

7. Контрольные вопросы

1. Как формулируется закон Гука?
2. Какие задачи называются статически неопределимыми?
3. Каков общий порядок решения статически неопределимых задач?
4. Как формулируется условие прочности?
5. Что такое напряжение?
6. Какие бывают напряжения и как они направлены относительно плоскости сечения?
7. В чем сущность метода сечений?
8. Какие деформации называют упругими?
9. Какие деформации называются пластическими?
10. Что называется пределом прочности?
11. Что называется пределом текучести?
12. Что называется пределом упругости?
13. Что называется пределом пропорциональности?
14. Что такое коэффициент Пуассона?
15. Что называется модулем упругости первого рода?

Задача № 2

РАСЧЁТ БАЛОК ПРИ ПЛОСКОМ ИЗГИБЕ

1. Общие положения

Деформация изгиба возникает при нагружении бруса силами, действующими в плоскостях, проходящих через его продольную ось и перпендикулярными к этой оси, и парами сил, действующими в тех же плоскостях.

Брус, работающий на изгиб, называется балкой.

В случае, если все внешние нагрузки, а следовательно, и реакции опор действуют в одной плоскости, содержащей одну из главных осей поперечного сечения, изгиб называется плоским.

При изгибе балка деформируется таким образом, что часть её волокон испытывает растяжение, а другая часть – сжатие. Границей между растянутыми и сжатыми волокнами является нейтральный слой, линия пересечения которого с плоскостью поперечного сечения балки называется нейтральной линией.

При плоском изгибе в поперечных сечениях балки возникают два внутренних силовых фактора: поперечная (перерезывающая) сила Q и изгибающий момент M . Если поперечная сила не возникает ($Q=0$), изгиб называется чистым.

При расчете балки на прочность необходимо определить опасные сечения, которых в общем случае может быть несколько. Для этого строят графики изменения внутренних силовых факторов по длине балки – эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

Поперечная сила Q и изгибающий момент M определяется методом сечений.

Значение поперечной силы Q в любом сечении балки, определяемом абсциссой x , численно равно алгебраической сумме проекции на ось, перпендикулярную оси стержня, всех внешних сил, действующих на балку по одну сторону от проведенного сечения.

Значение изгибающего момента M в любом сечении балки, определяемом абсциссой x , численно равно алгебраической сумме моментов всех внешних сил, действующих на балку по одну сторону от рассматриваемого сечения, относительно центра тяжести рассматриваемого сечения.

Для построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов принято следующее правило знаков:

- поперечная сила Q в сечении, определяемой абсциссой x , считается положительной, если для левой отсеченной части балки равнодействующая внешних сил направлена вверх, а для правой отсеченной части – вниз;

- изгибающий момент считается положительным, если равнодействующий момент, создаваемый внешними силами, действующими на левую отсеченную часть балки относительно центра тяжести сечения, направлен по часовой стрелке; либо равнодействующий момент сил, действующих на правую отсеченную часть балки, направлен против часовой стрелки.

Правило знаков проиллюстрировано на рис. 13.

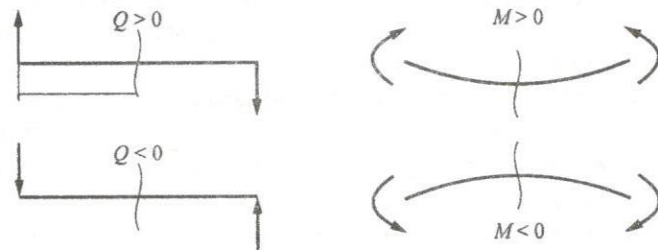


Рис. 13.

На практике для контроля правильности построения эпюр используют следующие правила.

1. На участках, где нет распределенной нагрузки, эпюра Q ограничена прямой, параллельной оси абсцисс, а эпюра M – наклонная прямая.

2. Если на некотором участке балки имеется равномерно распределенная нагрузка, то эпюра Q – наклонная прямая, а эпюра M – парабола (кривая второго порядка). При неравномерно распределенной нагрузке обе эпюры Q и M будут ограничены кривыми, характер которых зависит от типа нагрузки.

3. Под сосредоточенной силой (в частности реакцией опоры) на эпюре Q имеется скачок на величину этой силы, а на эпюре M наблюдается перелом.

4. Если в сечении приложен сосредоточенный момент, то на эпюре M наблюдается скачок на величину этого момента.

5. Если на некотором участке при обходе балки слева:

а) $Q > 0$, то эпюра M возрастает алгебраически;

б) $Q < 0$, то эпюра M алгебраически убывает;

в) $Q = 0$, то изгибающий момент постоянен (чистый изгиб);

г) Q переходит через нуль, меняя знак с «+» на «-», то на эпюре M наблюдается алгебраический максимум в сечении, где $Q = 0$;

д) Q переходит через нуль, меняя знак с «-» на «+», то на эпюре M наблюдается алгебраический минимум в сечении, где $Q = 0$.

6. На свободном конце балки (консоль) поперечная сила равна нулю, если в этом сечении нет сосредоточенной силы.

7. В сечении на свободном или шарнирно опёртом конце балки изгибающий момент равен нулю, если там не приложен сосредоточенный внешний момент.

8. В сечении, совпадающем с заделкой, Q и M численно равны соответственно опорной реакции и реактивному моменту.

Целью данной работы является приобретение навыков построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов и овладение методом расчета балок на прочность.

2. Содержание работы.

Для трех заданных балок, работающих на изгиб, требуется:

- построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов;

- подобрать размеры поперечного сечения балки:

а) деревянной (первая балка схемы) для случаев прямоугольного поперечного сечения с заданным отношением h/b и круглого поперечного сечения, если допустимое напряжение $[\sigma] = 10$ МПа;

б) стальной (вторая балка), состоящей из двутавра, если $[\sigma] = 160$ МПа;

в) стальной (третья балка), состоящей из двух швеллеров, если $[\sigma] = 160$ МПа.

3. Порядок выполнения работы.

1. Обозначить и определить опорные реакции.
2. Составить выражения для поперечной силы и изгибающего момента на всех участках балки.
3. Определить значения поперечных сил и изгибающих моментов на границах участков.
4. В сечениях, где Q пересекает нулевую линию, определить значения алгебраического максимума или минимума изгибающего момента.
5. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.
6. Подобрать поперечные сечения балок заданной формы из условия прочности.

Рисунки и схемы каждой балки выполняются в масштабе на отдельном листе миллиметровой бумаги формата А4 с указанием всех опорных реакций. Масштаб выбирается так, чтобы длина балки на схеме изображалась отрезком в 12...15 см.

Эпюры Q и M выполняются в масштабе под схемой балки с указанием ординат в характерных точках.

4. Примеры выполнения задания.

Рассмотрим первую балку заданной схемы (рис. 14).

1. Определим опорные реакции в заделке. Для этого перед составлением уравнений равновесия выбираем направления реакции и изображаем их на расчётной схеме. Если в результате вычислений какая-либо реакция получается отрицательной, то в дальнейших расчетах её значение необходимо подставлять со знаком минус.

Если на балку действует равномерно распределенная нагрузка, то для определения реакции, её заменяем равнодействующей, которая равна произведению интенсивности нагрузки на длину участка действия нагрузки и приложена в середине длины участка.

Запишем уравнения равновесия:

$$\sum P_x = 0; H_A = 0; \quad (11)$$

$$\sum M_B = 0, -M_3 - R_A \cdot 5,5 + q_1 \cdot 2 \cdot 4,5 + P \cdot 3,5 - q_2 \cdot 3,5 \cdot 1,75 - M = 0,$$

$$-M_3 - 5,5 \cdot R_A + 176,9 = 0; \quad (12)$$

$$\sum M_A = 0, -M_3 - q_1 \cdot 2 \cdot 1 - P \cdot 2 + q_2 \cdot 3,5 \cdot 3,75 - M = 0,$$

$$-M_3 + 603,1 = 0.$$

(13)

Откуда из уравнения (13) $M_3 = 603,1$ кНм;
из (2) $R_A = -77,5$ кН.

Проверка. $\sum P_y = 0, R_A - P - q_1 \cdot 2 + q_2 \cdot 3,5 = 0,$

$$-77,5 - 70 - 40 \cdot 2 + 65 \cdot 3,5 = 0, \quad 0 = 0.$$

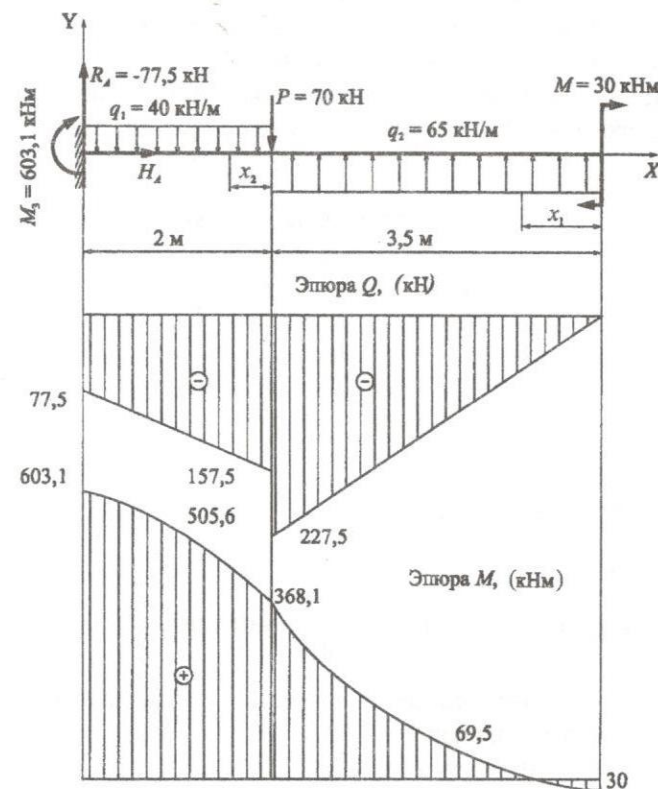


Рис. 14. Расчётная схема балки и эпюры внутренних усилий.

2. Составим выражения поперечной силы и изгибающего момента для каждого силового участка балки.

Силовым участком балки называется ее часть, в пределах которой законы изменения поперечной силы и изгибающего момента остаются постоянными. Границами участков являются сечения, в которых приложены внешние (активные или реактивные) сосредоточенные силы и моменты, а также сечения, где начинается или заканчивается распределенная нагрузка.

Рассматриваемая балка (рис. 14) имеет два силовых участка. Проведем произвольно поперечное сечение на первом силовом участке балки на расстоянии x_1 от свободного конца и рассмотрим равновесие правой отсеченной части (рис. 15).

При составлении выражений поперечной силы и изгибающего момента применяем принятое правило знаков.

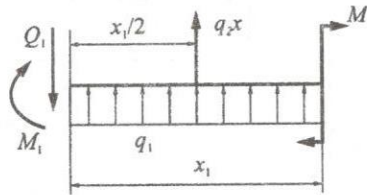


Рис. 15. Схема первого участка балки.

Сечение $1,0 \leq x_1 \leq 3,5$ м.

$$Q_1 = -q_2 \cdot x_1 = -65 \cdot x_1,$$

$$M_1 = -M + q_2 \cdot x_1 \cdot \frac{x_1}{2} = -M + q_2 \cdot \frac{x_1^2}{2} = -30 + 65 \cdot \frac{x_1^2}{2}.$$

Для второго силового участка проведем сечение на расстоянии x_2 от его начала.

Сечение $2,0 \leq x_2 \leq 2$ м.

$$Q_2 = -q_2 \cdot 3,5 + P + q_1 \cdot x_2 = -65 \cdot 3,5 + 70 + 40 \cdot x_2,$$

$$M_2 = -M + q_2 \cdot 3,5 \cdot \left(\frac{3,5}{2} + x_2 \right) - q_1 \cdot \frac{x_2^2}{2} - P \cdot x_2 =$$

$$= -30 + 65 \cdot 3,5 \cdot \left(\frac{3,5}{2} + x_2 \right) - 40 \cdot \frac{x_2^2}{2} - 70 \cdot x_2.$$

3. Для построения эпюр Q и M определяем их численные значения на границах участков.

Первый участок: $x_1 = 0$; $Q_1 = 0$; $M_1 = -30$ кНм;

при $x_1 = 3,5$ м: $Q_1 = -65 \cdot 3,5 = -227,5$ кН,

$$M_1 = -30 + 65 \cdot \frac{3,5^2}{2} = 368,1 \text{ кНм.}$$

Анализируя выражения Q_1 и M_1 видим, что поперечная сила изменяется вдоль балки на первом участке по линейному закону, поэтому для построения эпюры Q достаточно знать ее ординаты в двух точках (на границах участка). Изгибающий момент M_1 изменяется по параболическому закону и для построения эпюры M следует определить как минимум ординаты M_1 в трех сечениях.

В качестве третьей точки надо брать либо середину участка, либо сечение, где перерезывающая сила равна нулю, так как изгибающий момент в этом сечении экстремален (в рассматриваемом примере такого сечения нет). Методика определения экстремальных значений изгибающего момента приведена в примере расчета третьей балки.

При $x_1 = 1,75$ м, $M_1 = -30 + 65 \cdot \frac{1,75^2}{2} = 69,53$ кНм.

Второй участок:

при $x_2 = 0$: $Q_2 = -65 \cdot 3,5 + 70 = -157,5$ кН,

$$M_2 = -30 + 65 \cdot 3,5 \cdot 1,75 = 368,1 \text{ кНм,}$$

при $x_2 = 2$ м: $Q_2 = -65 \cdot 3,5 + 70 + 40 \cdot 2 = -77,5$ кН,

$$M_2 = -30 + 65 \cdot 3,5 \cdot (1,75 + 2) - 40 \cdot \frac{2^2}{2} - 70 \cdot 2 = 603,1 \text{ кНм,}$$

при $x_2 = 1$ м: $M_2 = -30 + 65 \cdot 3,5 \cdot (1,75 + 1) - 40 \cdot \frac{1^2}{2} - 70 \cdot 1 = 505,6$ кНм.

4. В выбранном для построения эпюр масштабе, при котором максимальные ординаты изображаются отрезком в 50...70 мм, отложим полученные значения поперечных сил и изгибающих моментов от базы эпюры в соответствующих сечениях и соединим эти точки для эпюры Q – прямой, для эпюры M – кривой, так как на участках приложены равномерно распределенные нагрузки.

Построение эпюры заштрихуем линиями, перпендикулярными базе.

5. Определяем размеры поперечного сечения балки из условия прочности:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} \leq [\sigma]$$

а) Круглое поперечное сечение.

Момент сопротивления $W_z = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$, следовательно,

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\max}}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 603,1 \cdot 10^3}{\pi \cdot 10 \cdot 10^6}} = 0,85 \text{ м.}$$

Принимаем $d = 0,85$ м = 85 см.

Полученное значение необходимо округлять с учетом существующих стандартов на сортовой прокат или до ближайшего, как правило, большего линейного размера.

б) Прямоугольное поперечное сечение с заданным отношением высоты к ширине $h/b=2$.

Момент сопротивления для прямоугольника $W_z = \frac{b \cdot h^2}{6}$,

выразим с помощью заданного соотношения:

$$W_z = \frac{b \cdot (2b)^2}{6} = \frac{2 \cdot b^3}{3}.$$

Следовательно,

$$b \geq \sqrt[3]{\frac{3 \cdot M_{\max}}{2 \cdot [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 603,1 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot 10^6}} = 0,45 \text{ м.}$$

Принимаем $b = 45$ см, тогда $h = 2 \cdot 45 = 90$ см.

Рассмотрим вторую балку заданной схемы (рис. 15).

Последовательность решения задачи та же, что и в предыдущем примере.

1. Определим опорные реакции из уравнений равновесия:

$$\sum P_x = 0, H_B = 0; \quad (14)$$

$$\sum M_A = 0, -P_1 \cdot 1 + P_2 \cdot 1,8 - M - R_B \cdot 3,8 + q \cdot 2 \cdot 4,8 = 0; \quad (15)$$

$$-90 \cdot 1 + 120 \cdot 1,8 - 45 - 3,8 \cdot R_B + 40 \cdot 2 \cdot 4,8 = 0;$$

$$3,8 \cdot R_B = 465, \quad R_B = 122,37 \text{ кН};$$

$$\sum M_B = 0, -P_1 \cdot 4,8 + R_A \cdot 3,8 - M - P_2 \cdot 2 + q \cdot 2 \cdot 1 = 0; \quad (16)$$

$$-90 \cdot 4,8 + 3,8 \cdot R_A - 45 - 120 \cdot 2 + 40 \cdot 2 = 0;$$

$$R_A = 167,63 \text{ кН.}$$

Для проверки правильности определения реакций используем еще одно уравнение статики:

$$\sum P_y = 0, P_1 - R_A + P_2 - R_B + q \cdot 2 = 0,$$

$$90 - 167,63 + 120 - 122,37 + 40 \cdot 2 = 0, \quad 0 = 0.$$

2. При составлении выражений поперечной силы и изгибающего момента для данной балки целесообразно рассматривать для I и II участков части слева от сечения, а для III и IV участков – справа от сечения.

Определим численные значения Q и M .

Сечение $1,0 \leq x_1 \leq 1$ м.

$$Q_1 = P_1 = 90 \text{ кН,}$$

$$M_1 = P_1 \cdot x_1 = 90 \cdot x_1,$$

$$\text{при } x_1 = 0, \quad Q_1 = 90 \text{ кН, } M_1 = 0,$$

при $x_1 = 1$ м, $Q_1 = 90$ кН, $M_1 = 90 \cdot 1 = 90$ кНм.

Сечение $2,0 \leq x_2 \leq 1,8$ м.

$$Q_2 = P_2 - R_A = 90 - 167,63 = -77,63 \text{ кН},$$

$$M_2 = P_1 \cdot (1 + x_2) - R_A \cdot x_2 = 90 \cdot (1 + x_2) - 167,63 \cdot x_2,$$

при $x_2 = 0$, $Q_2 = -77,63$ кН, $M_2 = 90$ кНм,

при $x_2 = 1,8$ м,

$$Q_2 = -77,63 \text{ кН}, \quad M_2 = 90 \cdot (1 + 1,8) - 167,63 \cdot 1,8 = -49,74 \text{ кНм}.$$

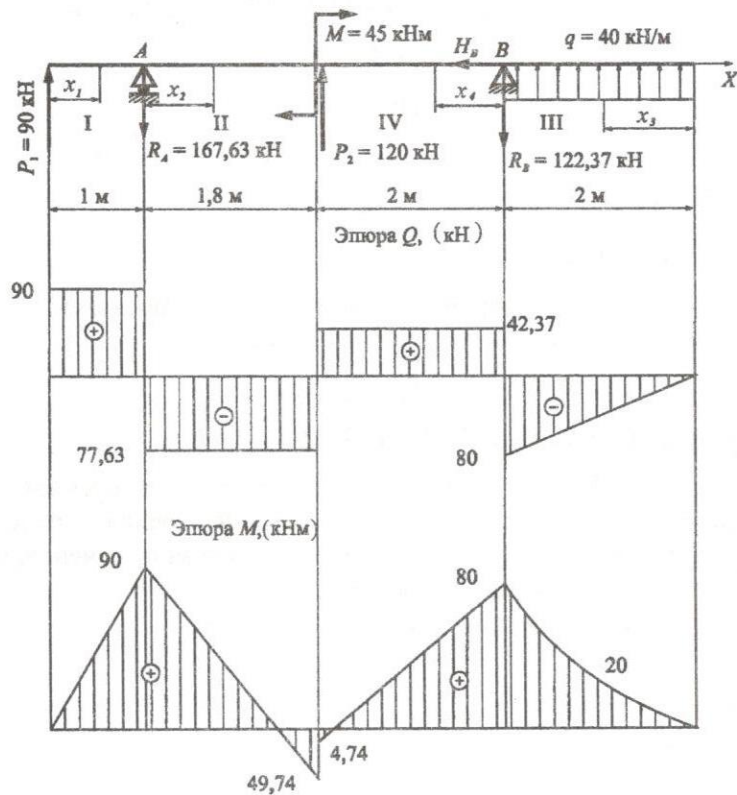


Рис. 15. Схема балки и эпюры внутренних усилий.

Сечение $3,0 \leq x_3 \leq 2$ м.

$$Q_3 = -q \cdot x_3 = -40 \cdot x_3,$$

$$M_3 = q \cdot x_3^2 / 2 = 40 \cdot x_3^2 / 2 = 20 \cdot x_3^2,$$

при $x_3 = 0$, $Q_3 = 0$,

$$M_3 = 0,$$

при $x_3 = 2$ м, $Q_3 = -40 \cdot 2 = -80$ кН,

$$M_3 = 20 \cdot 2^2 = 80 \text{ кНм}.$$

Для построения эпюры изгибающих моментов на третьем участке определим значение момента еще в одной точке, при $x_3 = 1$ м, $M_3 = 20$ кНм.

Сечение $4.0 \leq x_4 \leq 2$ м.

$$Q_4 = -q \cdot 2 + R_B = -40 \cdot 2 + 122,37 = 42,37 \text{ кН}$$

$$M_4 = q \cdot 2 \cdot (1 + x_4) - R_B \cdot x_4 = 40 \cdot 2 \cdot (1 + x_4) - 122,37 \cdot x_4,$$

при $x_4 = 0$, $Q_4 = 42,37$ кН,

$$M_4 = 80 \text{ кНм},$$

при $x_4 = 2$ м, $Q_4 = 42,37$ кН,

$$M_4 = 80 \cdot (1 + 2) - 122,37 \cdot 2 = -4,74 \text{ кНм}.$$

3. По полученным значениям строим эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

4. Для подбора номера двутавра по эпюре изгибающих моментов, находим опасное сечение, где момент максимален по абсолютной величине, $M_{\max} = 90$ кНм.

Из условия прочности определяем требуемый момент сопротивления поперечного сечения:

$$W_z \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{90 \cdot 10^6}{160 \cdot 10^6} = 0,562 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 562 \text{ см}^3.$$

По сортаменту выбираем двутавр №33 с ближайшим значением момента сопротивления $W_z = 597 \text{ см}^3$.

Рассмотрим третью балку заданной схемы (рис. 16).

Последовательность решения задачи та же, что и в предыдущих примерах.

1. Определим опорные реакции. При определении опорных реакций в балке с шарниром Д воспользуемся дополнительным условием, что момент сил через шарнир не передается от одной части балки к другой, т.е. сумма моментов всех внешних сил, действующих по одну сторону от шарнира относительно этого шарнира, равна нулю.

$$\sum P_x = 0, H_C = 0,$$

$$\sum M_{\text{Дслева}} = 0, -R_A \cdot 3 + P \cdot 1 = 0, 3R_A = 75. \quad (17)$$

$$\sum M_A = 0, -P \cdot 2 + R_B \cdot 4,5 - M - q \cdot 5 \cdot 7 + R_C \cdot 9,5 = 0, \\ 4,5R_B + 9,5R_C - 2300 = 0 \quad (18)$$

$$\sum M_B = 0, -R_A \cdot 4,5 + P \cdot 2,5 - M - q \cdot 5 \cdot 2,5 + R_C \cdot 5 = 0, \\ -4,5R_A + 5R_C - 612,5 = 0 \quad (19)$$

Из уравнения (17): $R_A = 75/3 = 25$ кН;

из уравнения (19): $R_C = (4,5 \cdot 25 + 612,5)/5 = 145$ кН,

из уравнения (18): $R_B = (2300 - 9,5 \cdot 145)/4,5 = 205$ кН.

Для проверки правильности определения реакций используем уравнение:

$$\sum P_y = 0, R_A - P + R_B - q \cdot 5 + R_C = 0,$$

$$25 - 75 + 205 - 300 + 145 = 0, 0 = 0.$$

2. Для составления выражений Q и M на I и II участках будем рассматривать равновесие левой отсеченной части балки, а на III и IV участках – правой отсеченной части.

Здесь же определим численные значения Q и M .

Сечение $1,0 \leq x_1 \leq 2$ м.

$$Q_1 = R_A = 25 \text{ кН}, M_1 = R_A \cdot x_1 = 25 \cdot x_1,$$

$$\text{при } x_1 = 0, Q_1 = 25 \text{ кН}, M_1 = 0,$$

$$\text{при } x_1 = 2 \text{ м}, Q_1 = 25 \text{ кН}, M_1 = 25 \cdot 2 = 50 \text{ кНм}.$$

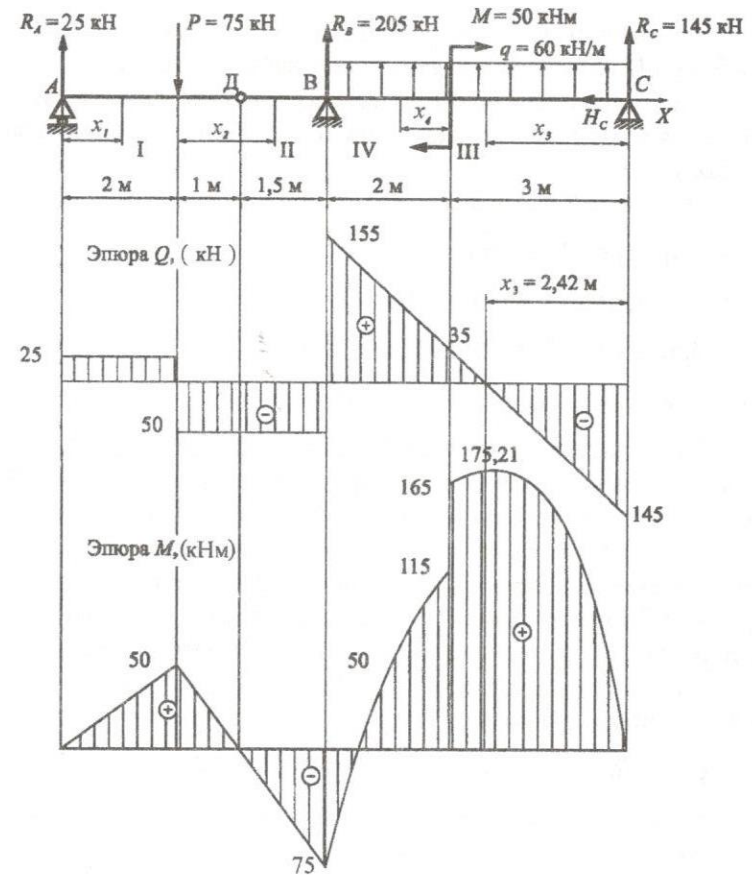


Рис. 16. Расчётная схема балки и эпюры внутренних усилий.

Сечение $2,0 \leq x_2 \leq 2,5$ м.

$$Q_2 = R_A - P = 25 - 75 = -50 \text{ кН},$$

$$M_2 = R_A \cdot (2 + x_2) - P \cdot x_2 = 25 \cdot (1 + x_2) - 75 \cdot x_2,$$

$$\text{при } x_2 = 0, Q_2 = -50 \text{ кН}, M_2 = 25 \cdot 2 = 50 \text{ кНм},$$

$$\text{при } x_2 = 2,5 \text{ м}, Q_2 = -50 \text{ кН}, M_2 = 25 \cdot (2 + 2,5) - 75 \cdot 2,5 = -75 \text{ кНм}.$$

При первом и втором участках поперечная сила Q постоянна, а изгибающий момент M меняется по линейному закону.

Для построения эпюр M на этих участках достаточно знать их значения в двух точках. Как правило, эти значения определяют на границах участков.

Сечение $3,0 \leq x_3 \leq 3$ м.

$$Q_3 = -R_C + q \cdot x_3 = -145 + 60 \cdot x_3,$$

$$M_3 = R_C \cdot x_3 - q \cdot x_3^2 / 2 = 145 \cdot x_3 - 60 \cdot x_3^2 / 2.$$

При $x_3 = 0$, $Q_3 = -145$ кН, $M_3 = 0$,

при $x_3 = 3$ м, $Q_3 = -145 + 60 \cdot 3 = 35$ кН, $M_3 = 145 \cdot 3 - 30 \cdot 3^2 = 165$ кНм.

На участке III изгибающий момент изменяется по квадратическому закону, а поперечная сила — по линейному. Причем, при линейном законе изменения поперечная сила Q имеет в начале и в конце участка численные значения разного знака. Следовательно, на этом участке эпюра Q проходит через нуль, а эпюра изгибающего момента имеет экстремальное значение. Для определения экстремального значения момента предварительно найдем абсциссу x_3 сечения, в котором $Q_3 = 0$. Для этого приравняем выражение перерезывающей силы на третьем участке нулю.

$$Q_3 = -R_C + q \cdot x_3 = 0, \quad x_3 = R_C / q = 145 / 60 = 2,42 \text{ м.}$$

Определим значение момента в сечении, где поперечная сила равняется нулю, т.е. при $x_3 = 2,43$ м.

$$M_{3\max} = R_C \cdot x_3 - q \cdot x_3^2 / 2 = 145 \cdot 2,42 - 60 \cdot 2,42^2 / 2 = 175,21 \text{ кНм.}$$

Для более точного построения эпюры изгибающего момента можно дополнительно вычислить еще несколько значений M_3 .

Сечение $4,0 \leq x_4 \leq 2$ м.

$$Q_4 = -R_C + q \cdot (3 + x_4) = -145 + 60 \cdot (3 + x_4),$$

$$M_4 = R_C \cdot (3 + x_4) - q \cdot (3 + x_4)^2 / 2 - M = 145(3 + x_4) - 60 \cdot (3 + x_4)^2 / 2 - 50.$$

При $x_4 = 0$, $Q_4 = -145 + 180 = 35$ кН, $M_4 = 145 \cdot 3 - 30 \cdot 3 - 50 = 115$ кНм,

при $x_4 = 2$ м, $Q_4 = -145 + 60 \cdot (3 + 2) = 155$ кН,

$$M_4 = 145 \cdot (3 + 2) - 30 \cdot (3 + 2)^2 - 50 = -75 \text{ кНм.}$$

Так как момент изменяется на IV участке по квадратичному закону, для более точного построения эпюры определим значение момента в третьей точке.

При $x_4 = 1$ м,

$$M_4 = 145 \cdot (3 + 1) - 30 \cdot (3 + 1)^2 - 50 = 50 \text{ кНм.}$$

3. По полученным значениям строим в масштабе эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

4. Для подбора номера швеллера определим по эпюре изгибающего момента опасное сечение, где момент максимален по абсолютной величине: $M_{\max} = 175,21$ кНм.

Из условия прочности определяем требуемый момент сопротивления для двух швеллеров.

$$W_z \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{175,21 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 1,10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 1100 \text{ см}^3.$$

Для одного швеллера $W_z \geq 550 \text{ см}^3$.

По сортаменту выбираем швеллер №33 с моментом сопротивления $W_z = 484 \text{ см}^3$, так как для следующего швеллера №36 $W_z = 601 \text{ см}^3$, что значительно больше требуемого значения.

Определим перенапряжение η для швеллера №33 по формуле:

$$\sigma_{\max} = \frac{175,21 \cdot 10^3}{2 \cdot 484 \cdot 10^{-6}} = 181 \text{ МПа.}$$

$$\eta = \frac{\sigma_{\max} - [\sigma]}{[\sigma]} \cdot 100\% = \frac{181 - 160}{160} \cdot 100\% = 13,3\% > 5\%.$$

Перенапряжение больше 5%, что недопустимо. Следовательно, окончательно выбираем швеллер №36 у которого $W_z = 601 \text{ см}^3$.

5. Варианты домашних заданий

Индивидуальные задания выбираются согласно табл. 5, 6 и рис. 17-20.

Таблица 5. Варианты заданий для первой балки.

№ варианта	Нагрузки				Размеры (м)		h/b
	P (кН)	M (кНм)	q ₁ (кН/м)	q ₂ (кН/м)	a	b	
1	10	60	10	50	4	2	1,5
2	20	50	10	40	3	4	2
3	30	40	20	30	2	3	1,2
4	40	30	20	20	1	2	2,5
5	50	20	30	10	5	1	2
6	60	10	30	50	4	1	3
7	70	60	40	40	3	2	4
8	80	50	40	30	2	4	2,6
9	90	40	50	20	4	3	1,2
10	100	30	50	10	2	1	1,5
11	10	20	60	50	4	4	2
12	20	10	60	40	3	3	3
13	30	30	70	30	2	2	1,8
14	40	20	70	20	5	2	1,5
15	50	10	80	10	1	4	1,2

Таблица 6. Варианты заданий для второй и третьей балки.

№ варианта	Нагрузки				Размеры(м)					
	P ₁ (кН)	P ₂ (кНм)	M ₁ (кН/м)	M ₂ (кН/м ²)	q (кН/м)	a	b	c	d	e
1	10	90	60	10	60	4	2	3	1	3
2	20	80	50	20	50	3	4	1	2	1
3	30	70	40	30	40	4	3	2	3	2
4	40	60	30	40	30	2	3	2	1	3
5	50	50	20	50	20	4	2	1	4	2
6	60	40	10	60	60	3	4	2	1	1
7	70	30	60	10	50	5	3	3	2	4
8	80	20	50	20	40	4	2	1	3	1
9	90	10	40	30	30	2	4	3	4	2
10	100	50	30	40	20	3	2	2	3	3
11	15	40	20	50	40	4	3	4	2	4
12	25	30	10	60	30	2	4	3	1	3
13	35	20	60	10	20	3	2	2	2	2
14	45	10	50	20	50	4	3	1	3	1
15	55	70	40	30	40	2	3	3	1	2

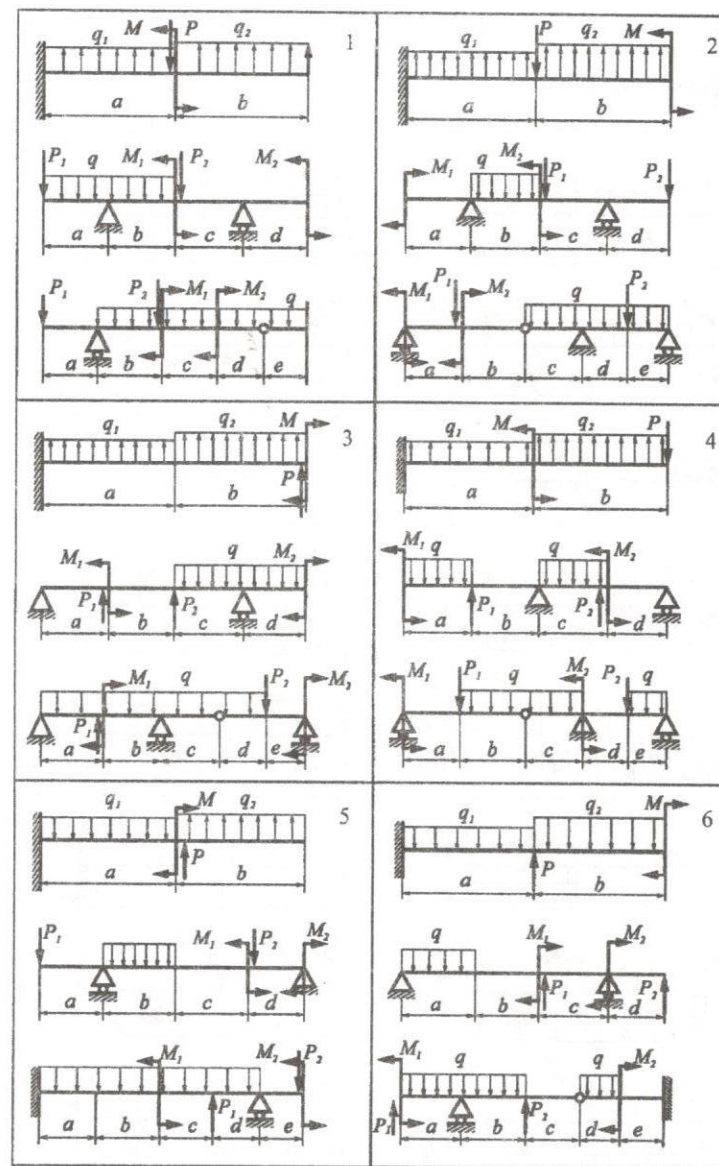


Рис. 17. Схемы заданий: варианты 1 - 6.

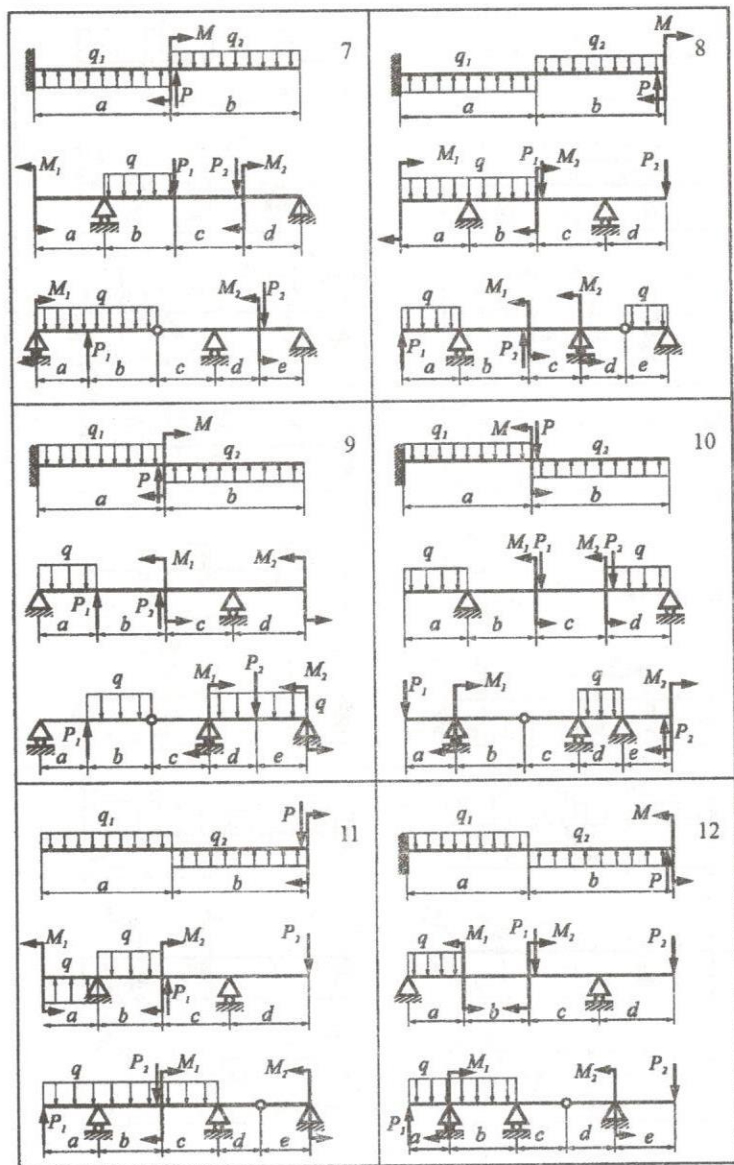


Рис. 18. Схемы заданий: варианты 7 - 12.

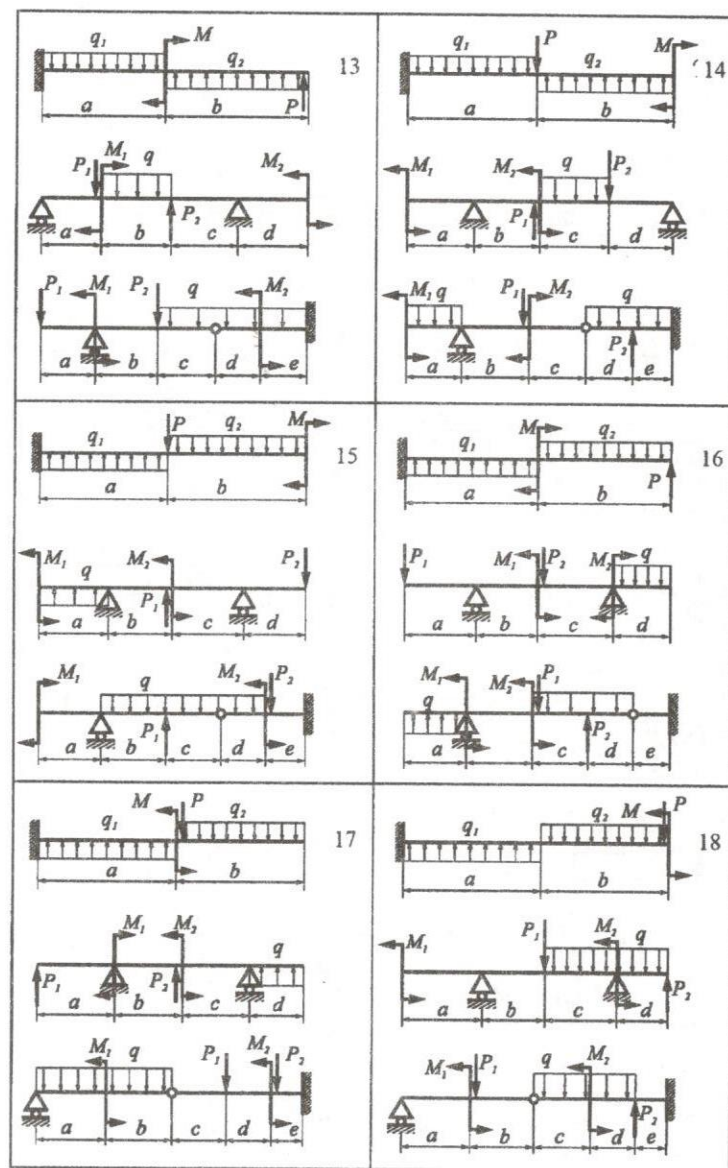


Рис. 19. Схемы заданий: варианты 13-18.

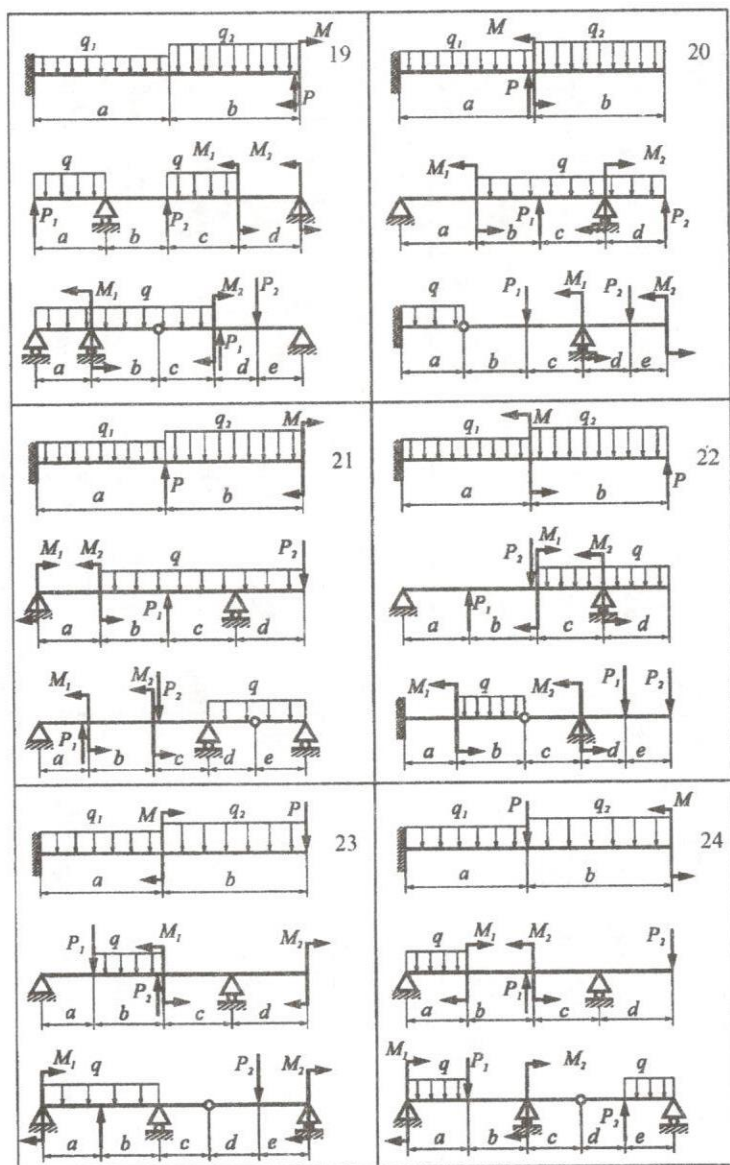


Рис. 20. Схемы заданий: варианты 19–24.

6. Контрольные вопросы

1. Какой изгиб называется плоским?
2. Какой изгиб называется чистым?
3. Какие внутренние силовые факторы возникают при поперечном изгибе?
4. Что называется нейтральной осью?
5. Как определяются поперечная сила и изгибающий момент в произвольном сечении балки?
6. Какое правило знаков принято для определения поперечных сил и изгибающих моментов при изгибе?
7. Какие правила необходимо соблюдать при построении эпюр внутренних усилий Q и M ?
8. Записать условие прочности при изгибе и пояснить величины, входящие в него.
9. Как осуществляется подбор поперечного сечения балки при изгибе?
10. Перечислить правила, применяемые на практике для контроля правильности построения эпюр.
11. Для предложенной преподавателем балки построить эпюры Q и M с использованием правил, применяемых на практике для контроля правильности построения эпюр.