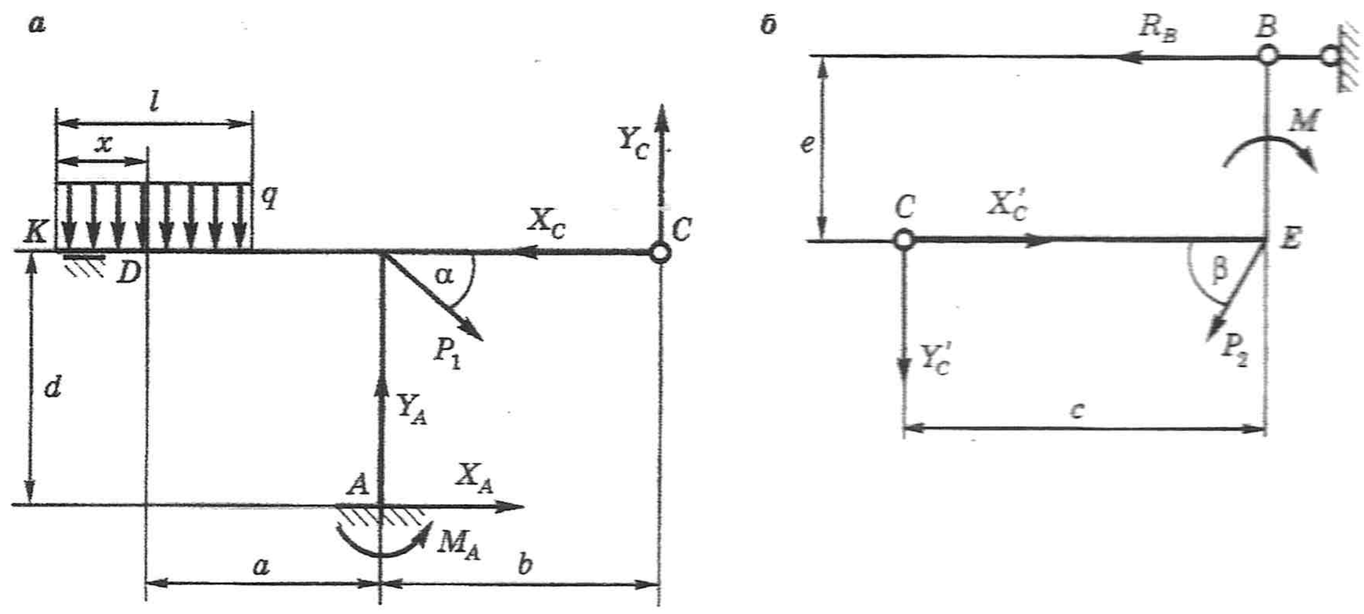



Рис. С4.2

зей их реакциями (рис. С4.2): в жесткой заделке — $X_A$, $Y_A$, $M_A$, в стержневой опоре — $R_B$, в шарнире $C$ — $X_C, X'_C, Y_C$ и $Y'_C$.

Составим уравнения равновесия сил, приложенных к обеим частям конструкции.

Отметим, что левый край распределенной нагрузки (точка $K$) имеет отрицательную координату ($x_K < 0$).

Часть $ADC$:

$$\sum X_i = 0,\ \ P_1\cos\alpha + X_A - X_C = 0,$$
$$\sum Y_i = 0,\ \ -P_1\sin\alpha + Y_A + Y_C - q(l+x) = 0,$$
$$\sum M_{Ai} = 0,\ \ -P_1\cos\alpha\cdot d + q(l+x)[a - 0{,}5(l+x)] + X_C d + Y_C b + M_A = 0.$$

Часть $CBE$:

$$\sum X_i = 0,\ \ -P_2\cos\beta - R_B + X'_C = 0,$$
$$\sum Y_i = 0,\ \ -P_2\sin\beta - Y'_C = 0,$$
$$\sum M_{Ci} = 0,\ \ -P_2\sin\beta\cdot c + R_B e - M = 0.$$

С учетом того, что $X'_C = X_C$ и $Y'_C = Y_C$, получаем систему шести уравнений с шестью неизвестными реакциями $X_A$, $Y_A$, $M_A$, $X_C$, $Y_C$ и $R_B$.

Эти уравнения запишем в матричной форме:

$$\mathbf{AR} = \mathbf{P}_1(x), \qquad \text{(С4.1)}$$

где $\mathbf{R}^T = [X_A\ Y_A\ M_A\ X_C\ Y_C\ R_B]$ — матрица неизвестных реакций;

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d & b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e \end{bmatrix}$$

— матрица коэффициентов при неизвестных;

$$\mathbf{P}_1(x)=\begin{bmatrix} -P_1\cos\alpha \\ q(l+x)+P_1\sin\alpha \\ -q(l+x)\left[a-0{,}5(l+x)\right]+P_1\cos\alpha\cdot d \\ P_2\cos\beta \\ P_2\sin\beta \\ M+P_2\sin\beta\cdot c \end{bmatrix}$$

— матрица правых частей уравнений равновесия.

Решение матричного уравнения (С4.1) имеет вид

$$\mathbf{R}(x)=\mathbf{A}^{-1}\mathbf{P}_1(x). \qquad (С4.2)$$

Это решение справедливо для всех $x$, удовлетворяющих неравенствам $-l\le x\le 0$.

2. *Определение зависимостей реакций опор конструкции от расстояния x для случая, когда равномерно распределенная нагрузка q расположена целиком на части DC конструкции* (рис. С4.3).

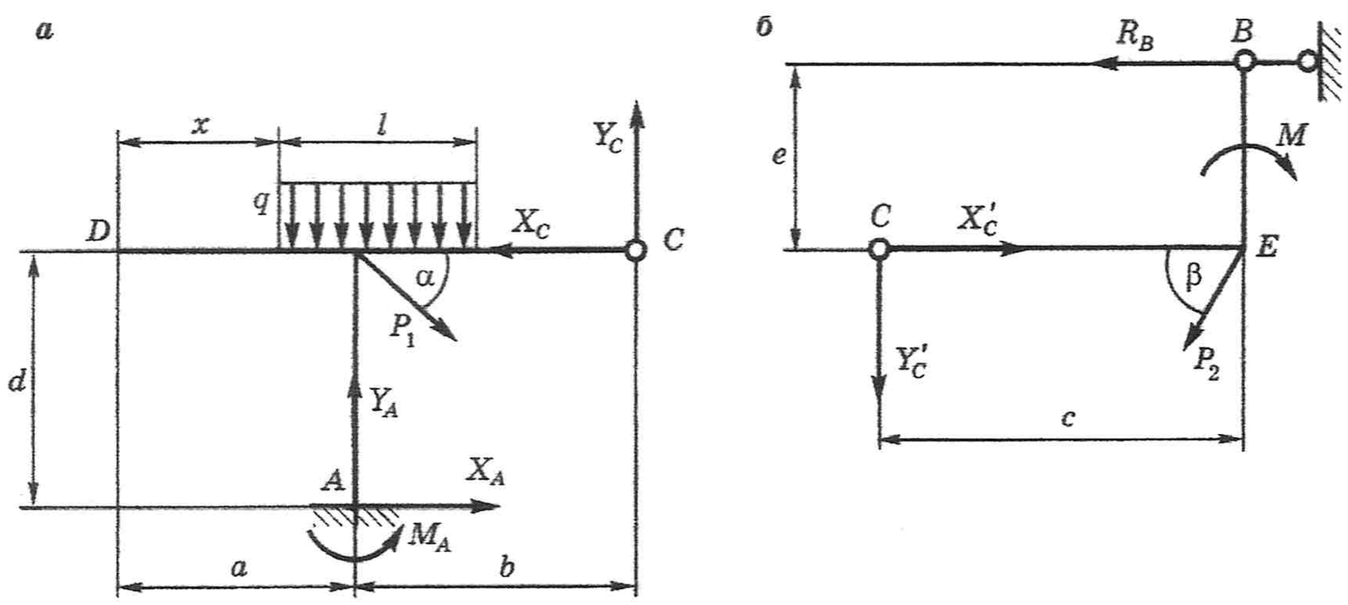



Рис. С4.3

Составим уравнения равновесия сил, приложенных к элементам конструкции.

Часть $ADC$:

$$\sum X_i=0,\ \ P_1\cos\alpha+X_A-X_C=0,$$
$$\sum Y_i=0,\ \ -P_1\sin\alpha+Y_A+Y_C-ql=0,$$
$$\sum M_{Ai}=0,\ \ -P_1\cos\alpha\cdot d+ql(a-x-0{,}5l)+X_Cd+Y_Cb+M_A=0;$$

Часть $CBE$:

$$\sum X_i=0,\ \ -P_2\cos\beta-R_B+X'_C=0,$$
$$\sum Y_i=0,\ \ -P_2\sin\beta-Y'_C=0,$$
$$\sum M_{Ci}=0,\ \ -P_2\sin\beta\cdot c+R_Be-M=0.$$

Эти уравнения запишем в матричной форме:

$$\mathbf{AR} = \mathbf{P}_2(x), \qquad \text{(C4.3)}$$

где

$$\mathbf{P}_2(x) = \begin{bmatrix} -P_1\cos\alpha \\ ql + P_1\sin\alpha \\ -ql(a-x-0{,}5l) + P_1\cos\alpha\cdot d \\ P_2\cos\beta \\ P_2\sin\beta \\ M + P_2\sin\beta\cdot c \end{bmatrix}$$

— матрица правых частей уравнений равновесия.

Решение матричного уравнения (C4.3) имеет вид

$$\mathbf{R}(x) = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{P}_2(x). \qquad \text{(C4.4)}$$

Это решение справедливо для всех $x$, удовлетворяющих неравенствам $0 \le x \le a + b - l$.

3. *Определение зависимостей реакций опор конструкции от расстояния x для случая, когда равномерно распределенная нагрузка q расположена частично на элементе DC, а частично на элементе CE конструкции* (рис. C4.4*а*, *б*).

Составим уравнения равновесия сил, приложенных к частям конструкции в этом случае. Нетрудно заметить, что эти уравнения во многом будут повторять уравнения, полученные ранее.

Часть *ADC*:

$$\sum X_i = 0,\ \ P_1\cos\alpha + X_A - X_C = 0,$$

$$\sum Y_i = 0,\ \ -P_1\sin\alpha + Y_A + Y_C - q(a+b-x) = 0,$$

$$\sum M_{Ai} = 0,\ \ -P_1\cos\alpha\cdot d - q(a+b-x)\left(b - \frac{a+b-x}{2}\right) + X_C d + Y_C b + M_A = 0.$$

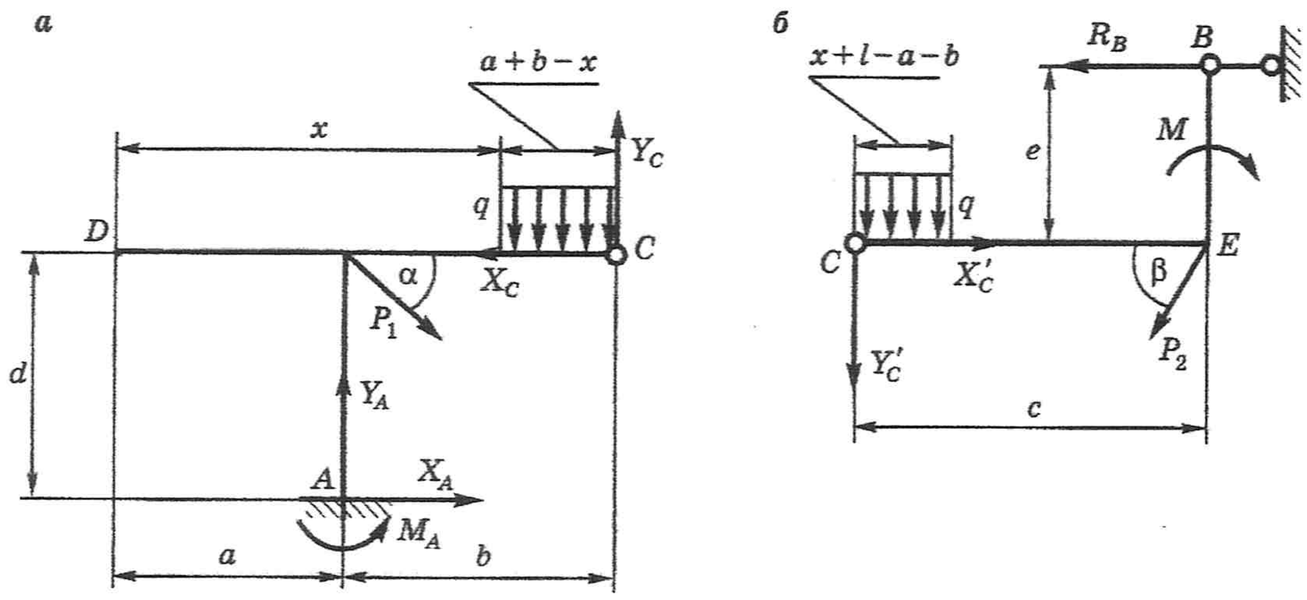



Рис. C4.4

Часть $CBE$:

$$\sum X_i = 0,\ \ -P_2\cos\beta - R_B + X_C' = 0,$$
$$\sum Y_i = 0,\ \ -P_2\sin\beta - Y_C' - q(x+l-a-b) = 0,$$
$$\sum M_{Ci} = 0,\ \ -P_2\sin\beta\cdot c + R_B e - M - 0{,}5q(x+l-a-b)^2 = 0.$$

В матричной форме:

$$\mathbf{A}\bar{\mathbf{R}} = \bar{\mathbf{P}}_3(x), \qquad \text{(С4.5)}$$

где

$$\mathbf{P}_3(x) = \begin{bmatrix} -P_1\cos\alpha \\ q(a+b-x)+P_1\sin\alpha \\ q(a+b-x)\left(b-\dfrac{a+b-x}{2}\right)+P_1\cos\alpha\cdot d \\ P_2\cos\beta \\ q(x+l-a-b)+P_2\sin\beta \\ M+P_2\sin\beta\cdot c+0{,}5q(x+l-a-b)^2 \end{bmatrix}$$

— матрица правых частей уравнений.

Решение матричного уравнения (С4.5) имеет вид

$$\mathbf{R}(x) = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{P}_3(x), \qquad \text{(С4.6)}$$

причем переменная $x$ может изменяться в пределах $a + b - l \le x \le a + b$.

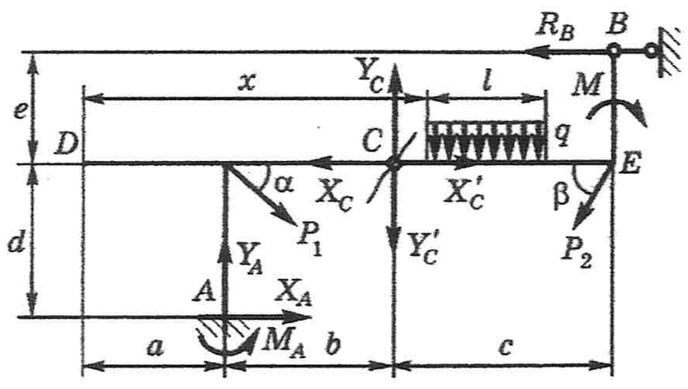



Рис. С4.5

4. *Определение зависимостей реакций опор конструкции от расстояния x для случая, когда равномерно распределенная нагрузка q расположена целиком на элементе CE конструкции* (рис. С4.5).

Снова составим уравнения равновесия сил, приложенных к частям конструкции.

Часть $ADC$:

$$\sum X_i = 0,\ \ P_1\cos\alpha + X_A - X_C = 0,$$
$$\sum Y_i = 0,\ \ -P_1\sin\alpha + Y_A + Y_C = 0,$$
$$\sum M_{Ai} = 0,\ \ -P_1\cos\alpha\cdot d + X_C d + Y_C b + M_A = 0.$$

Часть $CBE$:

$$\sum X_i = 0,\ \ -P_2\cos\beta - R_B + X_C' = 0,$$
$$\sum Y_i = 0,\ \ -P_2\sin\beta - Y_C' - ql = 0,$$
$$\sum M_{Ci} = 0,\ \ -P_2\sin\beta\cdot c + R_B e - M - ql(x+0{,}5l-a-b) = 0.$$

В матричной форме:

$$\mathbf{AR} = \mathbf{P}_4(x), \qquad (C4.7)$$

где

$$\mathbf{P}_4(x) = \begin{bmatrix} -P_1\cos\alpha \\ P_1\sin\alpha \\ P_1\cos\alpha\cdot d \\ P_2\cos\beta \\ ql + P_2\sin\beta \\ M + P_2\sin\beta\cdot c + ql(x+0{,}5l-a-b) \end{bmatrix}$$

— вектор-столбец правых частей уравнений.

Решение матричного уравнения (C4.7) имеет вид

$$\mathbf{R}(x) = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{P}_4(x). \qquad (C4.8)$$

Это решение справедливо для всех $x$, удовлетворяющих неравенствам $a+b \le x \le a+b+c-l$.

5. *Определение зависимостей реакций опор конструкции от расстояния x для случая, когда равномерно распределенная нагрузка q частично расположена на части CE конструкции* (рис. C4.6).

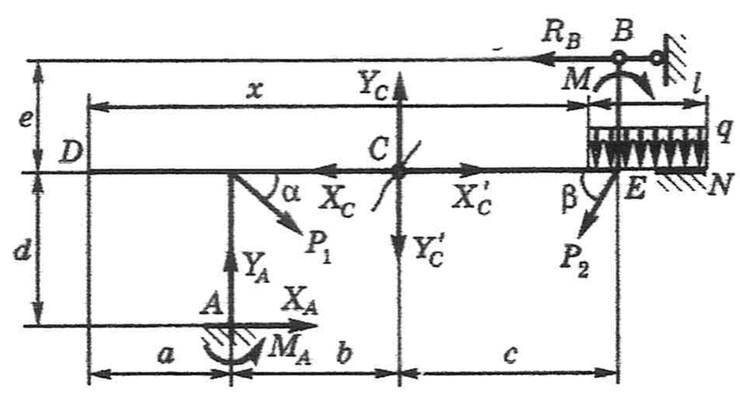



Рис. C4.6

Предполагается, что часть $EN$ равномерно распределенной нагрузки не оказывает воздействия на элемент $CE$.

Составим уравнения равновесия сил, приложенных к элементам конструкции.

Часть $ADC$:

$$\sum X_i = 0,\ \ P_1\cos\alpha + X_A - X_C = 0,$$
$$\sum Y_i = 0,\ \ -P_1\sin\alpha + Y_A + Y_C = 0,$$
$$\sum M_{Ai} = 0,\ \ -P_1\cos\alpha\cdot d + X_C d + Y_C b + M_A = 0;$$

Часть $CBE$:

$$\sum X_i = 0,\ \ -P_2\cos\beta - R_B + X'_C = 0,$$
$$\sum Y_i = 0,\ \ -P_2\sin\beta - Y'_C - q(a+b+c-x) = 0,$$
$$\sum M_{Ci} = 0,\ \ -P_2\sin\beta\cdot c + R_B e - M - q[c-0{,}5(a+b+c-x)](a+b+c-x) = 0.$$

В матричной форме:

$$\mathbf{AR} = \mathbf{P}_5(x), \qquad (C4.9)$$

где

$$\mathbf{P}_5(x)=\begin{bmatrix} -P_1\cos\alpha \\ P_1\sin\alpha \\ P_1\cos\alpha\cdot d \\ P_2\cos\beta \\ q(a+b+c-x)+P_2\sin\beta \\ M+P_2\sin\beta\cdot c+q[c-0{,}5(a+b+c-x)](a+b+c-x) \end{bmatrix}$$

— вектор-столбец правых частей уравнений.

Решение матричного уравнения (С4.9) имеет вид

$$\mathbf{R}(x)=\mathbf{A}^{-1}\mathbf{P}_5(x). \qquad \text{(С4.10)}$$

Это решение справедливо для всех $x$, удовлетворяющих неравенствам $a+b+c-l\le x\le a+b+c$.

**Расчет в Mathcad.**

Приводим лист расчета конструкции, показанной на рис. С4.1.

Исходные данные:

$a:=3\quad b:=4\quad c:=5\quad d:=3.5\quad e:=2.5\quad l:=4\quad \alpha:=\frac{\pi}{4}\quad \beta:=\frac{\pi}{3}\quad q:=10\quad P1:=20\quad P2:=15\quad M:=30$

Матрица коэффициентов системы уравнений равновесия:

$$A:=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d & b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e \end{bmatrix}$$

Вектор правых частей системы уравнений равновесия для случая, когда нагрузка $q$ частично расположена на левой части конструкции:

$$P11(x,l):=\begin{bmatrix} -P1\cdot\cos(\alpha) \\ q\cdot(l+x)+P1\cdot\sin(\alpha) \\ -q\cdot\left[(l+x)\cdot\left(a+\frac{-x}{2}-\frac{l}{2}\right)\right]+P1\cdot d\cdot\cos(\alpha) \\ P2\cdot\cos(\beta) \\ P2\cdot\sin(\beta) \\ M+P2\cdot\sin(\beta)\cdot c \end{bmatrix}$$

Вектор правых частей системы уравнений равновесия для случая, когда нагрузка $q$ расположена целиком на левой части конструкции:

$$P21(x,l):=\begin{bmatrix} -P1\cdot\cos(\alpha) \\ q\cdot l+P1\cdot\sin(\alpha) \\ -q\cdot l\cdot\left(a-x-\frac{l}{2}\right)+P1\cdot d\cdot\cos(\alpha) \\ P2\cdot\cos(\beta) \\ P2\cdot\sin(\beta) \\ M+P2\cdot\sin(\beta)\cdot c \end{bmatrix}$$

Вектор правых частей системы уравнений равновесия для случая, когда нагрузка $q$ расположена частично на левой, а частично на правой части конструкции:

$$P31(x,l) := \begin{bmatrix} -P1\cdot\cos(\alpha) \\ q\cdot(a+b-x)+P1\cdot\sin(\alpha) \\ q\cdot\left[(a+b-x)\cdot\left(b-\frac{a+b-x}{2}\right)\right]+P1\cdot d\cdot\cos(\alpha) \\ P2\cdot\cos(\beta) \\ q\cdot(x+l-a-b)+P2\cdot\sin(\beta) \\ M+P2\cdot\sin(\beta)\cdot c+q\cdot(x+l-a-b)\cdot\left[\frac{(x+l-a-b)}{2}\right] \end{bmatrix}$$

Вектор правых частей системы уравнений равновесия для случая, когда нагрузка $q$ расположена целиком на правой части конструкции:

$$P41(x,l) := \begin{bmatrix} -P1\cdot\cos(\alpha) \\ P1\cdot\sin(\alpha) \\ P1\cdot d\cdot\cos(\alpha) \\ P2\cdot\cos(\beta) \\ q\cdot l+P2\cdot\sin(\beta) \\ M+P2\cdot\sin(\beta)\cdot c+q\cdot l\cdot(x+0.5\cdot l-a-b) \end{bmatrix}$$

Вектор правых частей системы уравнений равновесия для случая, когда нагрузка $q$ частично расположена на правой части конструкции:

$$P51(x,l) := \begin{bmatrix} -P1\cdot\cos(\alpha) \\ P1\cdot\sin(\alpha) \\ P1\cdot d\cdot\cos(\alpha) \\ P2\cdot\cos(\beta) \\ q\cdot(a+b+c-x)+P2\cdot\sin(\beta) \\ M+P2\cdot\sin(\beta)\cdot c+q\cdot[c-0.5\cdot(a+b+c-x)]\cdot(a+b+c-x) \end{bmatrix}$$

Решаем уравнения (C4.1), (C4.2), (C4.4), (C4.6) и (C4.8):

$R1(x,l) := A^{-1}\cdot P11(x,l)$ $R2(x,l) := A^{-1}\cdot P21(x,l)$ $R3(x,l) := A^{-1}\cdot P31(x,l)$
$R4(x,l) := A^{-1}\cdot P41(x,l)$ $R5(x,l) := A^{-1}\cdot P51(x,l)$
$l := 4$ $x := -1, -3.95 .. (a+b+c)$

$$R(x,l) := \left| \begin{array}{l} R1(x,l) \text{ if } -l \le x < 0 \\ R2(x,l) \text{ if } 0 \le x < (a+b-l) \\ R3(x,l) \text{ if } (a+b-l) \le x < (a+b) \\ R4(x,l) \text{ if } (a+b) \le x < (a+b+c-l) \\ R5(x,l) \text{ if } (a+b+c-l) \le x < (a+b+c) \end{array} \right.$$

Введем привычные обозначения для найденных реакций:

$Xa(x,l) := R(x,l)_1$ $Ya(x,l) := R(x,l)_2$ $Ma(x,l) := R(x,l)_3$
$Xc(x,l) := R(x,l)_4$ $Yc(x,l) := R(x,l)_5$ $Rb(x,l) := R(x,l)_6$

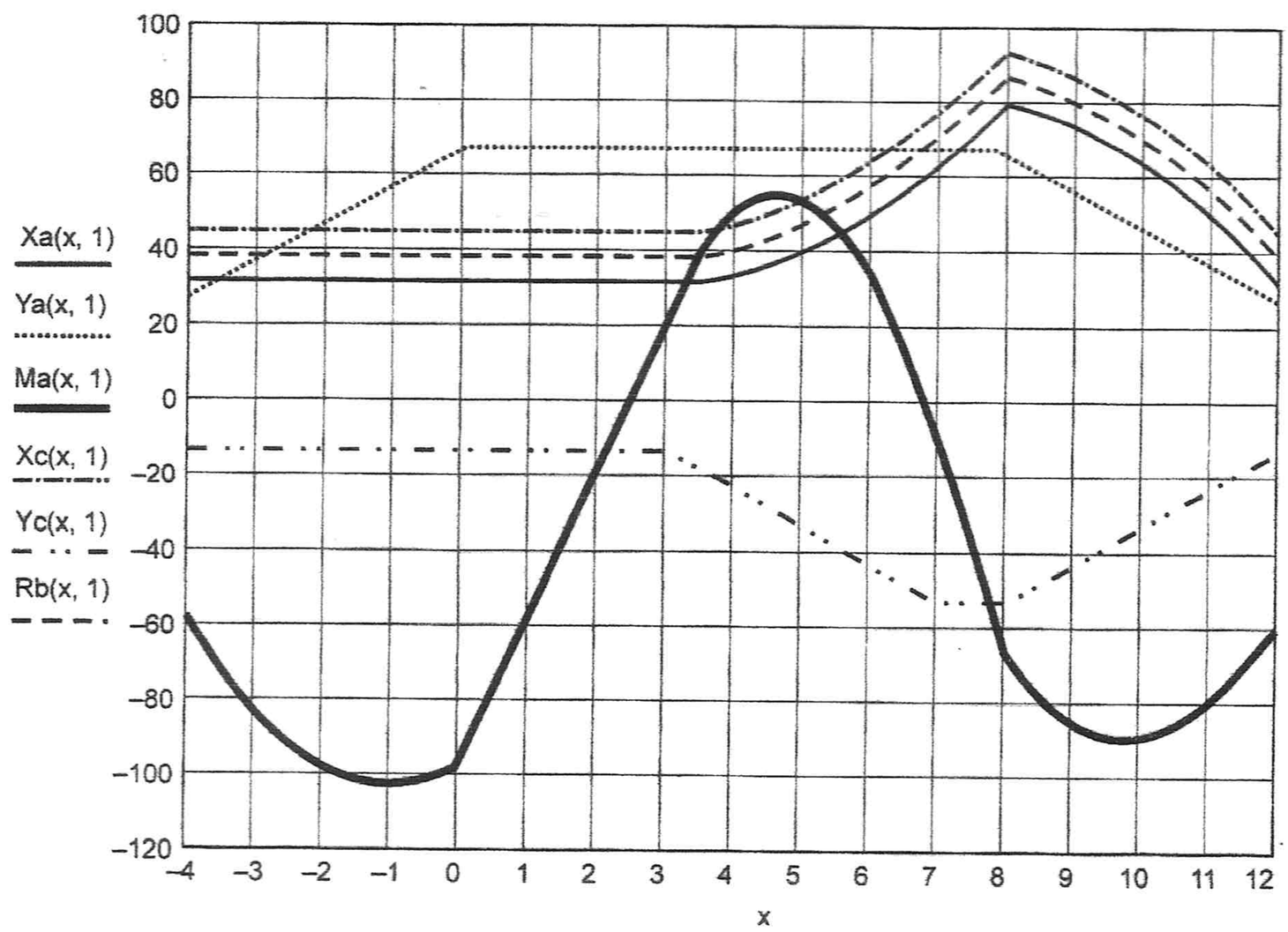



**Рис. С4.7**

Строим графики зависимостей реакций опор конструкции и промежуточного шарнира от координаты $x$ (рис. С4.7).

Из графиков видно, что реакция $Y_A$ линейно возрастает при наезде подвижной нагрузки слева на участок $DC$ и линейно убывает при сходе нагрузки с участка $CE$ справа.

Модуль реакции $Y_C$ линейно увеличивается по мере перехода подвижной нагрузки с участка $DC$ на участок $CE$ и уменьшается по мере схода нагрузки с участка $CE$.

Реакции $X_A$, $R_B$ и $X_C$ при переходе подвижной нагрузки с участка $DC$ на участок $CE$ сначала начинают расти по квадратичному закону, а затем убывают по квадратичному закону при сходе нагрузки.

Реактивный момент $M_A$ имеет три экстремальных значения (при $x = -1$ м, $x = 4{,}7$ м и $x = 10$ м) и при двух значениях $x$ обращается в нуль. Значения каждой реакции при $x = -4$ м и $x = 12$ м одинаковы и соответствуют случаю отсутствия распределенной нагрузки.

### *Контрольные вопросы и задания*

1. Нарисуйте виды опор и их реакции.
2. Какая система сил приложена к конструкции? Каковы условия равновесия сил, приложенных к ней?
3. Запишите виды систем уравнений равновесия произвольной плоской системы сил и ограничения, накладываемые на эти уравнения.
4. Почему при решении задачи конструкцию пришлось рассечь на две части $DC$ и $CE$ по соединительному шарниру $C$?

5. Как следует направлять усилия $X_C$ и $Y_C$, приложенные к части $DC$, и усилия $X'_C$ и $Y'_C$, приложенные к части $CE$, в шарнире $C$?
6. Какие задачи статики называются статически определимыми, а какие — статически неопределимыми? Каково необходимое условие статической определимости задачи?
7. Можно ли в этой задаче заменять равномерно распределенную нагрузку интенсивности $q$ ее равнодействующей? Почему?
8. Что называется главным вектором и главным моментом произвольной системы сил?
9. В чем заключается отличие между главным вектором системы сил и равнодействующей этой системы?
10. Как определяется модуль и направление главного вектора системы сил?
11. Как определяется модуль и направление главного момента системы сил?
12. Исследуйте зависимость максимального значения реактивного момента $M_A$ жесткой заделки от длины $l$ подвижной нагрузки.
13. Постройте график изменения модуля реакции $R_A(x)$ в жесткой заделке $A$ и модуля усилия $R_C(x)$ в шарнире $C$.
14. Почему горизонтальные реакции $X_A$, $X_C$ и $R_B$ начинают возрастать только при вступлении поезда на участок $CE$?
15. Если сначала найти все опорные реакции только от действия сил $P_1$, $P_2$ и момента $M$, а затем — реакции от действия только подвижной нагрузки, то после сложения этих реакций получим ли результаты, найденные в примере?
16. Как изменятся графики рис. С4.7, если $P_1 = P_2 = M = 0$ и на конструкцию действует только подвижная нагрузка?
17. Чем объясняется тот факт, что график изменения реактивного момента $M_A(x)$ на рис. С4.7 состоит из парабол и прямых?
18. Почему не меняется усилие в шарнире $C$, пока правый край подвижной нагрузки (голова поезда) находится на участке $CD$ (рис. С4.7)?
19. Каким образом следует учитывать действие силы, приложенной в соединительном шарнире $C$, при составлении уравнений равновесия?
20. Среди задач статики имеются как статически определимые, так и статически неопределимые задачи. Когда задача статики имеет единственное решение? Когда имеет бесконечно много решений? Когда не имеет ни одного решения?