

ПРИМЕР

Для плоской рамы, схема которой изображена на рис.1, раскрыть статическую неопределимость методом сил, построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных внутренних сил.

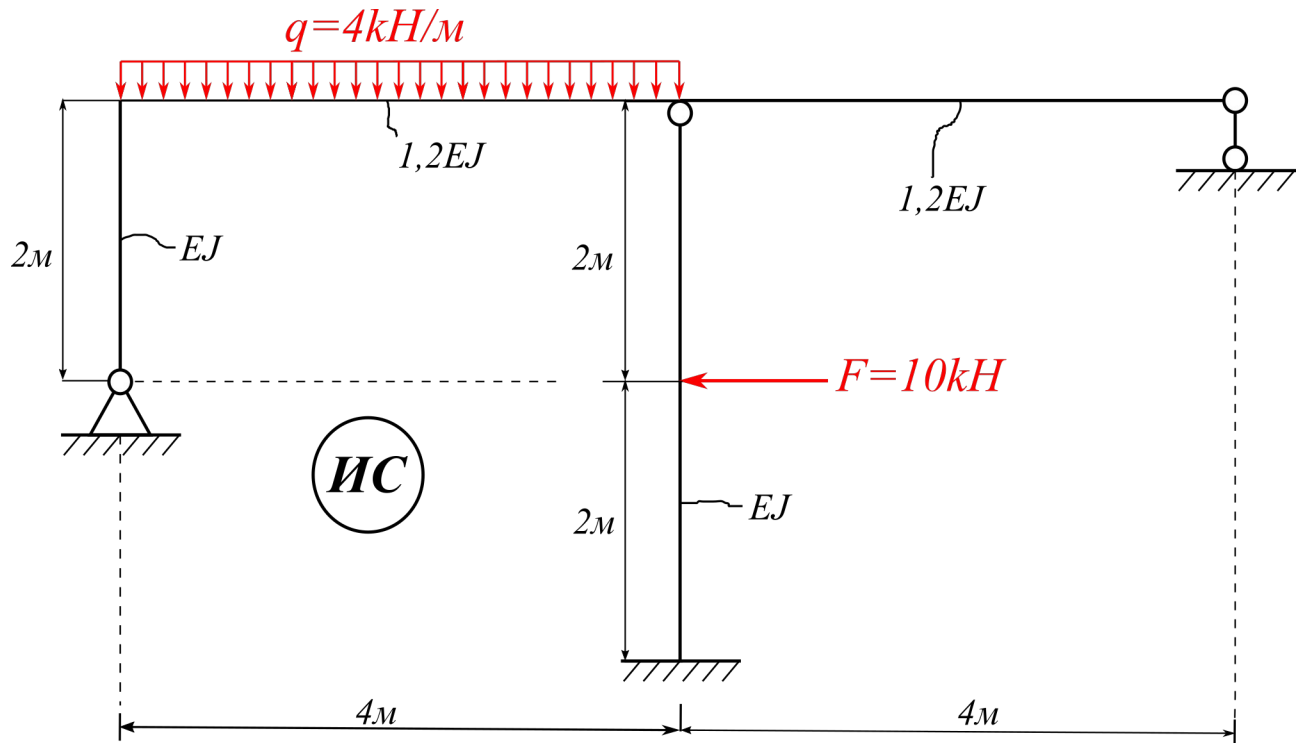


Рис.1 Исходная схема

1. Определяем степень статической неопределимости n_s :

$$n_s = 3K - \text{III},$$

где K - число замкнутых контуров;

III - число простых шарниров.

В нашем случае: $n_s = 3 \cdot 2 - 4 = 2$.

Таким образом, представленная на рис.1 исходная схема (ИС) является дважды статически неопределимой системой.

2. Перейдем к выбору основной схемы (ОС). Основная схема, являясь геометрически неизменяемой и статически определимой (рис.2), получается путем отбрасывания лишних связей исходной схемы (ИС). Условием эквивалентности основной схемы (ОС) исходной (ИС) будет являться приложение неизвестных усилий в направлении отброшенных связей. Значения этих усилий определяются из канонических уравнений метода сил. Количество этих уравнений соответствует степени статической неопределимости системы. В нашем случае система канонических уравнений примет вид:

$$\delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \Delta_{1p} = 0$$

$$\delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \Delta_{2p} = 0$$

В нашем случае, мы прерываем 2 связи в шарнире, и по направлению отброшенных

связей прикладываем неизвестные усилия X_1 , X_2 . Убеждаемся в геометрической неизменяемости полученной схемы (ОС). Производим нумерацию характерных сечений (номера в кружечках, см. рис. 2).

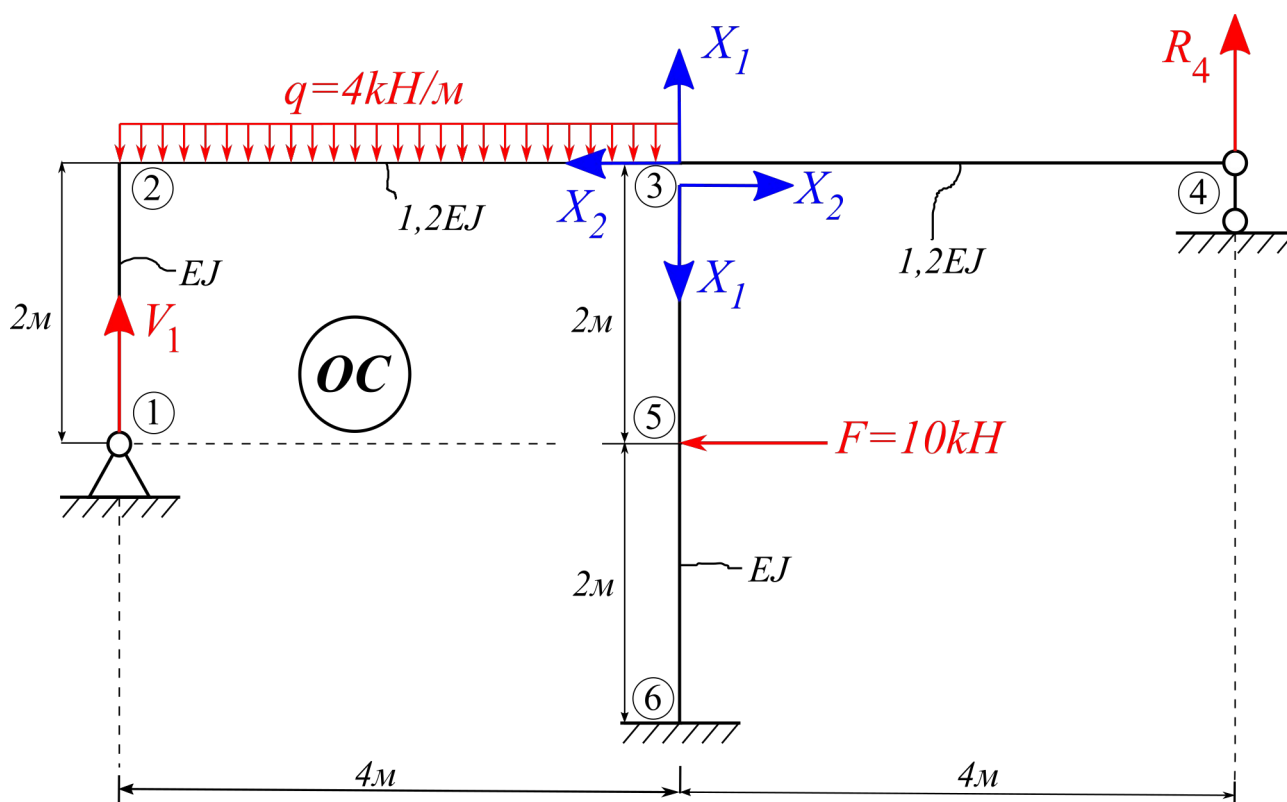


Рис.2. Основная схема

3. Определяем коэффициенты, входящие в канонические уравнения.

В связи с тем, что для определения коэффициентов используется графоаналитический способ решения интеграла Мора, то необходимо построить две единичные и грузовую эпюры изгибающих моментов.

3.1 Определим первый главный коэффициент δ_{11} . Согласно формулы Мора:

$$\delta_{11} = \sum_{i=1}^k \int_l \frac{\bar{M}_1^2}{EI} dx.$$

Для графоаналитического способа определения δ_{11} необходимо использовать вспомогательную расчетную схему (рис.3), получаемую путем отбрасывания из основной схемы (ОС) всей внешней нагрузки, включая неизвестные силы X_1 , X_2 и приложения по направлению первой неизвестной силы единичной силы, см. рис.3. Заметим, что геометрические и жесткостные характеристики вспомогательной схемы полностью идентичны основной схеме (ОС).

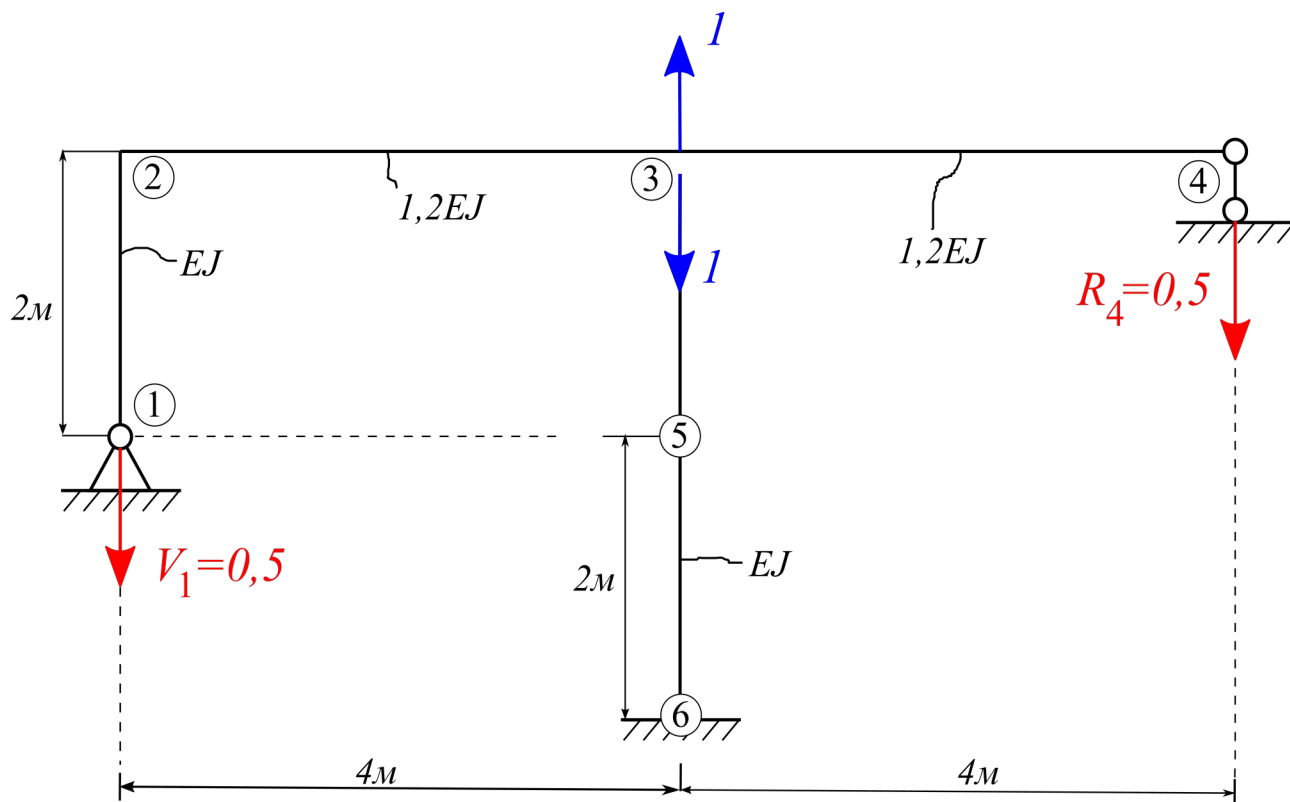


Рис.3 Первая вспомогательная схема

Составляя уравнения статического равновесия, определяем необходимые опорные реакции (см. рис.3)

$$\sum M_1(\bar{F}_i) = 0: -1 \cdot 4 + R_4 \cdot 8 = 0 \Rightarrow R_4 = 0,5.$$

$$\sum M_4(\bar{F}_i) = 0: -V_1 \cdot 8 + 1 \cdot 4 = 0 \Rightarrow V_1 = 0,5.$$

Применяя методы сопротивления материалов строим эпюру первого единичного момента \bar{M}_1 , рис.4.

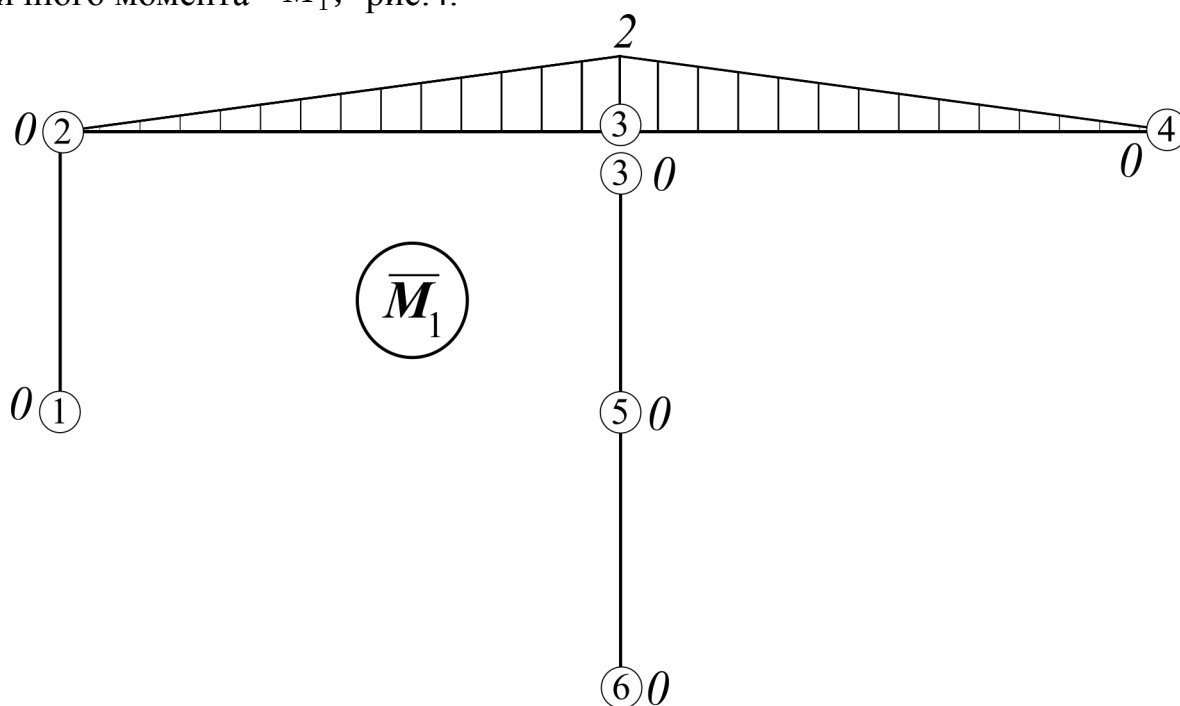


Рис.4 Эпюра первого единичного момента

Определим первый главный коэффициент δ_{11} графоаналитическим путем.

С этой целью перемножим единичную эпюру (см. рис.4) саму на себя.

В случае простого очертания при этом, целесообразно использовать формулу Верещагина:

$$\delta_{11} = \sum \frac{\omega_i^0 \cdot M_i^0}{EJ_i}.$$

Здесь - ω_i^0 -площадь i -участка единичной эпюры; M_i^0 -величина единичного изгибающего момента взятая по центру тяжести площади i -участка единичной эпюры; EJ_i - жесткость i -участка единичной эпюры.

В нашем случае:

$$\delta_{11} = \sum \frac{\omega_i^0 \cdot M_i^0}{EJ_i} = \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4\right) \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 2\right)}{1,2 EJ} + \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4\right) \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 2\right)}{1,2 EJ} \Rightarrow \delta_{11} = \frac{8,888}{EJ}.$$

3.2 Определим второй главный коэффициент δ_{22} . Согласно формулы Мора:

$$\delta_{22} = \sum_{i=1}^k \int_l \frac{\bar{M}_2^2}{EJ} dx.$$

Для графоаналитического способа определения δ_{22} необходимо использовать вспомогательную расчетную схему (рис.5), получаемую путем отбрасывания из основной схемы (ОС) всей внешней нагрузки, включая неизвестные силы X_1 , X_2 и приложения по направлению второй неизвестной силы единичной силы, см. рис.5. Заметим, что геометрические и жесткостные характеристики вспомогательной схемы полностью идентичны основной схеме (ОС).

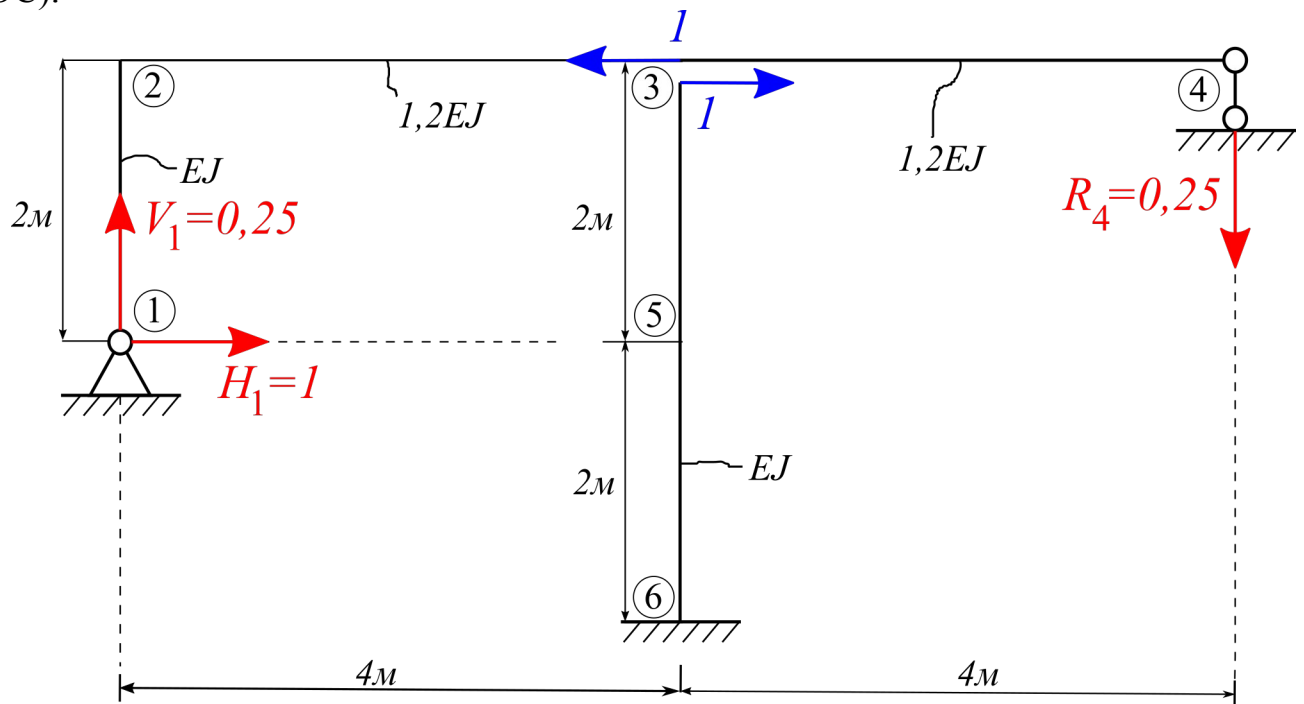


Рис.5 Вторая вспомогательная схема

Составляя уравнения статического равновесия, определяем необходимые опорные реакции, (см. рис.5).

$$\begin{aligned}\sum X=0: & \quad H_1-1=0 \Rightarrow \quad H_1=1. \\ \sum M_1(\bar{F}_i)=0: & \quad -1 \cdot 2 + R_4 \cdot 8 = 0 \Rightarrow \quad R_4=0,25. \\ \sum M_4(\bar{F}_i)=0: & \quad V_1 \cdot 8 - H_1 \cdot 2 = 0 \Rightarrow \quad V_1=0,25.\end{aligned}$$

Применяя методы сопротивления материалов строим эпюру второго единичного момента \bar{M}_2 , рис.6.

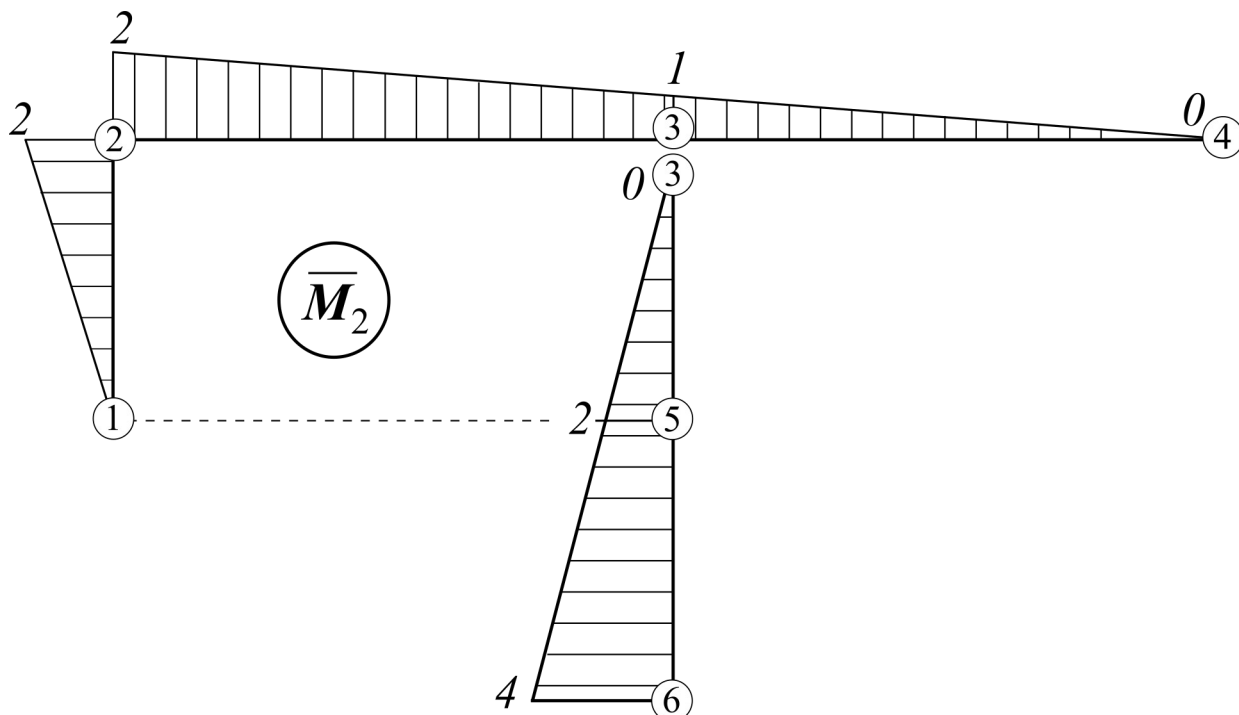


Рис.6 Эпюра второго единичного момента

Определим второй главный коэффициент δ_{22} графоаналитическим путем. С этой целью перемножим единичную эпюру (см. рис.6) саму на себя.

В случае простого очертания, целесообразно использовать формулу Верещагина:

$$\delta_{22} = \sum \frac{\omega_i^0 \cdot M_i^0}{EJ_i}.$$

Здесь - ω_i^0 - площадь i -участка единичной эпюры; M_i^0 - величина единичного изгибающего момента взятая по центру тяжести площади i -участка единичной эпюры.

В нашем случае:

$$\delta_{22} = \sum \frac{\omega_i^0 \cdot M_i^0}{EJ_i} = \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2\right) \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 2\right)}{EJ} + \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 8\right) \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 2\right)}{1,2 EJ} + \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 4\right) \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 4\right)}{EJ} \Rightarrow \delta_{22} = \frac{32,889}{EJ}.$$

3.3. Определим побочные коэффициенты $\delta_{12} = \delta_{21}$.

С этой целью перемножим ненулевые участки единичных эпюр \bar{M}_1 и \bar{M}_2 . Из анализа эпюр (рис.4 и рис.6) следует, что два ненулевых участка расположены на ригеле (рис. 7).

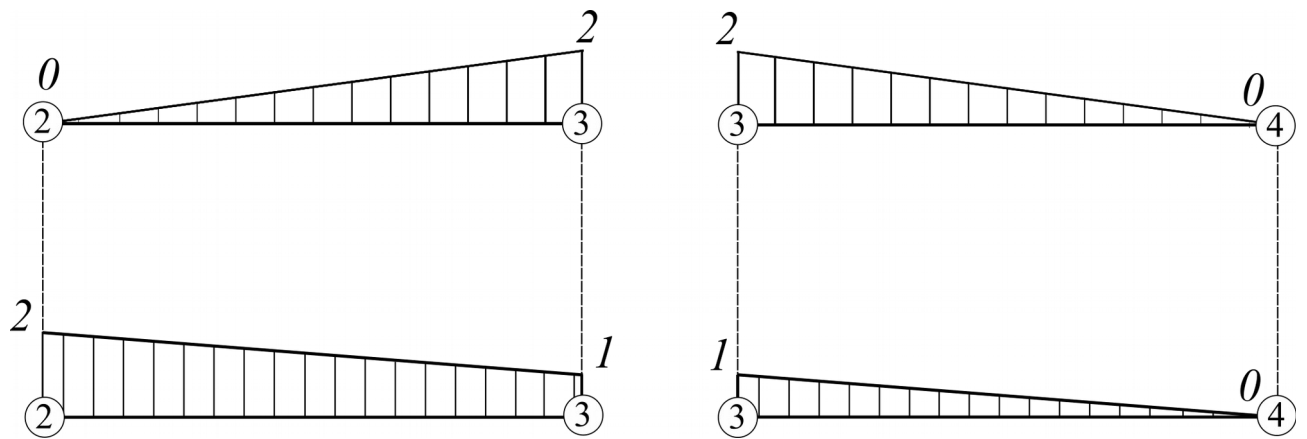


Рис.7

При перемножении эпюр дважды применим формулу трапеций.

$$\delta = \frac{l}{6 \cdot EJ} (2 \cdot A \cdot a + 2 \cdot B \cdot b + A \cdot b + B \cdot a).$$

Здесь: l - длина перемножаемого участка. A - значение момента в левом сечении первой единичной (верхней) эпюры. a - значение момента в левом сечении второй единичной (нижней) эпюры. B - значение момента в правом сечении первой единичной (верхней) эпюры. b - значение момента в правом сечении второй единичной (нижней) эпюры. EJ - изгибная жесткость поперечного сечения перемножаемого участка.

В нашем случае:

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{4}{6 \cdot 1,2 EJ} (2 \cdot 0 \cdot 2 + 2 \cdot 2 \cdot 1 + 0 \cdot 1 + 2 \cdot 2) + \frac{4}{6 \cdot 1,2 EJ} (2 \cdot 2 \cdot 1 + 2 \cdot 0 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 0 \cdot 1) \Rightarrow$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{6,667}{EJ}.$$

При перемножении учтем, что все соответствующие участки эпюр расположены по одну сторону от нулевой линии, поэтому все составляющие суммы произведений будут не отрицательны.

3.4. Строим грузовую эпюру изгибающих моментов M_p .

Расчетная схема для построения эпюры, получается из основной (ОС), см. рис. 2, путем отбрасывания неизвестных усилий X_1 и X_2 , (рис.8).

Составляя уравнения статического равновесия, определяем необходимые опорные реакции, (см. рис.8).

$$\begin{aligned} \sum M_1(\bar{F}_i) &= 0: & q \cdot 4 \cdot 2 - R_4 \cdot 8 &= 0 \Rightarrow R_4 = 4 \text{ kH}. \\ \sum M_4(\bar{F}_i) &= 0: & V_1 \cdot 8 - q \cdot 4 \cdot 6 &= 0 \Rightarrow V_1 = 12 \text{ kH}. \end{aligned}$$

Применяя методы сопротивления материалов строим грузовую эпюру изгибающего момента M_p , рис.9.

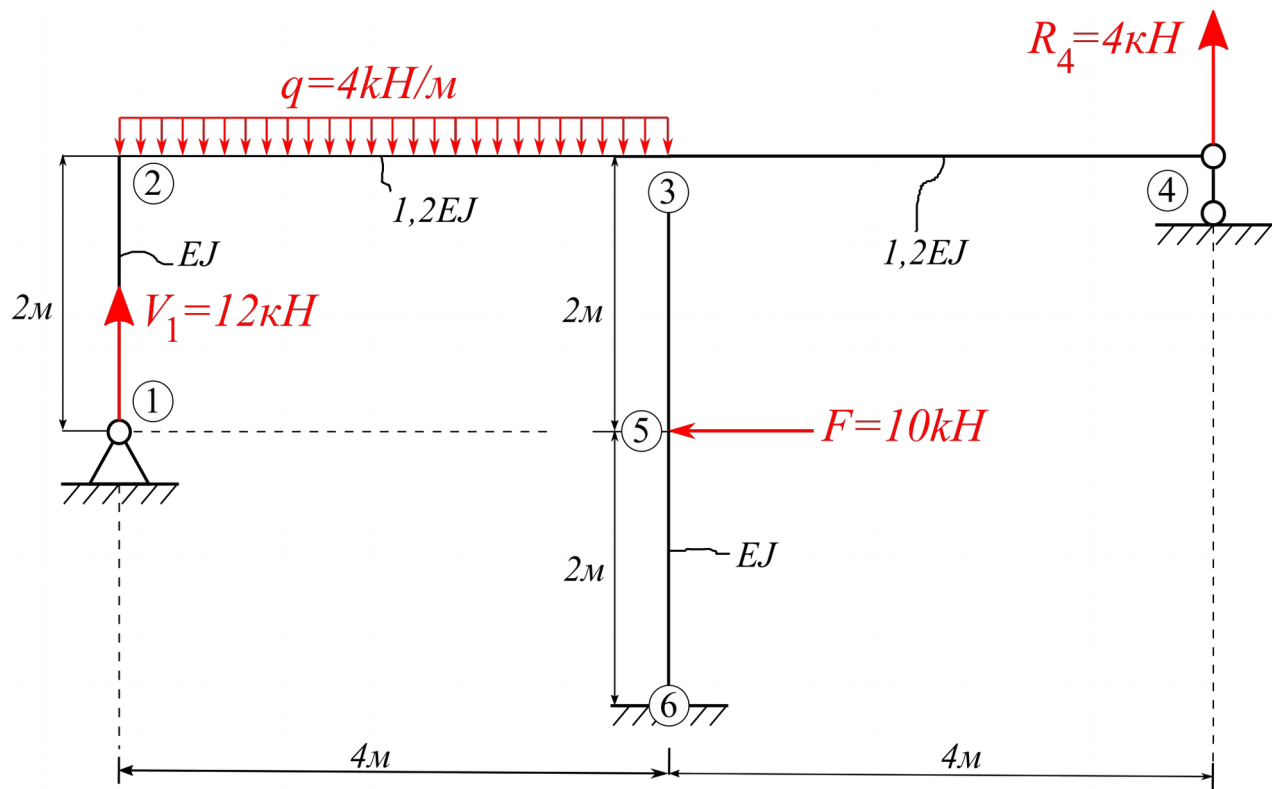


Рис.8

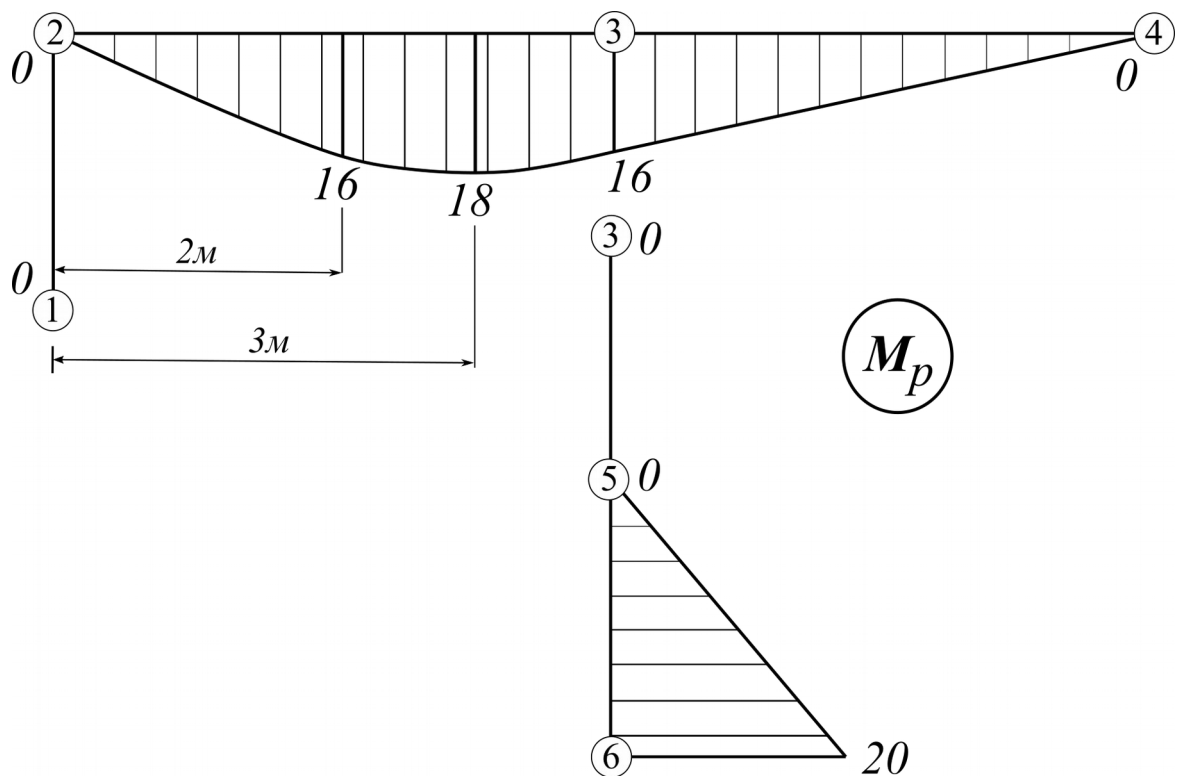


Рис.9

3.5 Определим грузовой коэффициент Δ_{1p} . С этой целью перемножим ненулевые участки грузовой эпюры M_p и единичной \bar{M}_1 . Из анализа эпюр (рис.4 и рис.9) следует, что два ненулевых участка расположены на ригеле (рис. 10).

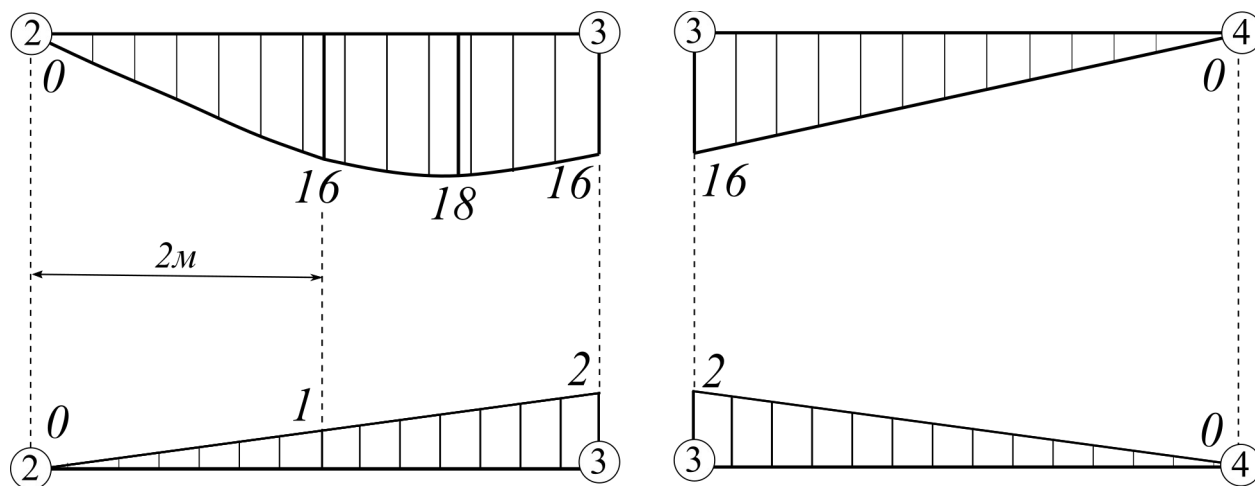


Рис.10

При перемножении участка 2–3 используем формулу Симпсона:

$$\Delta = \frac{l}{6EJ} (A \cdot a + 4 \cdot C \cdot c + B \cdot b).$$

Здесь: l - длина перемножаемого участка. A - значение момента в левом сечении грузовой (верхней) эпюры. a - значение момента в левом сечении первой единичной (нижней) эпюры; C - значение момента в среднем сечении грузовой (верхней) эпюры; c - значение момента в среднем сечении первой единичной (нижней) эпюры. B - значение момента в правом сечении грузовой (верхней) эпюры. b - значение момента в правом сечении первой единичной (нижней) эпюры. EJ - изгибная жесткость поперечного сечения перемножаемого участка.

При перемножении участка 3–4 воспользуемся формулой трапеций:

$$\Delta = \frac{l}{6 \cdot EJ} (2 \cdot A \cdot a + 2 \cdot B \cdot b + A \cdot b + B \cdot a).$$

Здесь: l - длина перемножаемого участка. A - значение момента в левом сечении первой единичной (верхней) эпюры. a - значение момента в левом сечении второй единичной (нижней) эпюры. B - значение момента в правом сечении первой единичной (верхней) эпюры. b - значение момента в правом сечении второй единичной (нижней) эпюры. EJ - изгибная жесткость поперечного сечения перемножаемого участка.

В таком случае:

$$\Delta_{1p} = -\frac{4}{6 \cdot 1,2 EJ} (0 \cdot 0 + 4 \cdot 16 \cdot 1 + 16 \cdot 2) - \frac{4}{6 \cdot 1,2 EJ} (2 \cdot 16 \cdot 2 + 2 \cdot 0 \cdot 0 + 16 \cdot 0 + 0 \cdot 2) \Rightarrow$$

$$\Delta_{1p} = -\frac{88,889}{EJ}.$$

При перемножении учтем, что все соответствующие участки эпюр расположены по разные стороны от нулевой линии, поэтому все составляющие суммы произведений будут отрицательны.

3.6 Определим грузовой коэффициент Δ_{2p} . С этой целью перемножим ненулевые участки грузовой эпюры M_p и единичной \bar{M}_2 . Из анализа эпюр (рис.6 и рис.9) следует, что два ненулевых участка расположены на ригеле и один ненулевой участок на нижней части правой стойки (рис. 11).

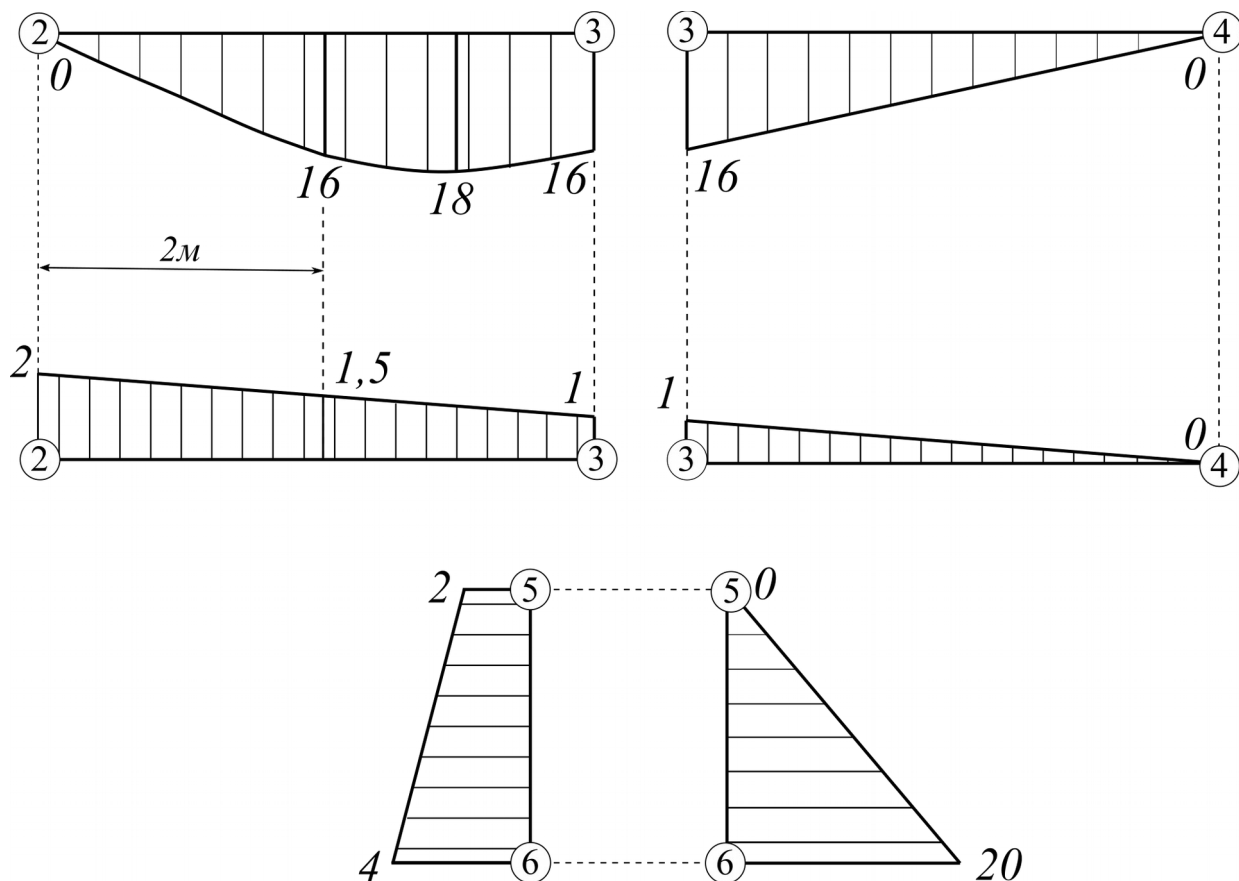


Рис.11

При перемножении участка 2–3 используем формулу Симпсона, для перемножения участка 3–4 и на участке 5–6 применяем формулу трапеций.

$$\Delta_{2p} = -\frac{4}{6 \cdot 1,2 EJ} (0 \cdot 2 + 4 \cdot 16 \cdot 1,5 + 16 \cdot 1) - \frac{4}{6 \cdot 1,2 EJ} (2 \cdot 16 \cdot 1 + 2 \cdot 0 \cdot 0 + 16 \cdot 0 + 0 \cdot 1) - \dots$$

$$\dots - \frac{2}{6 \cdot EJ} (2 \cdot 0 \cdot 2 + 2 \cdot 20 \cdot 4 + 0 \cdot 4 + 20 \cdot 2) \Rightarrow \Delta_{2p} = -\frac{146,667}{EJ}.$$

При перемножении учтем, что все соответствующие участки эпюр расположены по разные стороны от нулевой линии, поэтому все составляющие сумм произведений будут отрицательны.

4.1 Построим суммарную единичную эпюру изгибающего момента \bar{M}_C . Для этого сложим по характерным сечениям две единичные эпюры \bar{M}_1 и \bar{M}_2 , рис.12.

Определим главный коэффициент δ_{cc} путем перемножения суммарной единичной эпюры изгибающего момента \bar{M}_C самой на себя. Участки 1–2; 3–4; 3–6 перемножим, используя правило Верещагина. При перемножении участка 2–3 используем формулу трапеций.

$$\delta_{cc} = \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2\right) \cdot \frac{2}{3} \cdot 2}{EJ} + \frac{4}{6 \cdot 1,2 EJ} (2 \cdot 2 \cdot 2 + 2 \cdot 3 \cdot 3 + 2 \cdot 3 + 3 \cdot 2) + \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 4\right) \cdot \frac{2}{3} \cdot 3}{1,2 EJ} + \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 4\right) \cdot \frac{2}{3} \cdot 4}{EJ} \Rightarrow$$

$$\delta_{cc} = \frac{55,111}{EJ}.$$

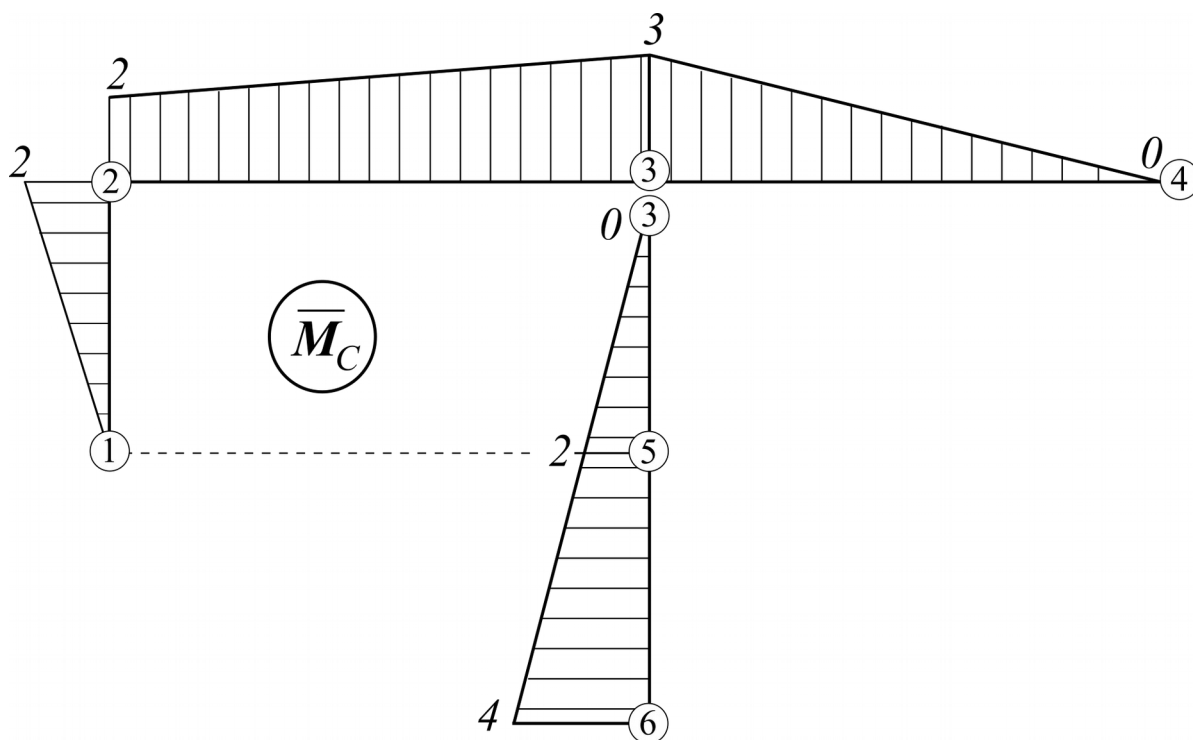


Рис.12

4.2. Определим средний грузовой коэффициент Δ_{cp} . Для этого перемножим грузовую эпюру M_p , см. рис.9 с суммарной единичной эпюрой изгибающего момента \bar{M}_C , рис. 12.

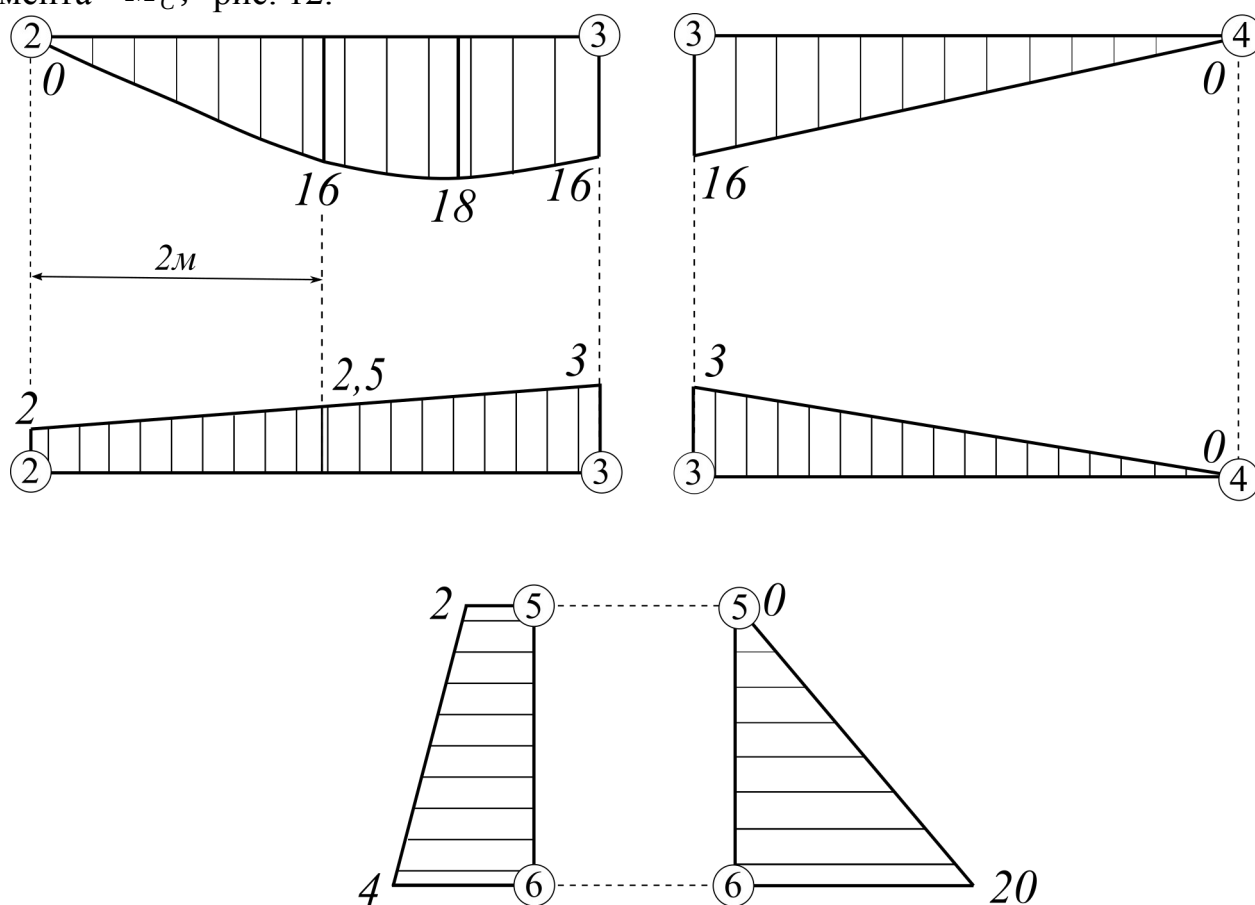


Рис.13

При перемножении участка 2–3 используем формулу Симпсона, для перемножения участка 3–4 и на участке 5–6 применяем формулу трапеций.

$$\Delta_{cp} = -\frac{4}{6 \cdot 1,2 EJ} (0 \cdot 2 + 4 \cdot 16 \cdot 2,5 + 16 \cdot 3) - \frac{4}{6 \cdot 1,2 EJ} (2 \cdot 16 \cdot 3 + 2 \cdot 0 \cdot 0 + 16 \cdot 0 + 0 \cdot 3) - \dots$$

$$\dots - \frac{2}{6 \cdot EJ} (2 \cdot 0 \cdot 2 + 2 \cdot 20 \cdot 4 + 0 \cdot 4 + 20 \cdot 2) \Rightarrow \Delta_{cp} = -\frac{235,555}{EJ}.$$

При перемножении учтем, что все соответствующие участки эпюр расположены по разные стороны от нулевой линии, поэтому все составляющие сумм произведений будут отрицательны.

4. Выполним проверку коэффициентов канонических уравнений. Коэффициенты определены правильно, если выполняются условия:

$$\delta_{cc} = \sum \delta_{ik}; \quad \Delta_{cp} = \sum \Delta_{ip}.$$

$$\delta_{cc} = \delta_{11} + \delta_{22} + 2 \cdot \delta_{12} \Rightarrow \frac{55,111}{EJ} = \frac{8,889}{EJ} + \frac{32,889}{EJ} + 2 \cdot \frac{6,667}{EJ}. \text{ Истинно.}$$

$$\Delta_{cp} = \Delta_{1p} + \Delta_{2p} \Rightarrow -\frac{235,555}{EJ} = -\frac{88,889}{EJ} - \frac{146,667}{EJ}. \text{ Истинно.}$$

Проверка показала правильность определения коэффициентов.

5. После проверки коэффициентов, решаем канонические уравнения:

$$8,889 \cdot X_1 + 6,667 \cdot X_2 - 88,889 = 0$$

$$6,667 \cdot X_1 + 32,889 \cdot X_2 - 146,667 = 0$$

Таким образом, $X_1 = 7,849 \text{ kH}$; $X_2 = 2,869 \text{ kH}$.

6. Построение окончательной эпюры изгибающего момента M будем осуществлять по формуле: $M = \bar{M}_1 \cdot X_1 + \bar{M}_2 \cdot X_2 + M_p$.

6.1. Построим первую вспомогательную эпюру $\bar{M}_1 \cdot X_1$. Для этого все ординаты первой единичной эпюры \bar{M}_1 , см. рис.4 умножим на $X_1 = 7,849 \text{ kH}$, рис.14.

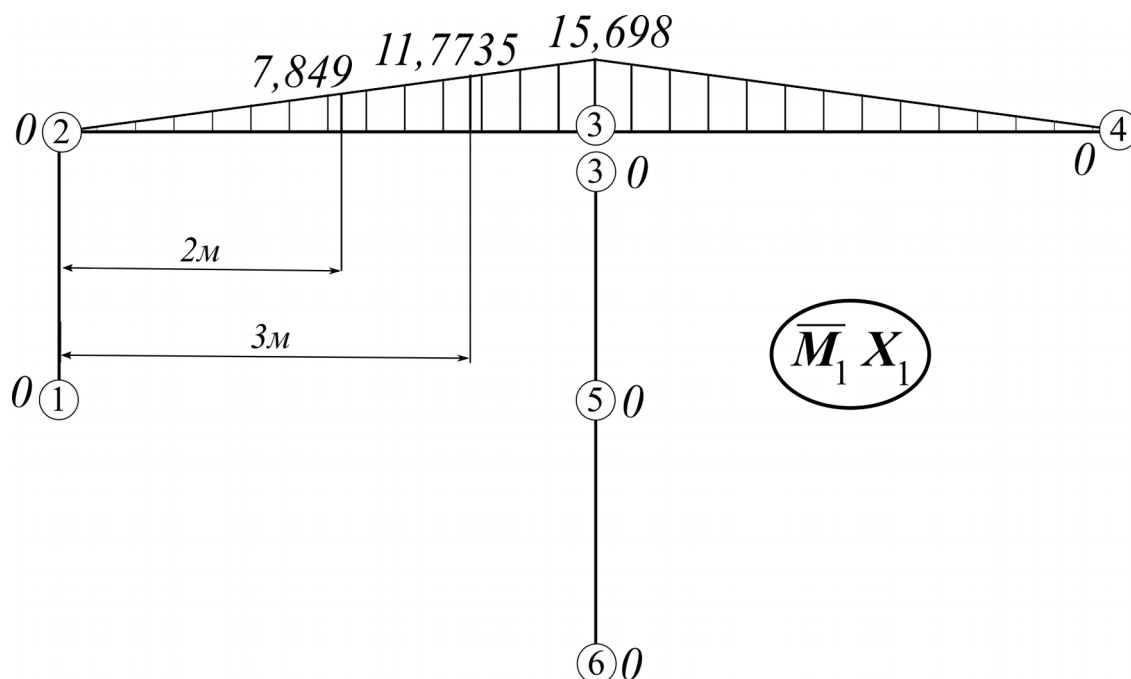


Рис.14

6.2. Построим вторую вспомогательную эпюру $\bar{M}_2 \cdot X_2$. Для этого все ординаты второй единичной эпюры \bar{M}_2 , см. рис.6 умножим на $X_2 = 2,869 \text{ kH}$, рис.15.

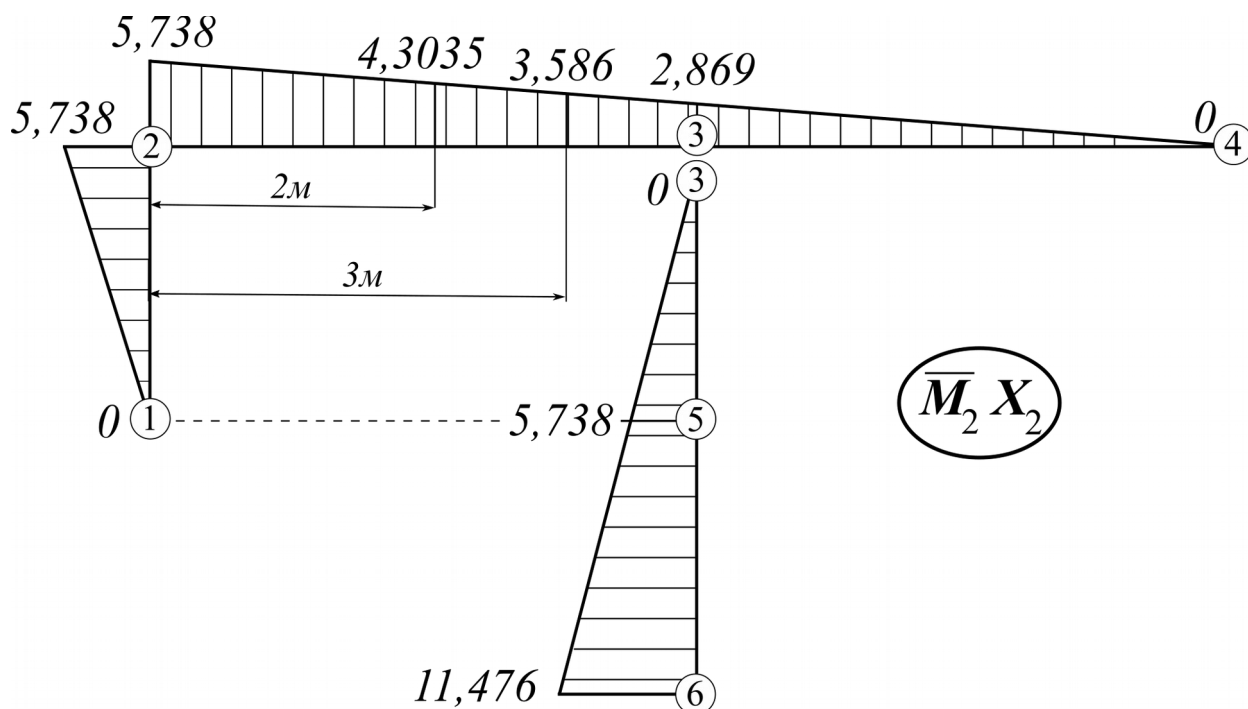


Рис.15

6.3. Строим эпюру изгибающего момента M (рис.16), путем геометрического сложения соответствующих ординат эпюр $\bar{M}_1 \cdot X_1$, (см. рис. 14); $\bar{M}_2 \cdot X_2$, (см. рис. 15); M_p , (см. рис. 9).

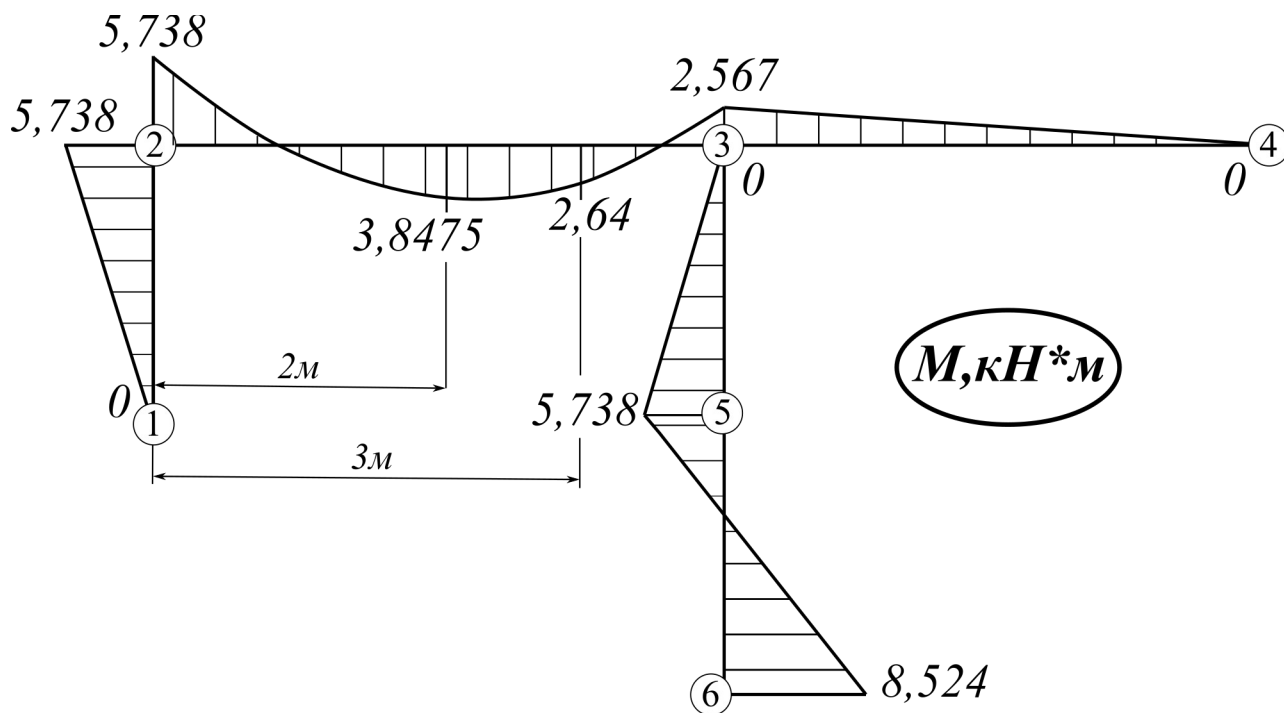


Рис.16

7. Проведём кинематическую проверку, являющуюся первой проверкой правильности расчета рамы. Она заключается в проверке равенства нулю условного

перемещения заданной системы по направлению отброшенных связей от действия на раму всех неизвестных усилий и внешней нагрузки. Для этого перемножим суммарную единичную эпюру \bar{M}_C , (см. рис.12) на окончательную эпюру изгибающих моментов M (рис.16).

$$\Delta = \sum \int_l \frac{\bar{M}_C \cdot M}{EJ} dx = 0 \Rightarrow$$

При перемножении участка 2–3 используем формулу Симпсона, для перемножения участков 1–2; 3–4; 3–5; 5–6 применяем формулу трапеции.

$$\begin{aligned} \Delta = & \frac{2}{6 \cdot EJ} (2 \cdot 0 \cdot 0 + 2 \cdot 5,738 \cdot 2 + 0 \cdot 2 + 5,738 \cdot 0) + \frac{4}{6 \cdot 1,2 EJ} (5,738 \cdot 2 - 4 \cdot 3,8475 \cdot 2,5 + 2,567 \cdot 3) + \dots \\ & \dots + \frac{4}{6 \cdot 1,2 EJ} (2 \cdot 2,567 \cdot 3 + 2 \cdot 0 \cdot 0 + 2,567 \cdot 0 + 0 \cdot 3) + \frac{2}{6 \cdot EJ} (2 \cdot 0 \cdot 0 + 2 \cdot 5,738 \cdot 2 + 0 \cdot 2 + 5,738 \cdot 0) + \dots \\ & \dots + \frac{2}{6 \cdot EJ} (2 \cdot 5,738 \cdot 2 - 2 \cdot 8,524 \cdot 4 + 5,738 \cdot 4 - 8,524 \cdot 2) \Rightarrow \Delta = -\frac{23,8331}{EJ} + \frac{23,856}{EJ} = 0,0235 \approx 0. \end{aligned}$$

Определим невязку (допускается до 5%)

$$\frac{23,856 - 23,8331}{23,8331} \cdot 100\% = 0,096\% \ll 5\%.$$

Следовательно окончательная эпюра изгибающих моментов построена правильно.

8. Строим эпюру Q . Применяем метод вырезания стержней. Последовательно вырезаем все участки рамы. К концам прикладываем известные значения моментов, с учетом их направления, а так же неизвестные поперечные силы в сечениях, которые определяем рассматривая условия равновесия стержней, см. рис.17. Поперечная сила в сечении считается положительной, если она стремится повернуть рассматриваемый стержень по часовой стрелке.

Рассмотрим равновесие стержня 1–2. см. рис. 17 а).

$$\begin{aligned} \sum M_1(\bar{F}_i) &= 0: \\ Q_2 \cdot 2 + 5,738 &= 0 \Rightarrow Q_2 = -2,869 \text{ kH}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_2(\bar{F}_i) &= 0: \\ Q_1 \cdot 2 + 5,738 &= 0 \Rightarrow Q_1 = -2,869 \text{ kH}. \end{aligned}$$

Рассмотрим равновесие стержня 2–3. см. рис. 17 б).

$$\begin{aligned} \sum M_2(\bar{F}_i) &= 0: \\ Q_3 \cdot 4 + q \cdot 4 \cdot 2 - 5,738 + 2,567 &= 0 \Rightarrow Q_3 = -7,217 \text{ kH}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_3(\bar{F}_i) &= 0: \\ Q_2 \cdot 4 - q \cdot 4 \cdot 2 - 5,738 + 2,567 &= 0 \Rightarrow Q_2 = 8,793 \text{ kH}. \end{aligned}$$

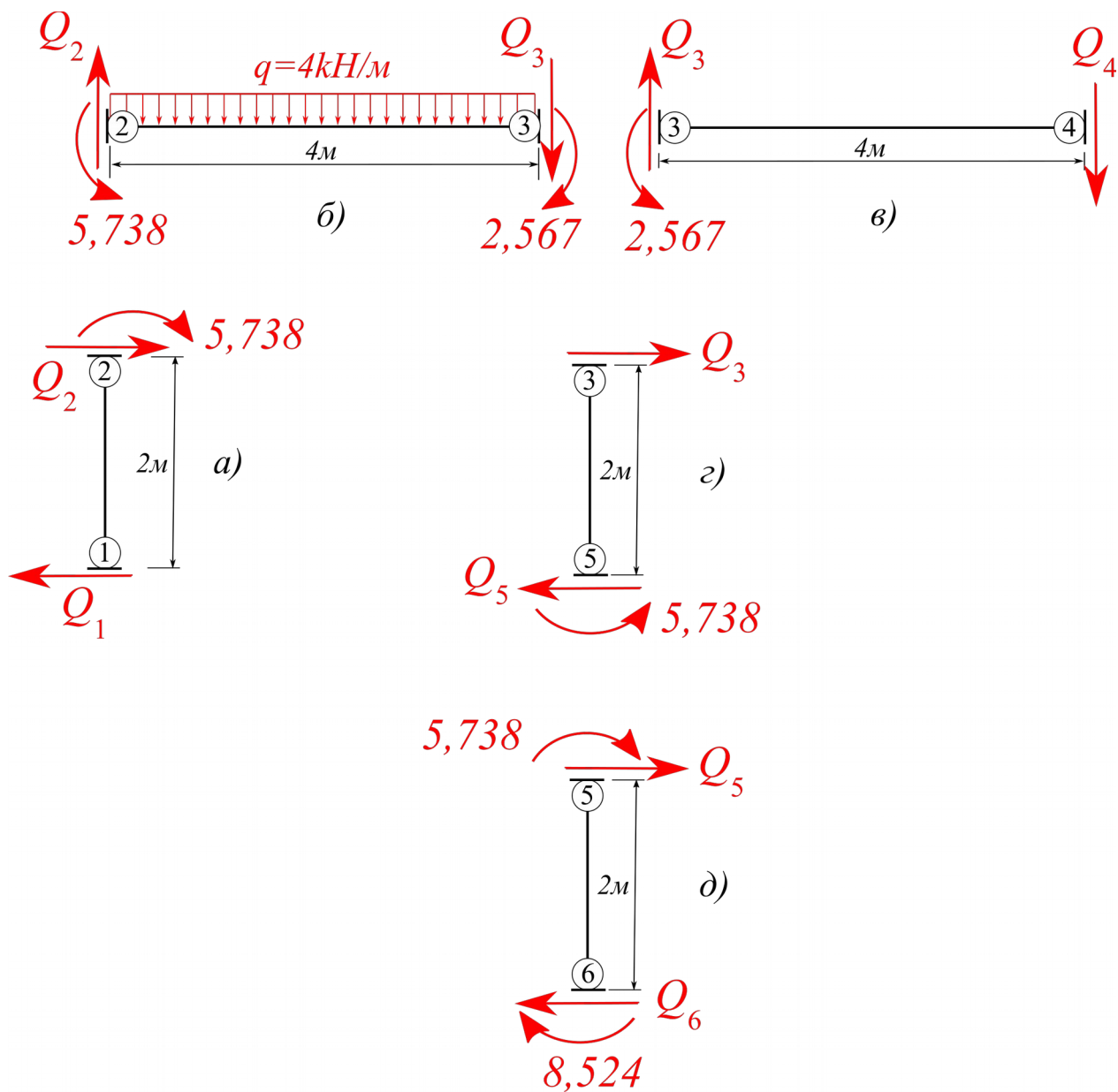


Рис.17

Рассмотрим равновесие стержня 3–4. см. рис. 17 в).

$$\sum M_3(\bar{F}_i) = 0:$$

$$Q_4 \cdot 4 - 2,567 = 0 \Rightarrow Q_4 = 0,642 \text{ kH}.$$

$$\sum M_4(\bar{F}_i) = 0:$$

$$Q_3 \cdot 4 - 2,567 = 0 \Rightarrow Q_3 = 0,642 \text{ kH}.$$

Рассмотрим равновесие стержня 3–5. см. рис. 17 г).

$$\sum M_3(\bar{F}_i) = 0:$$

$$Q_5 \cdot 2 - 5,738 = 0 \Rightarrow Q_5 = 2,869 \text{ kH}.$$

$$\sum M_5(\bar{F}_i) = 0:$$

$$Q_3 \cdot 2 - 5,738 = 0 \Rightarrow Q_3 = 2,869 \text{ kH}.$$

Рассмотрим равновесие стержня 5–6. см. рис. 17 д).

$$\sum M_5(\bar{F}_i) = 0:$$

$$Q_6 \cdot 2 + 5,738 + 8,524 = 0 \Rightarrow Q_6 = -7,131 \text{ kH}.$$

$$\sum M_6(\bar{F}_i) = 0:$$

$$Q_5 \cdot 2 + 5,738 + 8,524 = 0 \Rightarrow Q_3 = -7,131 \text{ kH}.$$

С учетом полученных значений строим эпюру поперечных сил Q , рис.18.

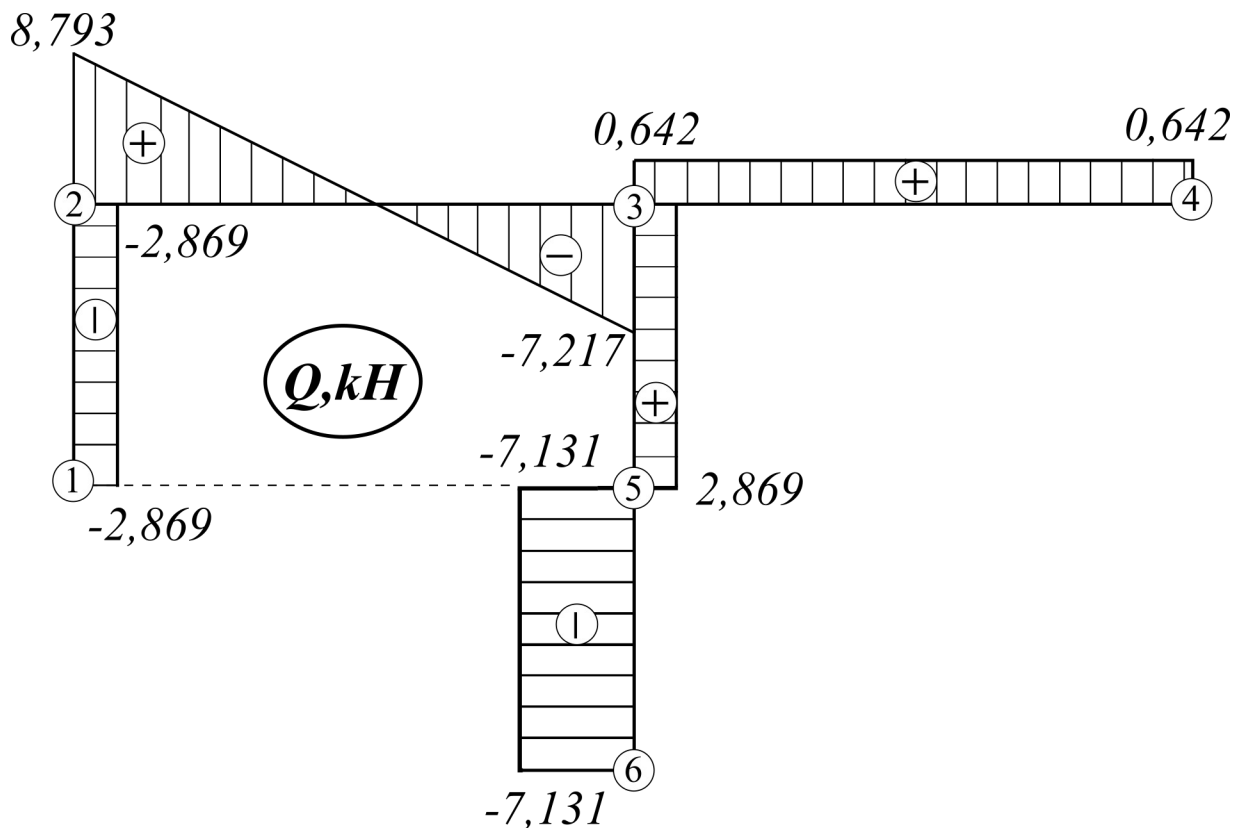


Рис.18

9. Строим эпюру внутренних продольных сил N . Вырезаем поочередно все необходимые узлы. К узлам прикладывают внешнюю сосредоточенную нагрузку, известные внутренние поперечные силы и неизвестные внутренние продольные силы, подлежащие определению (рис.19).

Внутренняя продольная сила направленная от узла считается положительной (растягивающей), к узлу - отрицательной (сжимающей).

Рассмотрим условие равновесия узла 2, рис.19 а).

$$\sum X = 0:$$

$$2,869 + N_{23} = 0 \Rightarrow N_{23} = -2,869 \text{ kH}.$$

$$\sum Y = 0:$$

$$-8,793 - N_{12} = 0 \Rightarrow N_{12} = -8,793 \text{ kH}.$$

Рассмотрим условие равновесия узла 4, рис.19 б).

$$\sum X = 0:$$

$$-N_{34} = 0 \Rightarrow N_{34} = 0 \text{ kH}.$$

$$\sum Y = 0:$$

$$0,642 - R_4 = 0 \Rightarrow R_4 = 0,642 \text{ kH}.$$

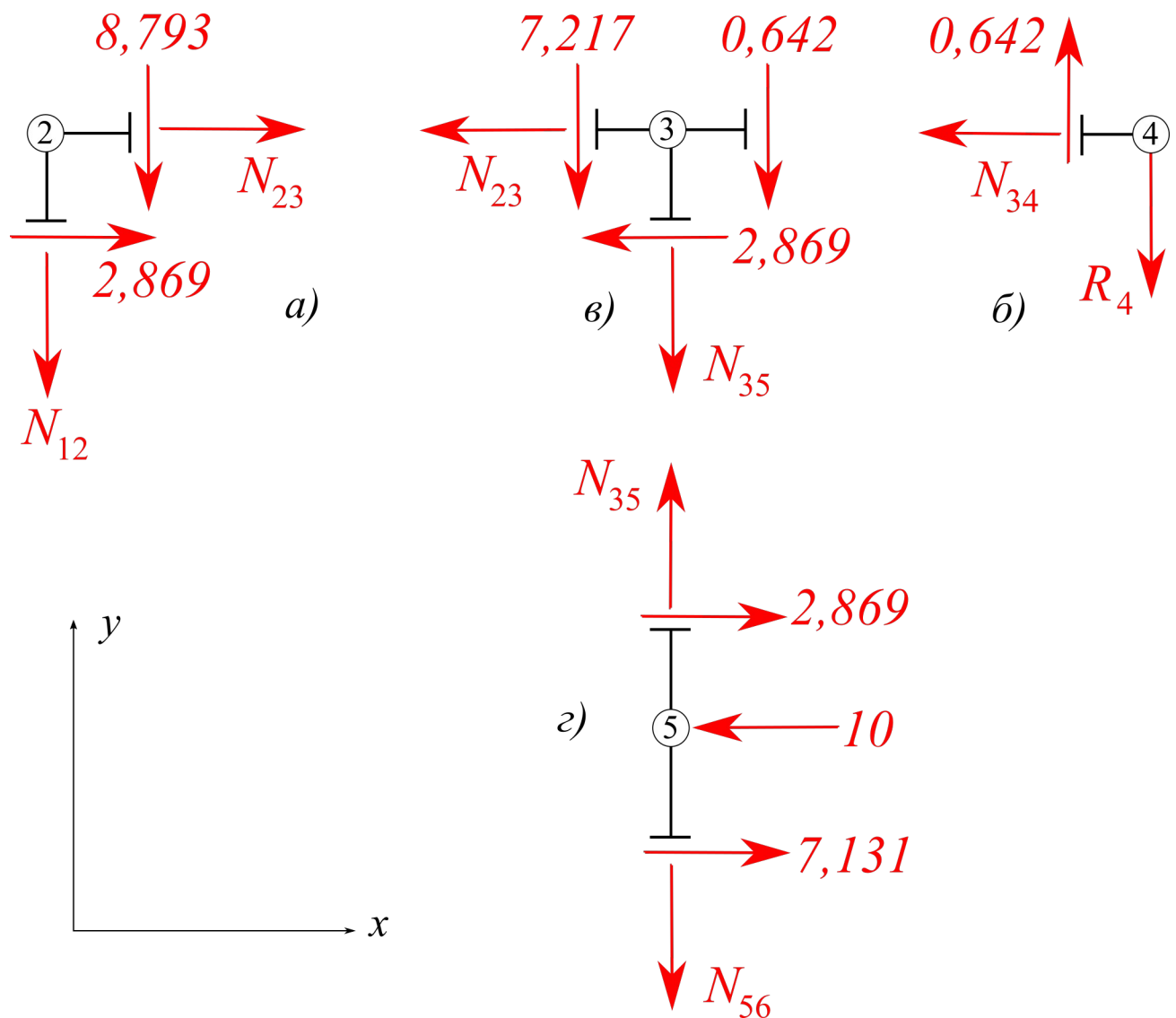


Рис.19

Рассмотрим условие равновесия узла 3, рис.19 в).

$$\sum X=0:$$

$$-N_{23}-2,896=0 \Rightarrow N_{23}=-2,896 \text{ kH} \text{ истинно.}$$

$$\sum Y=0:$$

$$-7,217-0,642-N_{35}=0 \Rightarrow N_{35}=-7,859 \text{ kH}.$$

Рассмотрим условие равновесия узла 5, рис.19 в).

$$\sum X=0:$$

$$-10+2,869+7,131=0 \Rightarrow \text{истинно.}$$

$$\sum Y=0:$$

$$N_{35}-N_{56}=0 \Rightarrow N_{56}=-7,859 \text{ kH}.$$

С учетом полученных значений строим эпюру поперечных сил N , рис.20.

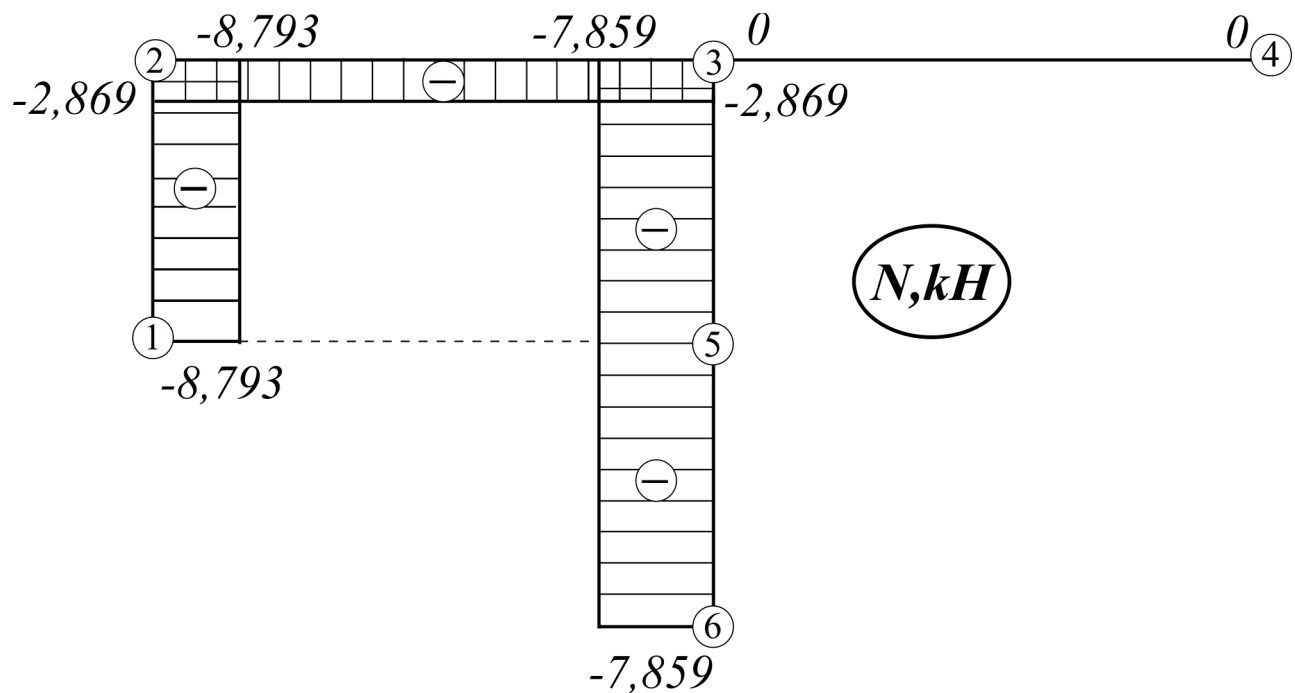


Рис.20

10. Проведем статическую проверку. Для этого проверим равновесие заданной рамы от внешней нагрузки и реакций опор, определенных по эпюрам поперечных и продольных сил.

Согласно построенных эпюр:

$V_1 = 8,793 \text{ kH}$ (направление снизу-вверх);

$H_1 = 2,869 \text{ kH}$ (направление слева-направо);

$R_4 = 0,642 \text{ kH}$ (направление сверху-вниз);

$V_6 = 7,859 \text{ kH}$ (направление снизу-вверх);

$H_6 = 7,131 \text{ kH}$ (направление слева-направо);

Выполним статическую проверку:

$$\sum X = 0:$$

$$H_1 + H_6 - 10 = 0 \Rightarrow 2,869 + 7,131 - 10 = 0 \quad \text{истинно.}$$

$$\sum Y = 0:$$

$$V_1 + V_6 - q \cdot 4 - R_4 = 0 \Rightarrow 8,793 + 7,859 - 4 \cdot 4 - 0,642 = 0,01 \approx 0.$$