

УДК 624.04 (072)

*Рекомендовано методической комиссией
мелиоративно-строительного факультета.
Протокол № 2 от 26 октября 2020 г.*

Автор:

кандидат технических наук, доцент *В.В. Дятлов*

Рецензенты:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Ю.Н. Дуброва*;
кандидат технических наук, доцент *А.К. Дубовский*

Строительная механика: методические указания и задания по выполнению контрольной работы / В.В. Дятлов, – Горки: БГСХА, 2020. – 51 с.

Приведены указания по решению задач контрольной работы, а также примерный перечень экзаменационных вопросов по основным темам курса «Строительная механика». Отдельная глава посвящена примерам выполнения задач по всем темам контрольной работы с подробными пояснениями по методике решения.

Рекомендовано для студентов заочной формы обучения специальностей 1-74 05 01 – мелиорация и водное хозяйство и 1-74 04 01 – сельское строительство и обустройство территорий.

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2020

ВВЕДЕНИЕ

Строительная механика изучает методы расчета инженерных конструкций и сооружений на прочность, жесткость и устойчивость при различных внешних воздействиях. Поэтому для студентов инженерно-строительных специальностей изучение этой общетехнической дисциплины имеет очень важное значение.

Настоящие указания и контрольные задания подготовлены с целью оказания помощи студентам-заочникам указанных специальностей в освоении методов расчета инженерных сооружений и соответствуют рабочему учебному плану, которым предусмотрено выполнение одной контрольной работы.

Задания контрольной работы составлены согласно типовой учебной программе дисциплины «Строительная механика» и содержат задачи по следующим темам:

1. Расчет статически определимой многопролетной балки;
2. Расчет плоских балочных ферм на подвижную и неподвижную нагрузки;
3. Расчет статически неопределимой арки;
4. Расчет плоской статически неопределимой рамы методом сил;
5. Расчет статически неопределимой рамы методом перемещений;
6. Расчет подпорной стены.

Исходные данные для выполнения контрольной работы выбираются из таблиц исходных данных, а расчетные схемы к задачам представлены на соответствующих рисунках.

Основным видом занятий студентов заочной формы обучения является самостоятельная работа с учебной, справочной и нормативной литературой.

Изучение дисциплины рекомендуется вести по темам в указанной выше очередности. Для лучшего усвоения материала следует составлять конспект. После изучения материала по учебнику рекомендуется решить задачу по данной теме, а затем выполнить контрольное задание.

1. ТРЕБОВАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Числовые данные для решения задач контрольной работы выбираются студентом из таблиц исходных данных по варианту, номер которого соответствует трем последним цифрам личного шифра студента (номера зачетной книжки). При этом каждая цифра номера варианта обозначается соответственно буквами а, б, в. Каждый столбец в таблицах исходных данных обозначен одной из этих букв (нижняя строчка). В столбце выбирается значение параметра по строке, номер которой совпадает с цифровым значением соответствующей буквы.

Например, при номере зачетной книжки 05-5316 шифром для выбора исходных данных будет число 316. Далее обозначают первую цифру буквой «а», вторую – «б» и третью – «в» (в примере 3 – а, 1 – б, 6 – в). Для первой задачи в табл. 1 второй столбец – линейный размер "а" в метрах, обозначен буквой «а». По третьей командной строке имеем $a = 1$ м. Третий столбец обозначен буквой «б», тогда по первой строке линейный размер $h = 3$ м. Четвертый столбец обозначен буквой «в», по шестой строке линейный размер $s = 3$ м и т.д.

2. Контрольную работу следует выполнять в отдельной тетради с полями, оставленными для замечаний рецензента. На обложке тетради должны быть четко написаны название дисциплины контрольной работы, фамилия, имя, отчество студента, название факультета и специальности, учебный шифр, точный почтовый адрес. Страницы тетради нумеруются.

3. Решение каждой задачи начинают с новой страницы. Перед выполнением задания необходимо записать условие, выбранное в соответствии с вариантом исходных данных, вычертить расчетную схему в масштабе с указанием всех размеров, числовых данных и координатных осей, используемых в расчете. Нагрузки на расчетной схеме показывают в соответствии с их действительными направлениями.

4. При выполнении задачи сначала следует наметить ход решения, указать те допущения, которые могут быть положены в его основу, а затем произвести расчет. Все необходимые вычисления по возможности сначала проделать в общем виде, обозначив все данные и искомые величины буквами, а затем вместо буквенных обозначений поставить числовые значения и найти результат. Расчеты следует выполнять последовательно, теоретически обоснованно с необходимыми пояснениями и достаточно подробно. При выполнении расчетов необходимо

указывать литературу с отметкой страниц, таблиц, графиков, откуда взяты расчетные формулы и другие величины справочного характера.

5. Все расчеты должны производиться в единицах СИ. Эпюры необходимо вычерчивать под расчетной схемой на одной странице с указанием размерности и всех характерных ординат. Вычисления следует вести с обычной в технических расчетах точностью (до 5 %).

6. В конце контрольной работы необходимо привести список использованной литературы, поставить дату выполнения и личную подпись. После рецензирования контрольной работы на кафедре в соответствии с замечаниями рецензента необходимо внести требуемые исправления. Исправления выполняются в конце тетради на чистых листах после заголовка «Исправления к контрольной работе». Работы, оформленные с нарушением требований, а также выполненные не по своему варианту, не рассматриваются и возвращаются для переделки.

2. УСЛОВИЯ, АЛГОРИТМЫ И ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Рассчитать статически определимую многопролетную балку, принятую по данным табл. 1 и схемы, показанной на рис. 1.

Алгоритм решения задачи:

1. Проанализировать расчетную схему заданной балки на предмет ее статической определимости и геометрической неизменяемости, для чего, как правило, следует составить ее поэтажную схему;

2. Определить опорные реакции заданной балки, составляя уравнения статики для простых балок из поэтажной схемы. При этом расчеты принято начинать с второстепенных балок высшего порядка;

3. Построить эпюры поперечных сил Q и изгибающих моментов M при загрузении балки сосредоточенной силой F и равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q . Рациональнее это выполнять, поочередно рассматривая простые балки из поэтажной схемы;

4. Построить линии влияния опорных реакций, а также линии влияния поперечной силы Q и изгибающего момента M для заданного сечения;

5. Определить по линиям влияния величину опорных реакций, а также значения поперечной силы Q и изгибающего момента M в сечении m от заданной внешней нагрузки.

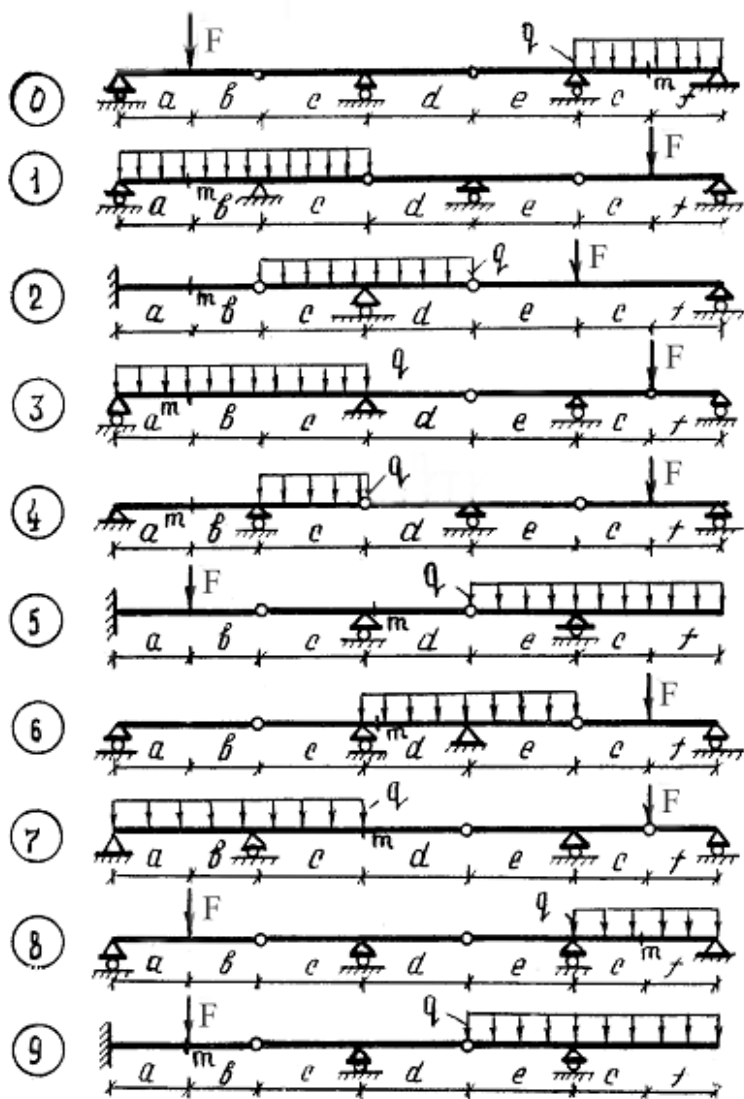


Рис. 1. Расчетные схемы к задаче 1.

Т а б л и ц а 1. Исходные данные к задаче 1

Номер строки	a, м	b, м	c, м	d, м	e, м	f, м	q, кН/м	F, кН	Номер расчетной схемы
0	2	1	4	3	2	1	20	20	0
1	4	3	2	1	3	3	10	10	1
2	3	4	3	2	5	2	30	30	2
3	1	2	1	2	1	4	40	40	3
4	2	5	5	3	4	1	10	10	4
5	5	2	4	1	2	4	20	20	5
6	1	1	3	2	5	2	50	50	6
7	4	3	2	3	2	1	30	30	7
8	3	4	5	1	3	5	20	20	8
9	5	5	1	4	4	3	40	40	9
***	a	б	в	а	б	в	а	б	в

Пример решения задачи 1.

Анализируем схему заданной балки (рис. 2). Она составная и статически определимая, так как степень статической неопределимости

$$N = R - S - H = 5 - 3 - 2 = 0,$$

где R – количество реакций в опорах балки;

S – число возможных уравнений статики для плоской системы;

H – число промежуточных шарниров на балке.

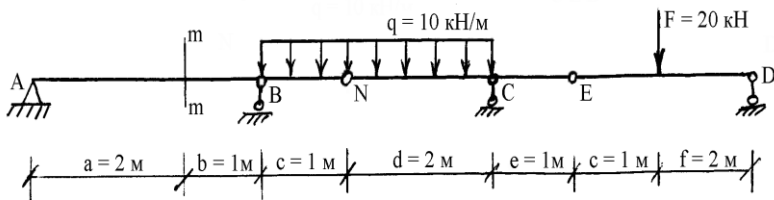


Рис. 2. Расчетная схема заданной балки.

Следовательно, для упрощения расчета такой балки следует составить ее поэтажную схему (рис. 6, б).

Определяем опорные реакции для простых балок, принятых из поэтажной схемы (рис.3,4,5).

Балка ЕД.

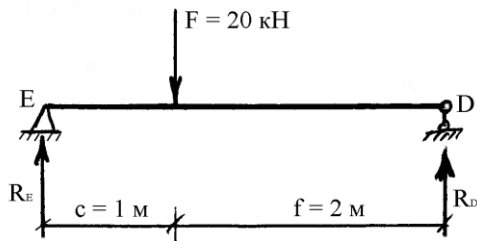


Рис. 3. Расчетная схема простой балки ЕД.

$$\Sigma M_E = 0; \quad F \cdot c - R_D (c + f) = 0; \quad R_D = \frac{F \cdot c}{c + f} = \frac{20 \cdot 1}{3} = 6,7 \text{ кН};$$

$$\Sigma M_D = 0; \quad F \cdot f - R_E (c + f) = 0; \quad R_E = \frac{F \cdot f}{c + f} = \frac{20 \cdot 2}{3} = 13,3 \text{ кН}.$$

Балка NC.

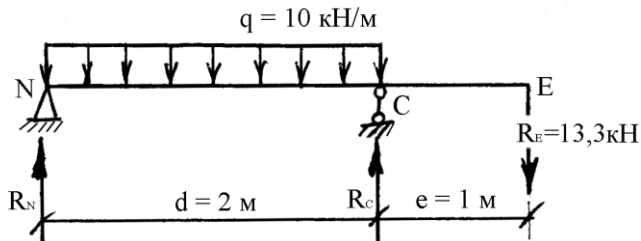


Рис. 4. Расчетная схема простой балки NC.

$$\Sigma M_N = 0; \quad q \cdot \frac{d^2}{2} - R_C \cdot d + R_E (d + e) = 0;$$

$$R_C = \frac{q \cdot \frac{d^2}{2} + R_E (d + e)}{d} = \frac{10 \cdot \frac{2^2}{2} + 13,3 \cdot 3}{2} = 30 \text{ кН};$$

$$\Sigma M_C = 0; \quad q \cdot \frac{d^2}{2} - R_N \cdot d - R_E \cdot e = 0;$$

$$R_N = \frac{q \cdot \frac{d^2}{2} - R_E \cdot e}{d} = \frac{10 \cdot \frac{2^2}{2} - 13,3}{2} = 3,35 \text{ кН.}$$

Балка АВ.

$$\Sigma M_A = 0; \quad R_B (a+b) - q \cdot c (a+b + \frac{c}{2}) - R_F (a+b+c) = 0;$$

$$R_B = \frac{q \cdot c (a+b + \frac{c}{2}) + R_F (a+b+c)}{a+b} = \frac{10 \cdot 3,5 + 3,35 \cdot 4}{3} = 16,1 \text{ кН.}$$

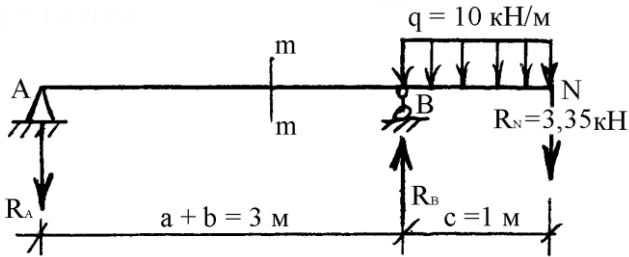


Рис. 5. Расчетная схема простой балки АВ.

$$\Sigma M_B = 0; \quad -q \cdot \frac{c^2}{2} - R_F \cdot c + R_A (a+b) = 0;$$

$$R_A = \frac{q \cdot \frac{c^2}{2} + R_F \cdot c}{a+b} = \frac{10 \cdot \frac{1^2}{2} + 3,35 \cdot 1}{3} = 2,8 \text{ кН.}$$

Строим эпюры М и Q, причем эпюру изгибающих моментов будем строить со стороны растянутых волокон балки.

Это можно выполнить двумя путями: либо рассматривать заданную (нерасчлененную) схему многопролетной балки, показав на ней полученные ранее значения и направления опорных реакций, либо строить

эпюры Q и M для простых балок из поэтажной схемы на одной базовой линии (см. рис. 6).

$$\begin{aligned} \text{Сечение 1-1} \quad & 0 \leq x_1 \leq 3 \text{ м}; \\ & Q_{1-1} = -R_A; \quad Q_{1-1} = -2,8 \text{ кН.} \\ M_{1-1} = -R_A \cdot x_1; \quad & M_{x_1=0} = 0; \quad M_{x_1=3} = -8,4 \text{ кНм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Сечение 2-2} \quad & 3 \text{ м} \leq x_2 \leq 6 \text{ м}; \\ & Q_{2-2} = -R_A + R_B - q \cdot (x_2 - 3); \\ Q_{x_2=3} = -2,8 + 16,1 = 13,3 \text{ кН}; \\ & Q_{x_2=6} = -2,8 + 16,1 - 10 \cdot 3 = -16,7 \text{ кН.} \\ M_{2-2} = -R_A \cdot x_2 + R_B \cdot (x_2 - 3) - q \cdot \frac{(x_2 - 3)^2}{2}; \\ & M_{x_2=3} = -8,4 \text{ кНм}; \\ M_{x_2=6} = -2,8 \cdot 6 + 16,1 \cdot 3 - 10 \cdot \frac{3^2}{2} = -13,5 \text{ кНм}; \\ & -R_A + R_B - q \cdot (x_3 - 3) = 0; \\ x - 3 = \frac{-R_A + R_B}{q} = \frac{-2,8 + 16,1}{10} = 1,33 \text{ м}; \\ & x_3 = 4,33 \text{ м.} \\ M_{\max} = -2,8 \cdot 4,33 + 16,1 \cdot 1,33 - 10 \cdot \frac{1,33^2}{2} = 0,7 \text{ кНм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Сечение 3-3} \quad & 0 \leq x_3 \leq 2 \text{ м}; \\ & Q_{3-3} = -R_D = -6,7 \text{ кН.} \\ M_{3-3} = R_D \cdot x_3; \quad & M_{x_3=0} = 0; \quad M_{x_3=2} = 13,3 \text{ кНм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Сечение 4-4} \quad & 2 \text{ м} \leq x_4 \leq 4 \text{ м}; \\ & Q_{4-4} = -R_D + F; \quad Q_{4-4} = 13,3 \text{ кН.} \\ M_{4-4} = R_D \cdot x_4 - F \cdot (x_4 - 2); \\ M_{x_4=2} = 13,3 \text{ кНм}; \quad & M_{x_4=4} = 6,7 \cdot 4 - 20 \cdot 2 = -13,5 \text{ кНм.} \end{aligned}$$

Строим линии влияния опорных реакций, а также линии влияния M и Q в заданном сечении m-m (рис. 7).

При построении линий влияния следует учитывать то обстоятельство, что движение единичного груза по простым балкам поэтажной схемы действует на изменение искомых силовых факторов (реактивных или внутренних) по-разному, в зависимости от того, где расположено заданное сечение – на основной балке или на вспомогательной.

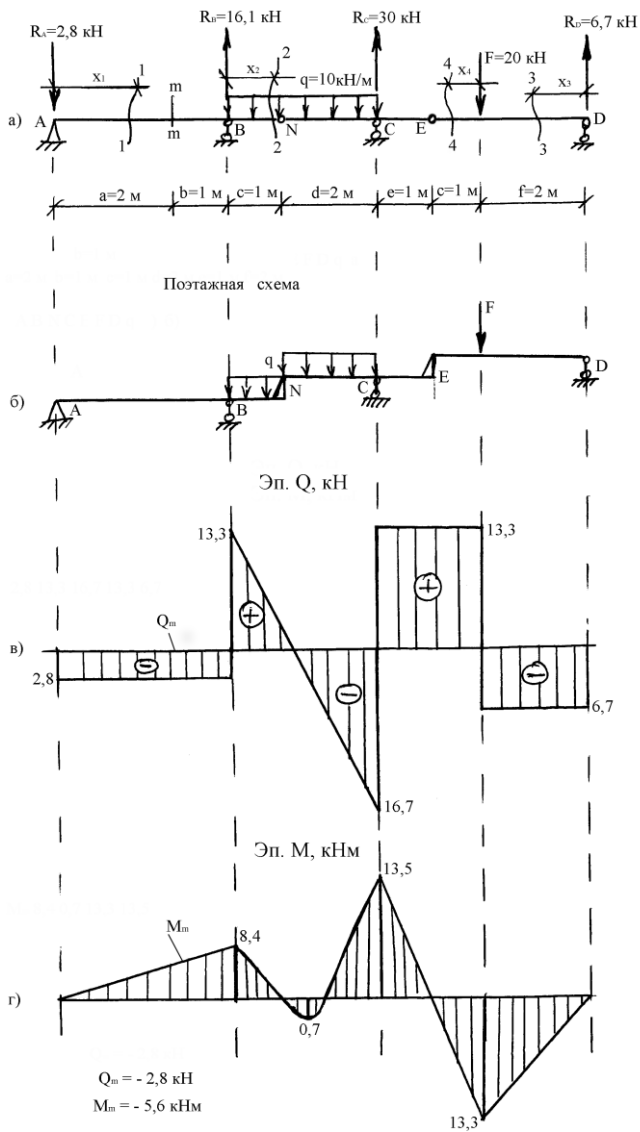


Рис. 6. Расчетные схемы балки, эпюры Q и M.

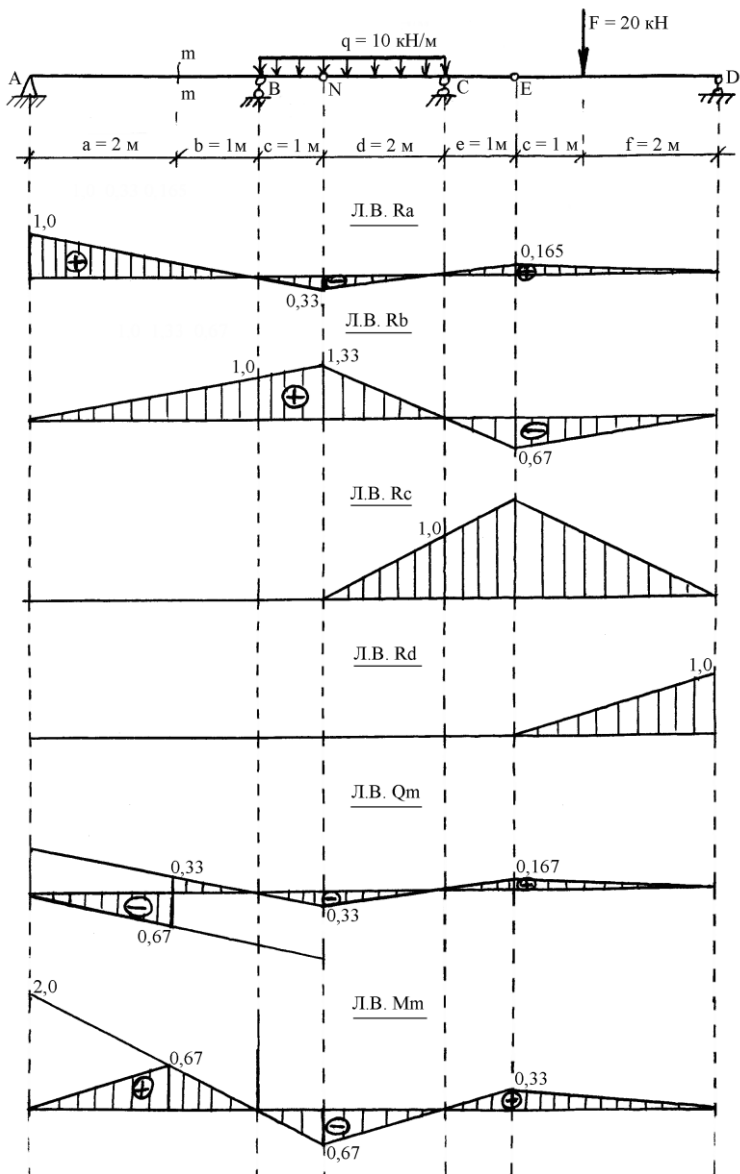


Рис. 7. Линии влияния опорных реакций и внутренних силовых факторов Q и M в сечении m-m балки.

Загружаем построенные линии влияния заданной внешней нагрузкой и находим значение реакций, а также значения Q_m и M_m . Все силовые факторы, и внешние и внутренние, определяют по линиям влияния с помощью выражения

$$S_i = \Sigma(q \cdot \omega_i + F \cdot y_i),$$

где ω_i – площадь участка линии влияния, расположенного под распределенной нагрузкой q ;

y_i – ордината линии влияния, расположенная под сосредоточенной силой F .

$$R_A = 10 \left(-\frac{1}{2} \cdot 0,33 \cdot 3 \right) + \frac{2}{3} \cdot 0,165 \cdot 20 = -2,8 \text{ кН.}$$

$$R_B = 10 \left(\frac{1+1,33}{2} \cdot 1,0 + \frac{1}{2} \cdot 1,33 \cdot 2 \right) - \frac{2}{3} \cdot 0,67 \cdot 20 = 16,1 \text{ кН.}$$

$$R_C = 10 \left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 1 \right) + 20 \cdot 1 = 30 \text{ кН.}$$

$$R_D = \frac{1}{3} \cdot 20 = 6,7 \text{ кН.}$$

$$Q_m = -10 \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot 3 \right) + \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{6} \cdot 20 = -2,8 \text{ кН.}$$

$$M_m = 10 \left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 \right) + 20 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} = -5,6 \text{ кНм.}$$

Задача 2. Рассчитать плоскую балочную ферму на подвижную и неподвижную нагрузки, принятую по данным табл. 2 и схемы, показанной на рис. 8, 9, 10.

Алгоритм решения задачи:

1. Построить линии влияния усилий в стержнях для указанной панели (счет начинать с единицы) фермы, считая слева (отсчет панелей вести по поясу, по которому движется груз). Пояс, по которому движется груз, отмечен на схеме пунктиром;

2. Для построенных линий влияния усилий определить критическое положение нагрузки и вычислить значение усилий в этих стержнях;

3. Из линий влияния усилий, рассмотренных в пункте 2, выбрать линию влияния, дающую большее усилие, сохранить на

ферме критическое положение грузов для получения этого усилия и разнести их на ближайшие узлы пояса, по которому грузы передвигаются;

4. Для фермы с узловыми нагрузками, полученными по пункту 3, построить диаграмму Максвелла-Кремоны и определить по ней усилия во всех стержнях фермы;

5. Сравнить усилие, вычисленное в стержне, выбранном согласно пункту 3, с усилием, полученным в нем же по диаграмме Максвелла-Кремоны. Схема нагрузки представлена на рис. 8.

Т а б л и ц а 2. Исходные данные к задаче 2

Номер строки	Длина панели d, м	Высота фермы h, м	Номер панели	Номер расчетной схемы
0	8	4	3	0
1	6	5	4	1
2	7	6	5	2
3	6	4	3	3
4	8	5	4	4
5	5	5	3	5
6	4	6	2	6
7	7	4	4	7
8	6	6	3	8
9	8	5	5	9
***	б	а	б	в

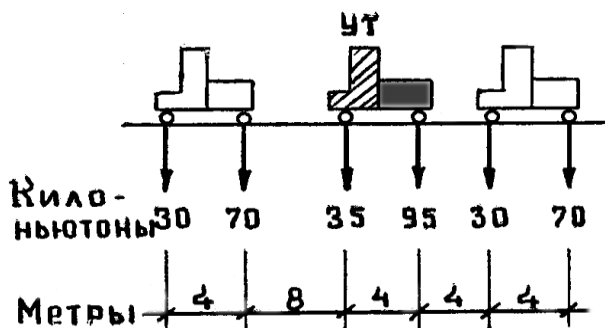


Рис. 8. Расчетная схема подвижной нагрузки к задаче 2.

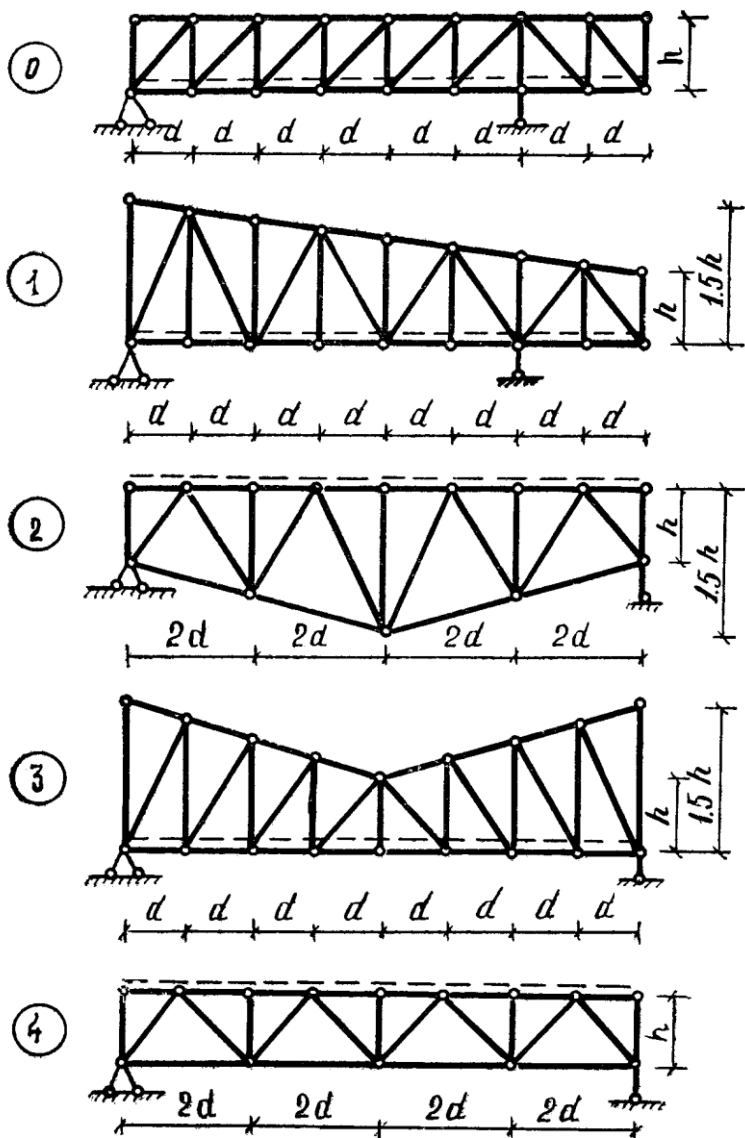


Рис. 9. Расчетные схемы к задаче 2.

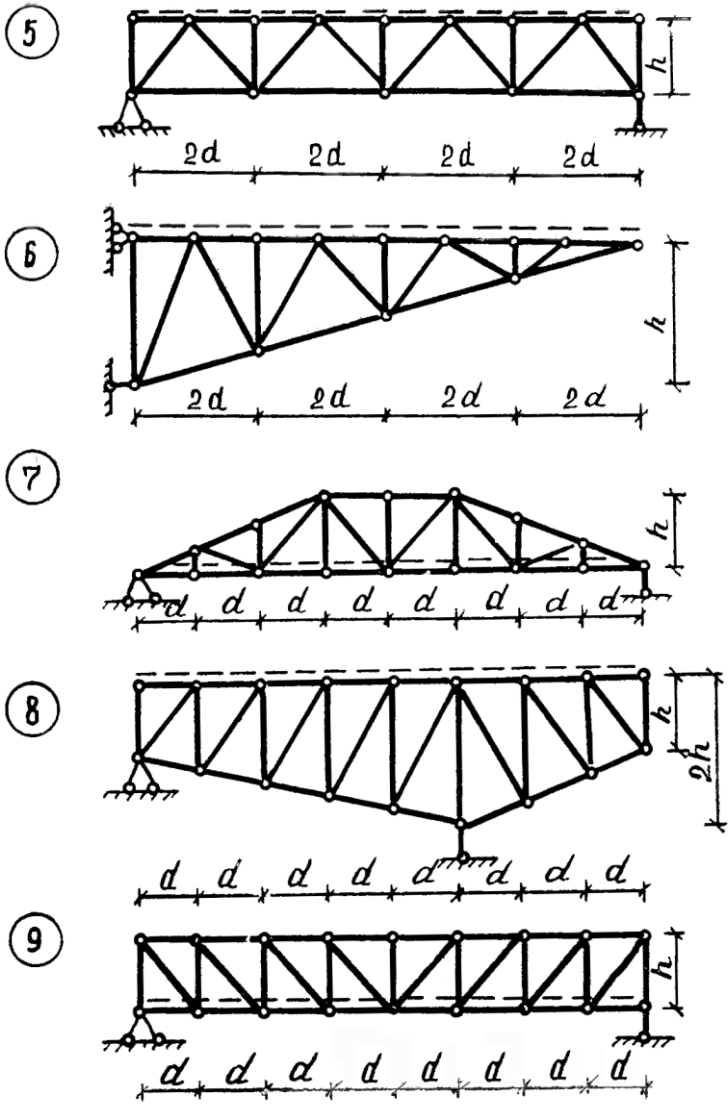


Рис. 10. Расчетные схемы к задаче 2.

Пример решения задачи 2.

Строим линии влияния опорных реакций и линии влияния усилий в стержнях второй панели и примыкающей к ней справа стойке. Полученные линии влияния представлены на рис. 11.

Л.в. S₂₋₃

Левая ветвь. Груз слева. Рассматриваем равновесие правой части.

$$\Sigma M_{12} = 0; \quad S_{2-3} \cdot h + R_B \cdot 6d = 0;$$

$$S_{2-3} = -\frac{R_B \cdot 6d}{h} = -\frac{6 \cdot 5}{5} \cdot R_B = -6 R_B.$$

Правая ветвь. Груз справа. Рассматриваем равновесие левой от сечения части фермы.

$$\Sigma M_{12} = 0; \quad S_{2-3} \cdot h + R_A \cdot 2d = 0;$$

$$S_{2-3} = -\frac{R_A \cdot 2d}{h} = -\frac{R_A \cdot 2 \cdot 5}{5} = -2 R_A.$$

Ставим на этой линии влияния грузы в опасное положение. Условия невыгодного положения следующие:

$$\leftarrow F_{л} + F_{кр} > F \cdot \frac{a}{l};$$

$$\rightarrow F_{л} < F \cdot \frac{a}{l};$$

$$\leftarrow 35 + 95 = 130 > 360 \cdot \frac{2d}{8d} = 90;$$

$$\rightarrow 35 < 360 \cdot \frac{2d}{8d} = 90. \quad \text{Условия выполняются.}$$

Найдем усилие в этом стержне, используя выражение

$$S_i = \Sigma F_i \cdot y_i;$$

$$S_{2-3} = - (35 \cdot 0,9 + 95 \cdot 1,5 + 30 \cdot 1,3 + 70 \cdot 1,1 + 30 \cdot 0,7 + 70 \cdot 0,5 + 30 \cdot 0,1) = -349 \text{ кН.}$$

Л.в. S₂₋₁₂

Левая ветвь. Груз слева.

$$\Sigma F_y = 0; \quad S_{2-12} \cdot \sin \alpha - R_B = 0; \quad S_{2-12} = -\frac{R_B \cdot 2d}{\sin \alpha};$$

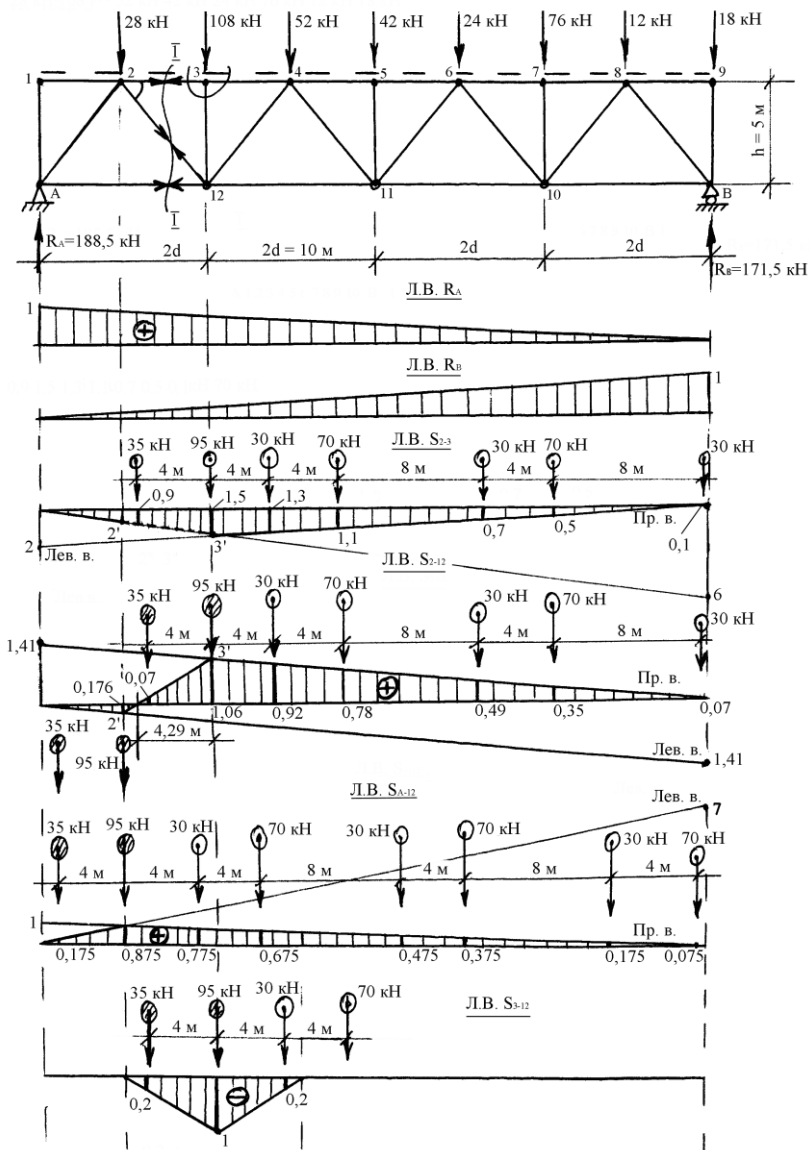


Рис. 11. Расчетная схема фермы, линии влияния усилий в стержнях.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{d} = \frac{5}{5} = 1; \quad \alpha = 45^\circ;$$

$$\sin \alpha = 0,71; \quad S_{2-12} = -1,41 R_B.$$

Правая ветвь. Груз справа.

$$\Sigma F_y = 0; \quad -S_{2-12} \cdot \sin \alpha + R_A = 0;$$

$$S_{2-12} = \frac{R_A}{\sin \alpha} = 1,41 R_A.$$

Ставим грузы по участкам линии влияния в опасное положение.

$$\leftarrow 35 + 95 = 130 > 360 \cdot \frac{4,29}{34,29} = 45,04 \text{ êÍ};$$

$$\rightarrow 35 < 360 \cdot \frac{4,29}{34,29} = 45,04 \text{ кН.}$$

$$S_{2-12} = 35 \cdot 0,07 + 95 \cdot 1,06 + 30 \cdot 0,92 + 70 \cdot 0,78 + 30 \cdot 0,49 + 70 \cdot 0,35 + 30 \cdot 0,07 = 226,65 \text{ кН.}$$

Л.в. S_{A-12}

Левая ветвь. Груз слева.

$$\Sigma M_2 = 0; \quad S_{A-12} \cdot h - 7d \cdot R_B = 0;$$

$$S_{A-12} = \frac{7d \cdot R_B}{h} = \frac{7 \cdot 5}{5} \cdot R_B = 7R_B.$$

Правая ветвь. Груз справа.

$$\Sigma M_2 = 0; \quad S_{A-12} \cdot h - R_A \cdot d = 0;$$

$$S_{A-12} = \frac{d}{h} \cdot R_A = R_A.$$

Ставим грузы по этой линии влияния в опасное положение.

$$\leftarrow 35 + 95 = 130 > 430 \cdot \frac{d}{8d} = 53,75 \text{ кН};$$

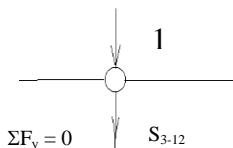
$$\rightarrow 35 < 53,75 \text{ кН.}$$

$$S_{A-12} = 35 \cdot 0,175 + 95 \cdot 0,875 + 30 \cdot 0,775 + 70 \cdot 0,675 + 30 \cdot 0,475 + 70 \cdot 0,375 + 30 \cdot 0,175 + 70 \cdot 0,075 = 210,75 \text{ кН.}$$

Л.в. S₃₋₁₂

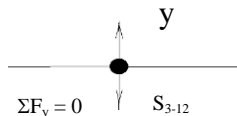
Вырезаем узел 3.

Груз в узле.



$$S_{3-12} = -1$$

Груз вне узла.



$$S_{3-12} = 0$$

Ставим грузы по этой линии влияния в опасное положение.

$$\leftarrow 35 + 95 = 130 > 160 \cdot \frac{d}{2d} = 80 \text{ кН};$$

$$\rightarrow 35 < 80 \text{ кН}.$$

$$S_{3-12} = -(95 \cdot 1 + 35 \cdot 0,2 + 30 \cdot 0,2) = -108 \text{ кН}.$$

Наибольшее усилие в стержне верхнего пояса. Сохраняем положение грузов для получения этого усилия и разносим грузы по узлам верхнего пояса фермы.

Определяем опорные реакции:

$$\Sigma M_A = 0; \quad 28 \cdot d + 108 \cdot 2d + 52 \cdot 3d + 42 \cdot 4d + 24 \cdot 5d + 76 \cdot 6d + 12 \cdot 7d + 18 \cdot 8d - R_B \cdot 8d = 0;$$

$$R_B = \frac{28 + 108 \cdot 2 + 52 \cdot 3 + 42 \cdot 4 + 24 \cdot 5 + 76 \cdot 6 + 12 \cdot 7 + 18 \cdot 8}{8} = 171,5 \text{ кН}.$$

$$\Sigma M_B = 0; \quad 12 \cdot d + 76 \cdot 2d + 24 \cdot 3d + 42 \cdot 4d + 52 \cdot 5d + 108 \cdot 6d + 28 \cdot 7d - R_A \cdot 8d = 0;$$

$$R_A = \frac{12 + 76 \cdot 2 + 24 \cdot 3 + 42 \cdot 4 + 52 \cdot 5 + 108 \cdot 6 + 28 \cdot 7}{8} = 188,5 \text{ кН}.$$

Для фермы с полученными узловыми нагрузками строим диаграмму Максвелла-Кремоны и находим усилия во всех стержнях фермы (рис. 12).

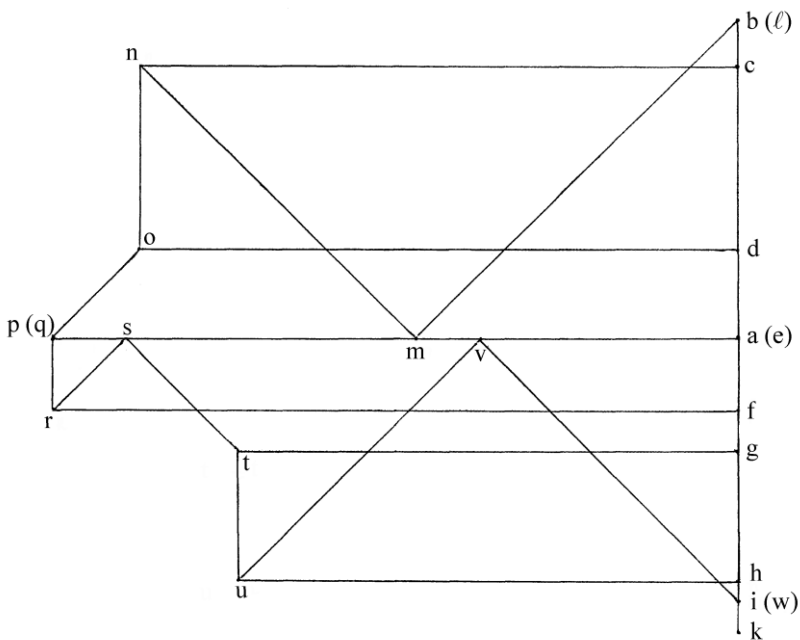
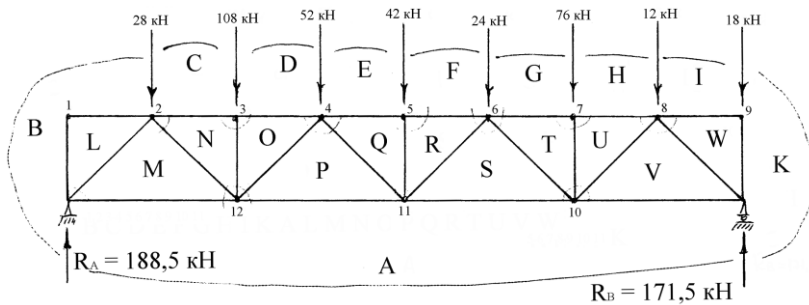


Рис. 12. Расчетная схема фермы, диаграмма Максвелла-Кремоны.

Задача 3. Методом сил рассчитать двухшарнирную статически неопределимую арку, очерченную по уравнению квадратичной параболы

$$y = \frac{4f}{\ell^2}(\ell - x) \cdot x,$$

по данным табл. 3 и схемы, показанной на рис. 13.

Алгоритм решения задачи:

1. Установить степень статической неопределимости двухшарнирной арки и выбрать основную систему метода сил;
2. Составить расчетные канонические уравнения метода сил, определить коэффициенты и свободные члены полученных уравнений;
3. Определить лишние неизвестные;
4. Определить опорные реакции, изгибающий момент, продольную и поперечную силы в заданном сечении n - n .

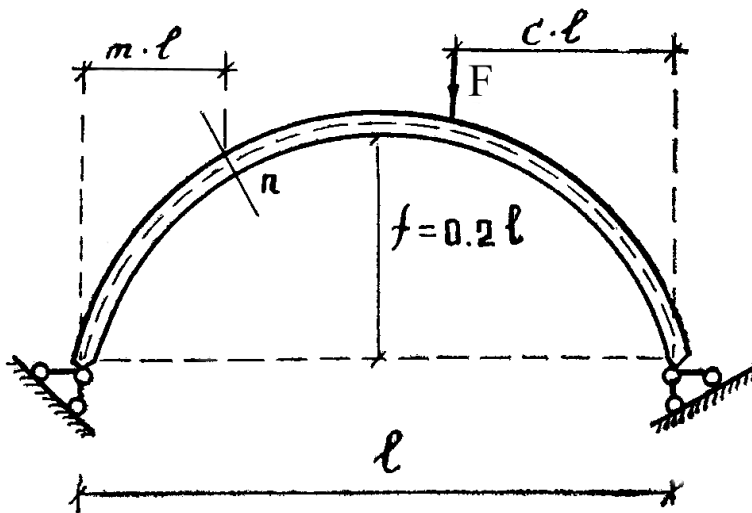


Рис. 13. Расчетная схема к задаче 3.

Указания к решению задачи:

1. Сплошная двухшарнирная арка описана по уравнению квадратичной параболы

$$y = \frac{4f}{\ell^2} \cdot x (\ell - x),$$

где ℓ – пролёт арки, м;

f – стрела подъема арки, равная $0,2\ell$, м;

x – абсцисса сечения, отсчитываемая от левой опоры, м.

2. Согласно заданной расчетной схеме (рис. 13), нагрузка приложена к арке на расстоянии $s\ell$, отсчитываемом от правой опоры;

3. Жесткость арки принять постоянной, т.е. $EI = \text{const}$;

4. Для арки со стрелой подъема $f = 0,2\ell$ при вычислении перемещений можно пренебречь влиянием продольной силы, а бесконечно малый элемент ds принять равным его проекции на ось x , т.е. $ds = dx$;

5. Так как продольная ось арки плавная кривая, то коэффициенты и свободные члены канонических уравнений метода сил следует определять методом непосредственного интегрирования с помощью интеграла Мора.

Т а б л и ц а 3. Исходные данные к задаче 3

Номер строки	Пролет ℓ , м	F, кН	s	m
0	20	100	0,4	0,2
1	30	150	0,3	0,8
2	40	300	0,8	0,3
3	50	250	0,4	0,6
4	20	150	0,6	0,2
5	40	250	0,3	0,4
6	35	60	0,4	0,7
7	25	80	0,2	0,6
8	45	40	0,6	0,4
9	35	50	0,3	0,3
***	б	а	б	в

Пример решения задачи 3.

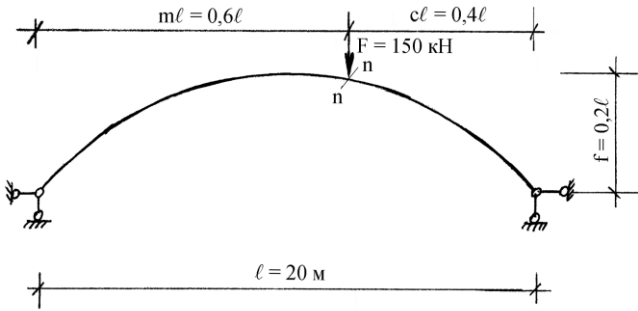


Рис. 14. Расчетная схема заданной арки.

Определяем степень статической неопределенности арки (рис. 14)

$$N = R - S - H = 4 - 3 - 0 = 1.$$

Выбираем для заданной расчетной схемы арки основную систему метода сил (рис. 15).

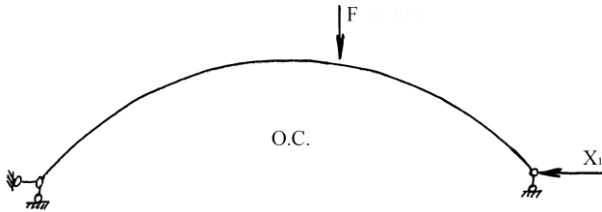


Рис. 15. Основная система для арки.

Каноническое уравнение метода сил имеет следующий вид:

$$x_1 \delta_{11} + \Delta_{1F} = 0.$$

Единичное и грузовое перемещения находим методом непосредственного интегрирования с помощью интеграла Мора (рис. 16,17):

$$\delta_{11} = \sum_s \int M_i \bar{M}_i \frac{dS}{EI};$$

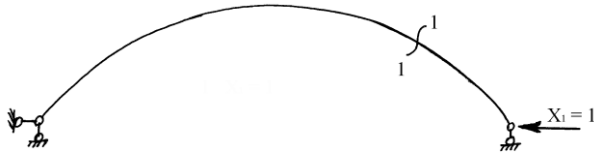


Рис. 16. Единичная расчетная схема арки.

$$\bar{M}_i = -1 \cdot y; \quad y = \frac{4f}{\ell^2} x \cdot (\ell - x);$$

$$\bar{M}_i = -1 \cdot \frac{4f}{\ell^2} x (\ell - x);$$

$$\delta_{11} = \int_0^{\ell} \bar{M}_i^2 \frac{dx}{EI} = \int_0^{\ell} \left(\frac{4f}{\ell^2} x (\ell - x) \right)^2 \frac{dx}{EI} = \frac{16f^2}{\ell^4 EI} \cdot \int_0^{\ell} x^2 (\ell - x)^2 dx = \frac{8f^2 \ell}{15EI}.$$

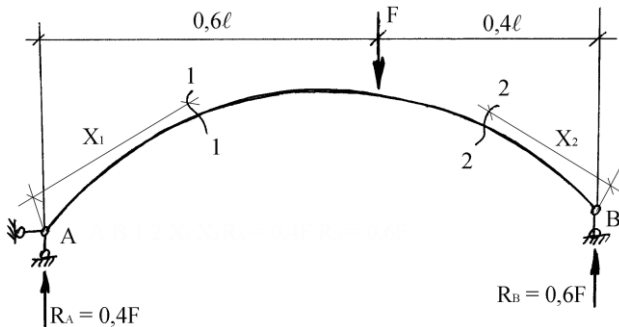


Рис. 17. Грузовая расчетная схема арки.

$$\begin{aligned} M_{11} &= R_A \cdot x_1 = 0,4F \cdot x_1; & 0 \leq x_1 \leq 0,6\ell; \\ M_{22} &= R_B \cdot x_2 = 0,6F \cdot x_2; & 0 \leq x_2 \leq 0,4\ell; \end{aligned}$$

$$\Delta_{1F} = \int_0^{0,6\ell} \bar{M}_{11} \cdot M_F \frac{dx}{EI} + \int_0^{0,4\ell} \bar{M}_{22} \cdot M_F \frac{dx}{EI};$$

$$\Delta_{1F} = - \int_0^{0,6\ell} 0,4Fx \frac{4f}{\ell^2} x(\ell-x) \frac{dx}{EI} - \int_0^{0,4\ell} 0,6Fx \frac{4f}{\ell^2} x(\ell-x) \frac{dx}{EI} =$$

$$= - \frac{4fF}{\ell^2 EI} \left(\int_0^{0,6\ell} 0,4x^2(\ell-x) dx + \int_0^{0,4\ell} 0,6x^2(\ell-x) dx \right) = - \frac{0,2976 \cdot F \cdot f \cdot \ell^2}{3EI}.$$

Определяем лишнее неизвестное:

$$\delta_1 = - \frac{\Delta_{1F}}{\delta_{11}}; \quad \delta_1 = \frac{0,2976 \cdot \ell^2 \cdot f \cdot F \cdot 15EI}{3EI \cdot 8f^2 \ell} = 0,93F;$$

$$x_1 = 0,93 \cdot 150 = 139,5 \text{ кН}.$$

Находим значения M , Q , N в заданном сечении n - n (рис. 18).

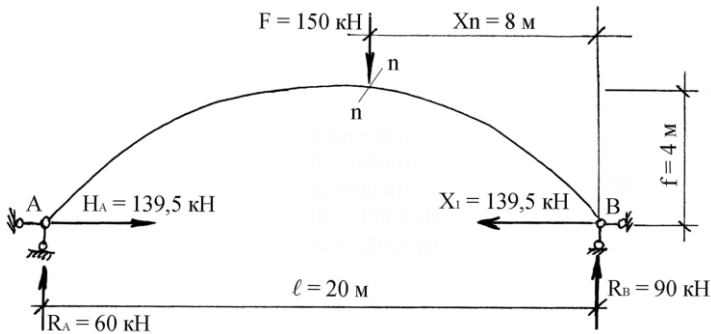


Рис. 18. Расчетная схема арки для определения M_n , Q_n , N_n .

$$M_n = R_B \cdot x_n - x_1 \cdot y_n; \quad y_n = \frac{4 \cdot 4}{20^2} \cdot 8 \cdot (20 - 8) = 3,84 \text{ м};$$

$$M_n = 90 \cdot 8 - 139,5 \cdot 3,84 = 184,3 \text{ кНм}.$$

$$Q_n = Q_0 \cdot \cos \alpha + H \cdot \sin \alpha; \quad Q_0 = -R_B; \quad H = 139,5 \text{ кН}.$$

$$N_n = -(Q_0 \cdot \sin \alpha + H \cdot \cos \alpha).$$

Определим угол наклона касательной в заданном сечении n - n арки к горизонту:

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{4f}{\ell^2} \cdot (\ell - 2x) = \frac{4 \cdot 4}{20^2} \cdot (20 - 2 \cdot 12) = 0,16;$$

$$\alpha = 9,09^\circ; \quad \sin \alpha = 0,158; \quad \cos \alpha = 0,987.$$

Так как по условию задачи точка приложения сосредоточенной силы F на арке совпадает с положением заданного сечения n - n , то внутренние силовые факторы Q и N необходимо определить по обе стороны от заданного сечения. Из теории построения эпюр внутренних силовых факторов методом сечений известно, что в точке приложения внешнего сосредоточенного силового фактора на расчетной схеме на соответствующей эпюре должен быть скачок.

Поперечная сила чуть-чуть справа от сечения n - n

$$Q_n^{\text{прав}} = -90 \cdot 0,987 + 139,5 \cdot 0,158 = -66,8 \text{ кН.}$$

Поперечная сила чуть-чуть слева от сечения n - n

$$Q_n^{\text{лев}} = (-90 + 150) \cdot 0,987 + 139,5 \cdot 0,158 = 81,3 \text{ кН.}$$

Продольная сила чуть-чуть справа от сечения n - n

$$N_n^{\text{прав}} = -(90 \cdot 0,158 + 139,5 \cdot 0,987) = -151,9 \text{ кН.}$$

Продольная сила чуть-чуть слева от сечения n - n

$$N_n = -(60 \cdot 0,158 + 139,5 \cdot 0,987) = -147,2 \text{ кН.}$$

Задача 4. Рассчитать статически неопределимую раму методом сил по данным табл. 4 и схемы, показанной на рис. 19.

Алгоритм решения задачи:

1. Установить степень статической неопределимости и выбрать основную систему;
2. Построить единичные эпюры от лишних неизвестных, равных единице, суммарную единичную и грузовую эпюры моментов;
3. Составить расчетные (канонические) уравнения метода сил, определить все входящие в них коэффициенты и свободные члены и сделать проверки правильности их нахождения;
4. Решить расчетные уравнения;
5. Построить расчетные эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил;
6. Выполнить статическую и кинематическую проверки расчетных эпюр.

Жесткость всех элементов рамы постоянна ($EI = \text{const}$).

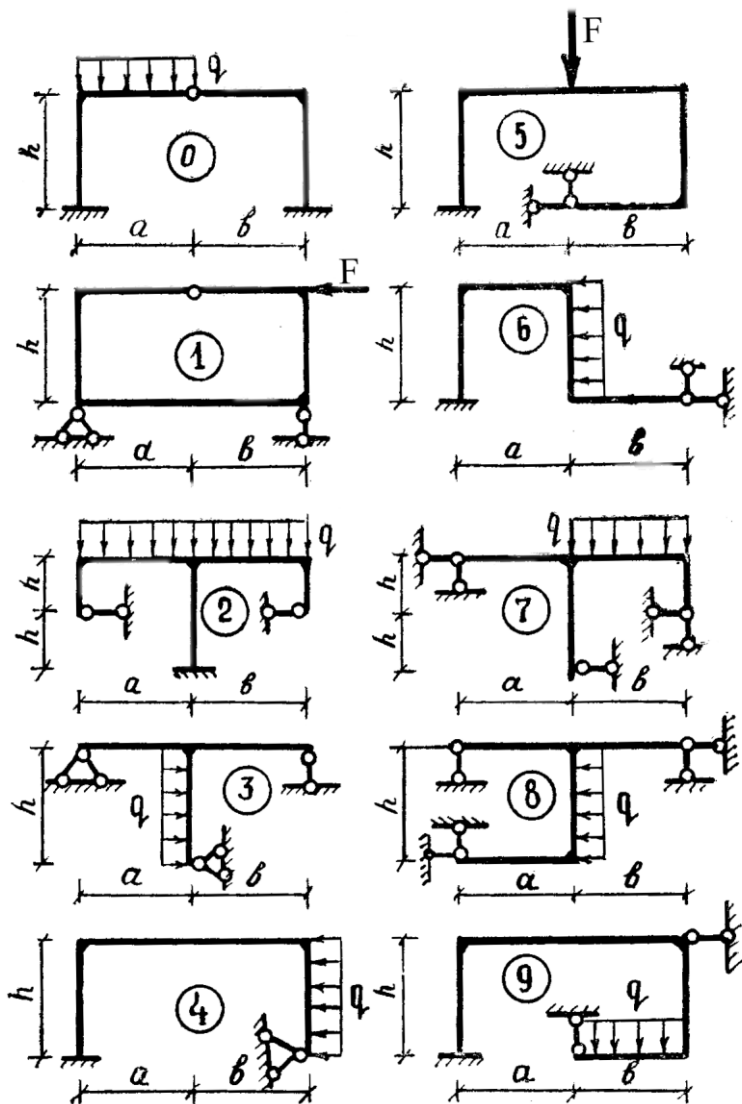


Рис. 19. Расчетные схемы к задаче 4.

Т а б л и ц а 4. Исходные данные к задаче 4

Номер строки	a, м	b, м	h, м	F, кН q, кН/м	Номер расчетной схемы
0	1	2	1	20	0
1	3	1	2	30	1
2	2	2	2	10	2
3	1	2	3	20	3
4	2	3	4	30	4
5	4	1	1	20	5
6	2	2	3	40	6
7	1	3	2	20	7
8	3	2	1	10	8
9	2	1	3	20	9
***	a	b	в	a	в

Пример решения задачи 4.

Степень статической неопределимости рамы (рис. 20)

$$N = R - S - H = 5 - 3 - 0 = 2.$$

Отбрасываем две “лишние” связи, получаем основную систему.

Составляем канонические уравнения метода сил:

$$x_1 \delta_{11} + x_2 \delta_{12} + \Delta_{1F} = 0;$$

$$x_1 \delta_{21} + x_2 \delta_{22} + \Delta_{2F} = 0.$$

Определяем грузовые и единичные перемещения способом перемножения эпюр по Верещагину:

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 2 + 3 \cdot 3 \cdot 3 \right) = \frac{45}{EI};$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 + \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \right) = \frac{27}{EI};$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 + 3 \cdot 3 \cdot 3 \right) = \frac{36}{EI};$$

$$\Delta_{1F} = \frac{1}{EI} \left(-\frac{1}{3} \cdot 135 \cdot 3 \cdot \frac{3}{4} \cdot 3 - 135 \cdot 3 \cdot 3 - \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3 \cdot 45 \right) = \frac{-1721,25}{EI};$$

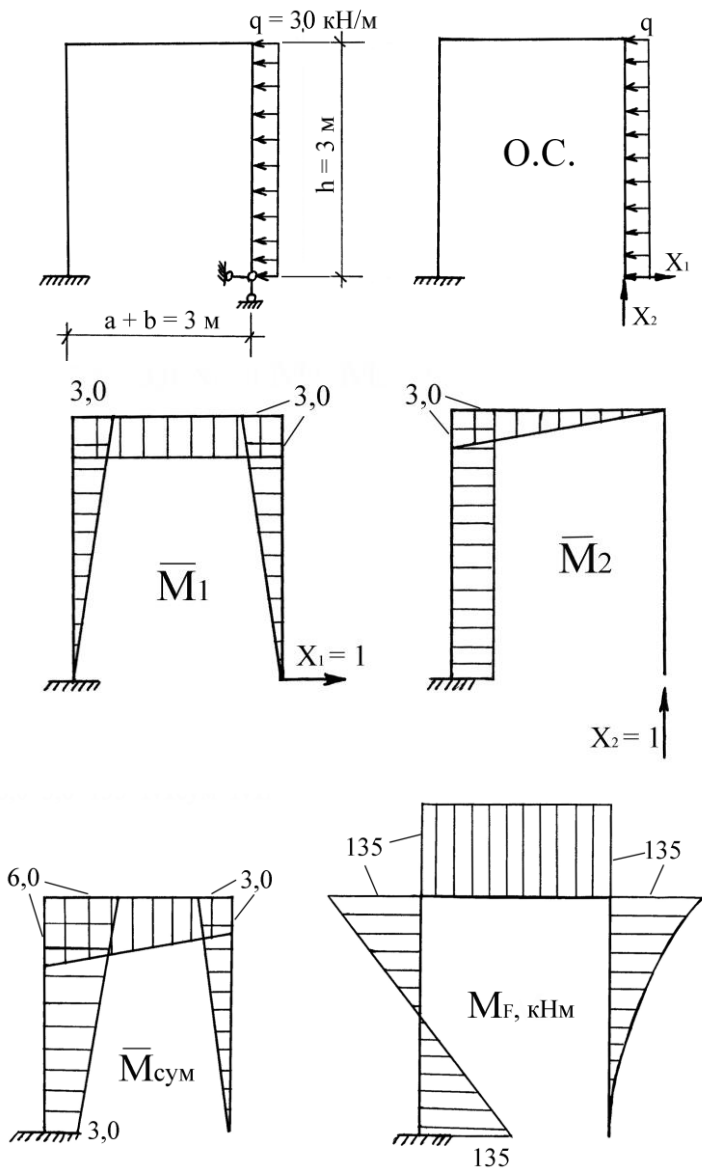


Рис. 20. Расчетная схема рамы, основная система, единичные и грузовая эпюры.

$$\Delta_{2F} = \frac{-135 \cdot 3 \cdot 1,5}{EI} = \frac{-607,5}{EI}.$$

Решаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 45x_1 + 27x_2 - 1721,25 = 0; \\ 27x_1 + 36x_2 - 607,5 = 0; \end{cases}$$

$$x_1 = 51,14 \text{ кН}; \quad x_2 = -21,5 \text{ кН}.$$

Проверяем правильность нахождения лишних неизвестных, т.е. выполняем кинематическую проверку. Умножаем эпюру \bar{M}_1 на x_1 , а эпюру \bar{M}_2 на x_2 (рис. 21).

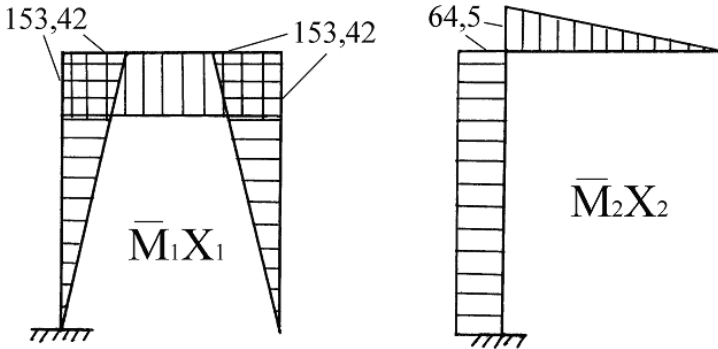


Рис. 21. Исправленные единичные эпюры.

Определяем перемещения по направлению x_1 и x_2 :

$$\Delta_1 = 0; \quad \Delta_2 = 0.$$

$$\Delta_1 = \bar{M}_1 x_1 \cdot \bar{M}_1 + \bar{M}_2 x_2 \cdot \bar{M}_1 + \Delta_{1F} = 0;$$

$$\frac{1}{2} \cdot 153,42 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2 + 153,42 \cdot 3 \cdot 3 - \frac{1}{2} \cdot 64,5 \cdot 3 \cdot 3 - 64,5 \cdot 3 \cdot 1,5 - 1721,25 = -0,45 \approx 0;$$

$$\Delta_2 = \bar{M}_1 x_1 \cdot \bar{M}_2 + \bar{M}_2 x_2 \cdot \bar{M}_2 + \Delta_{2F} = 0;$$

$$-\frac{1}{2} \cdot 64,5 \cdot 3 \cdot 2 - 64,5 \cdot 3 \cdot 3 + 153,42 \cdot 3 \cdot 1,5 + \\ + \frac{1}{2} \cdot 153,42 \cdot 3 \cdot 3 - 607,5 = -0,72 \approx 0.$$

Строим эпюры M , Q , N методом сечений (рис. 22).

Сечение 1-1; $0 \leq x_1 \leq 3 \text{ м};$

$$Q_{1-1} = X_1 - qx_1; \quad Q_{x_1=0} = X_1 = 51,14 \text{ кН};$$

$$Q_{x_1=3} = 51,14 - 30 \cdot 3 = -38,86 \text{ кН};$$

$$N_{1-1} = X_2 = 21,5 \text{ кН};$$

$$M_{1-1} = X_1 \cdot x_1 - q \frac{x_1^2}{2}; \quad M_{x_1=0} = 0;$$

$$M_{x_1=3} = 51,14 \cdot 3 - 30 \cdot \frac{3^2}{2} = 18,42 \text{ кНм};$$

$$X_1 - qx_1 = 0; \quad x_1 = \frac{X_1}{q} = \frac{51,14}{30} = 1,7 \text{ м};$$

$$M_{\max} = 51,14 \cdot 1,7 - 30 \cdot \frac{1,7^2}{2} = 43,8 \text{ кНм}.$$

Сечение 2-2; $0 \leq x_2 \leq 3 \text{ м};$

$$Q_{2-2} = X_2 = 21,5 \text{ кН}; \quad N_{2-2} = X_1 - qh = 51,14 - 30 \cdot 3 = -38,86 \text{ кН};$$

$$M_{2-2} = X_1 \cdot h - q \cdot \frac{h^2}{2} - X_2 \cdot x_2; \quad M_{x_2=0} = 18,42 \text{ кНм}.$$

$$M_{x_2=3} = 51,14 \cdot 3 - 30 \cdot \frac{3^2}{2} - 21,5 \cdot 3 = -45,08 \text{ кНм}.$$

Сечение 3-3; $0 \leq x_3 \leq 3 \text{ м};$

$$Q_{3-3} = -X_1 + qh = 38,86 \text{ кН}; \quad N_{3-3} = -X_2 = -21,5 \text{ кН};$$

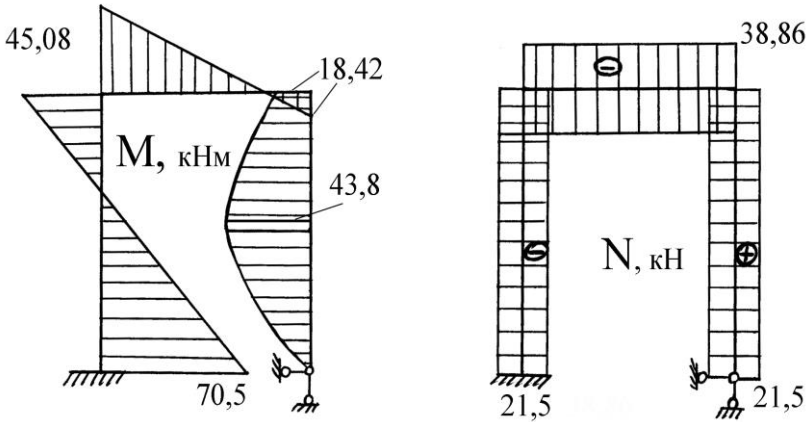
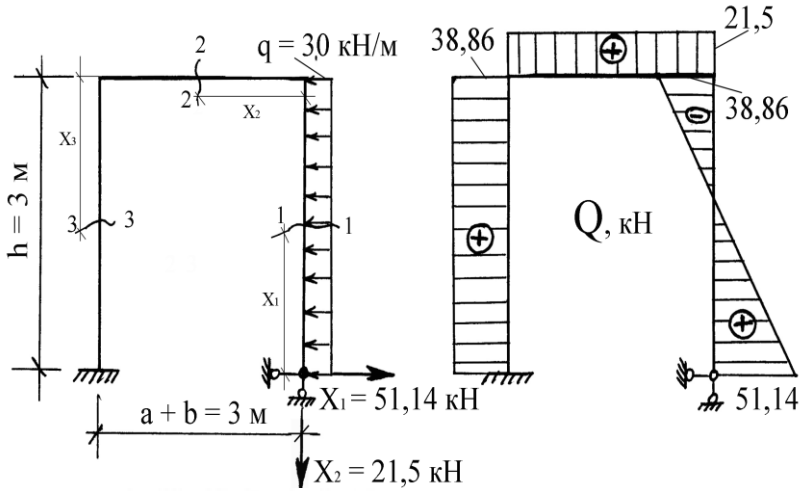


Рис. 22. Расчетная схема рамы, эпюры M, Q, N.

$$M_{3-3} = X_1 \cdot 3 - q \cdot \frac{h^2}{2} - X_1 \cdot x_3 + qh \cdot x_3 - X_2 \cdot 3;$$

$$M_{x_3=0} = -45,08 \text{ кНм};$$

$$M_{x_3=3} = 70,5 \text{ кНм}.$$

Выполняем статическую проверку правильности построения расчетных эпюр (рис. 23).

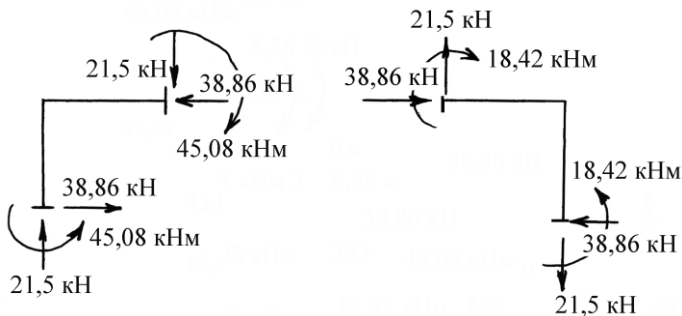


Рис. 23. Расчетные схемы узлов рамы.

Задача 5. Рассчитать статически неопределимую раму методом перемещений по данным табл. 5 и схемы, показанной на рис. 24.

Алгоритм решения задачи:

1. Выбрать основную систему и построить единичные и грузовую эпюры моментов;
2. Составить канонические уравнения и определить коэффициенты и свободные члены, решить уравнения;
3. Построить расчетные эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил;
4. Выполнить кинематическую проверку правильности построения расчетных эпюр. Жесткость элементов рамы $EI = \text{const}$.

Т а б л и ц а 5. Исходные данные к задаче 5

Номер строки	a, м	b, м	q, кН/м	F, кН	h, м	Номер расчетной схемы
0	1	2	10	20	2	0
1	3	1	20	30	3	1
2	2	3	30	10	4	2
3	4	1	20	20	2	3
4	1	2	10	40	3	4
5	2	3	20	30	1	5
6	1	4	30	20	2	6
7	3	1	20	40	3	7
8	2	2	40	20	2	8
9	2	3	20	30	2	9
***	a	б	в	a	б	в

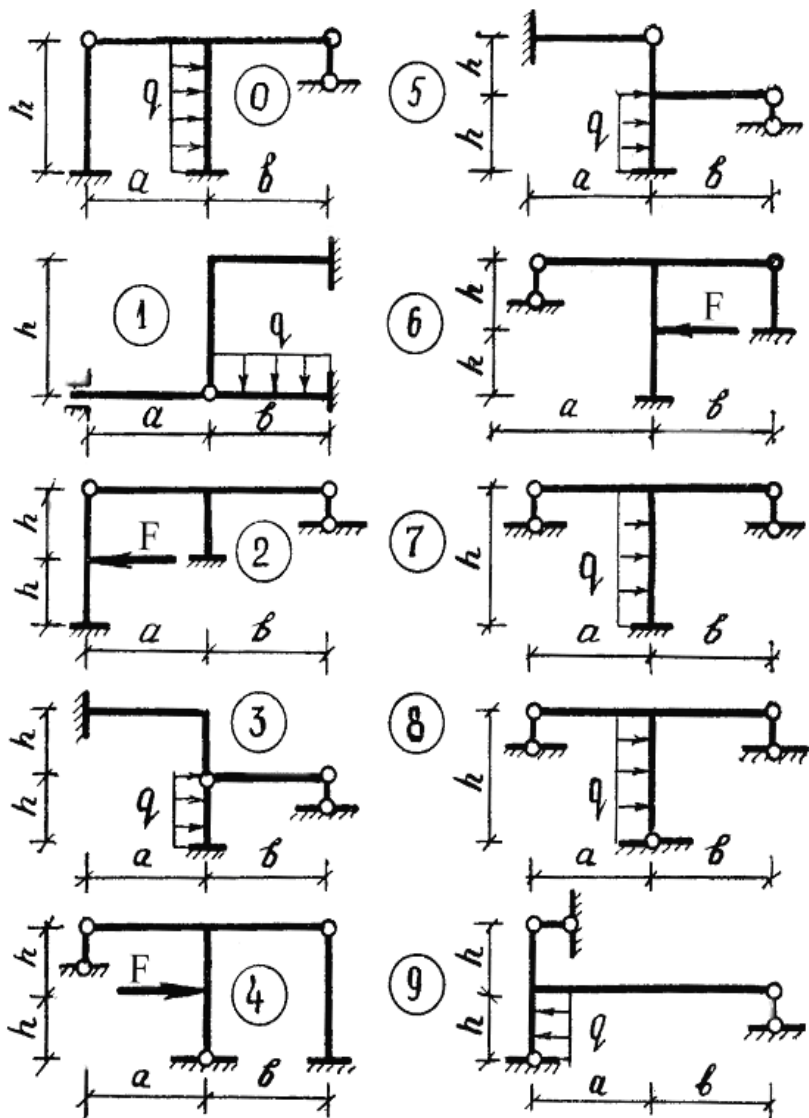


Рис. 24. Расчетные схемы к задаче 5.

Пример решения задачи 5.

Степень статической неопределимости рамы (рис. 25) по методу перемещений зависит от числа возможных угловых и линейных смещений:

$$n = 1_{\text{уг}} + 1_{\text{л}} = 2.$$

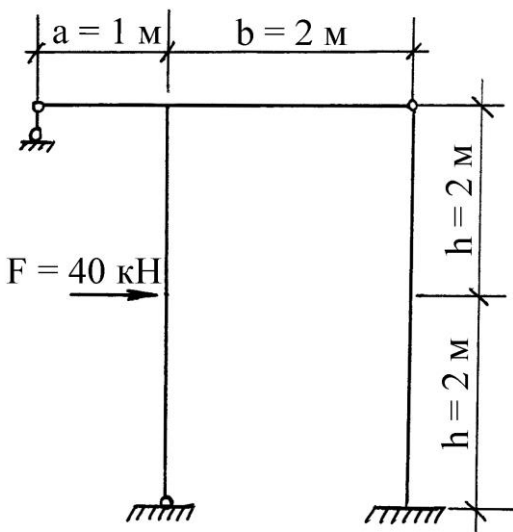


Рис. 25. Расчетная схема рамы.

Выбираем основную систему, вводя дополнительные связи в места возможных смещений (рис. 26). Принимаем условие – реактивные усилия во введенных связях равны нулю.

Канонические уравнения метода перемещений имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \varphi_1 r_{11} + \Delta_2 r_{12} + R_{1F} = 0; \\ \varphi_1 r_{21} + \Delta_2 r_{22} + R_{2F} = 0. \end{cases}$$

Строим единичные \overline{M}_1 , \overline{M}_2 и грузовую M_F эпюры моментов с помощью специально разработанных таблиц, которые приведены во всех источниках основной литературы (см. рис. 26).

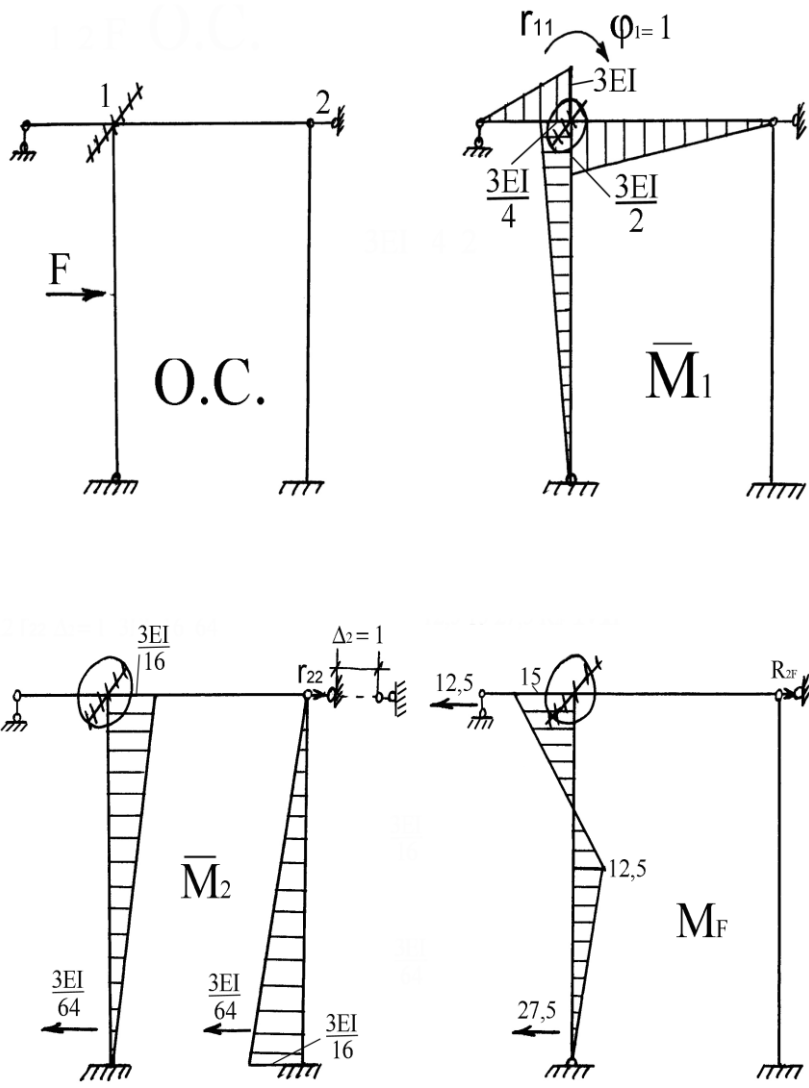
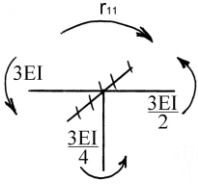
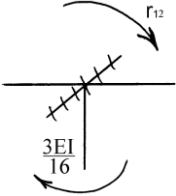
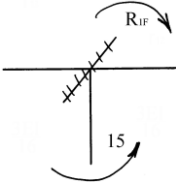


Рис. 26. Основная система, единичные и грузовая эпюры.

Коэффициенты и свободные члены уравнений находим статическим способом, вырезая соответствующие узлы рамы.

	$r_{11} - 3EI - 0,75EI - 1,5EI = 0;$ $r_{11} = 5,25EI.$
	$r_{12} + \frac{3EI}{16} = 0;$ $r_{12} = r_{21} = -\frac{3EI}{16} = -0,1875EI.$
	$R_{1F} - 15 = 0;$ $R_{1F} = 15.$

$$\Sigma X = 0; \quad r_{22} - \frac{3EI}{64} - \frac{3EI}{64} = 0; \quad r_{22} = \frac{3EI}{32}.$$

$$\Sigma X = 0; \quad R_{2F} + F - \frac{5F}{16} = 0; \quad R_{2F} = -\frac{11F}{16} = -\frac{11 \cdot 40}{16} = -27,5.$$

Решаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 5,25 EI \varphi_1 - 0,1875 EI \Delta_2 + 15 = 0; \\ -0,1875 EI \varphi_1 + \frac{3 EI}{32} \cdot \Delta_2 - 27,5 = 0; \end{cases}$$

$$\varphi_1 = \frac{8,2}{EI}; \quad \Delta_2 = \frac{309,7}{EI}.$$

Умножаем эпюру \bar{M}_1 на φ_1 , эпюру \bar{M}_2 на Δ_2 и получаем так называемые исправленные эпюры (рис. 27).

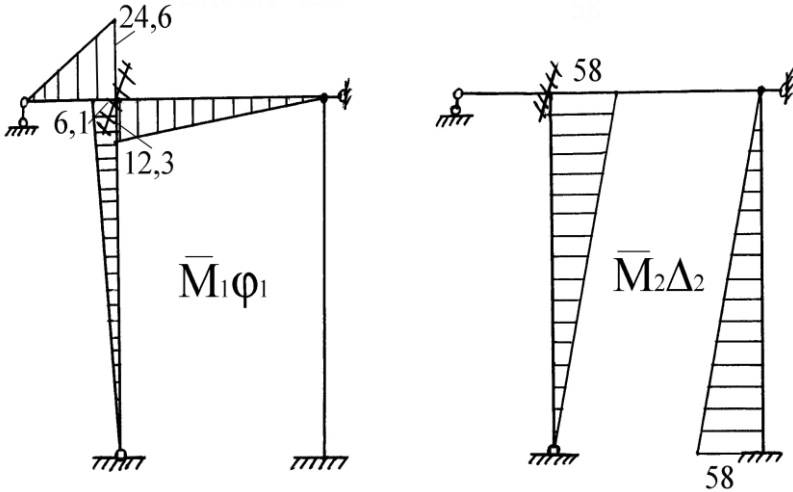


Рис. 27. Исправленные единичные эпюры.

Расчетную эпюру $M_{\text{расч}}$ строим способом сложения, используя выражение

$$M_{\text{расч}} = \bar{M}_1 \varphi_1 + \bar{M}_2 \Delta_2 + M_F.$$

Имея правильно построенную эпюру $M_{\text{расч}}$, можно, рассматривая статическое равновесие всех участков рамы как отдельно взятых блоков, определить продольные и поперечные силы и построить эпюры N и Q (рис. 28).

Задача 6. Рассчитать подпорную стену по данным табл. 6 и схемы, показанной на рис. 29, 30.

Алгоритм решения задачи:

1. Графическим методом определить активное давление на напорную грань стены;
2. Построить эпюры интенсивности давления на напорную грань стены;
3. Определить силы, действующие на стену, и точки их приложения;

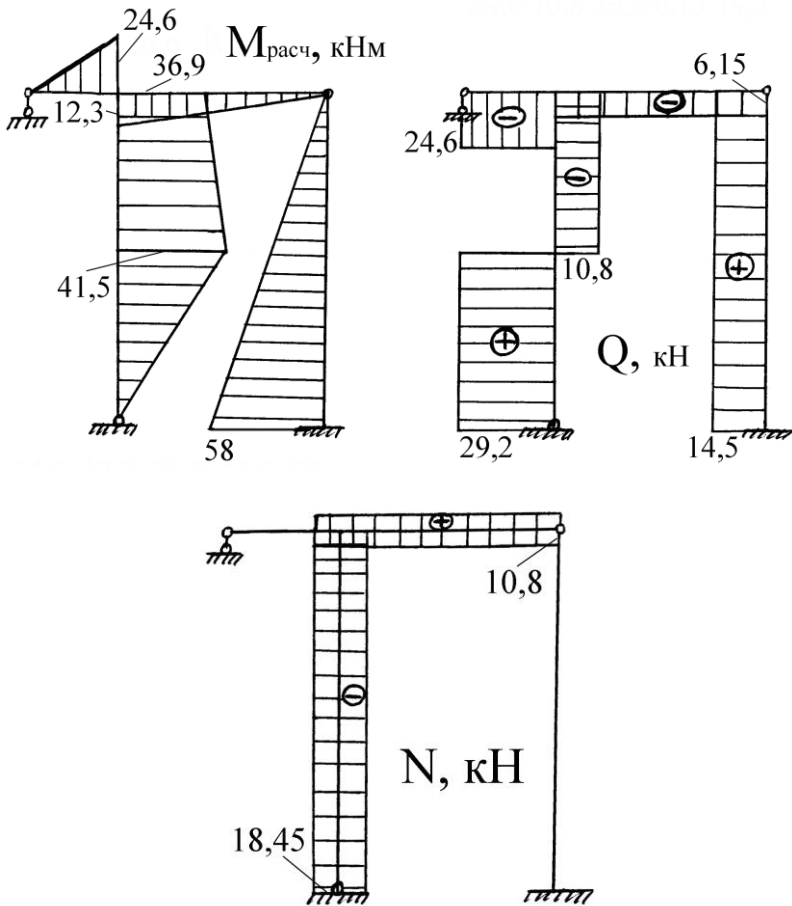


Рис. 28. Расчетные эпюры M , Q , N .

4. Построить многоугольник давления в стене, определить графически эксцентриситеты в сечениях согласно излому профиля стены;
5. Проверить устойчивость стены на опрокидывание и сдвиг. Коэффициент трения кладки по грунту принять равным 0,45;
6. Определить напряжения в подошве фундамента стены и построить эпюру напряжений.

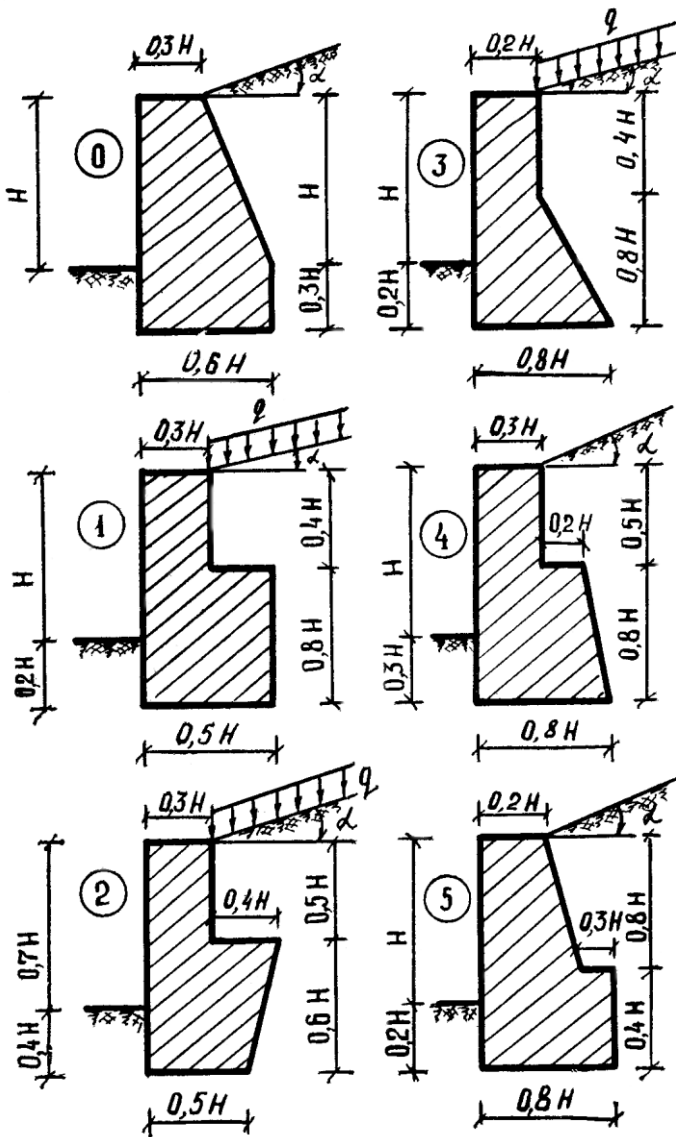


Рис. 29. Расчетные схемы к задаче 6.

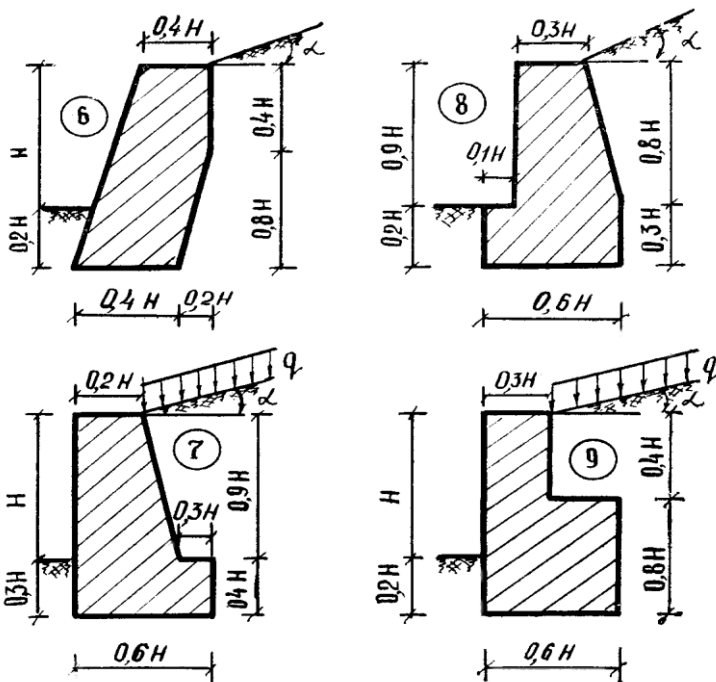


Рис. 30. Расчетные схемы к задаче 6.

Т а б л и ц а 6. Исходные данные к задаче 6

Номер строки	H, м	Угол α	$\gamma_{\text{кладки}}$, кН/м ³	$\gamma_{\text{грунта}}$, кН/м ³	Угол φ	Угол φ_0	q, кН/м ²	Номер профиля
0	10	12°	27	14	26°	16°	15	0
1	8	14°	23	15	28°	7°	20	1
2	6	9°	25	13	30°	11°	17	2
3	4	13°	24	18	33°	10°	14	3
4	10	10°	22	19	31°	12°	16	4
5	5	7°	24	16	29°	15°	18	5
6	9	8°	26	18	27°	14°	20	6
7	6	10°	28	17	35°	12°	19	7
8	7	9°	27	19	34°	9°	15	8
9	8	8°	23	15	32°	6°	16	9
***	а	б	в	а	б	в	а	в

Пример решения задачи 6.

Характеристики: грунт – $\alpha = 14^{\circ}$; $\gamma_{гр} = 15 \text{ кН/м}^3$; $\varphi = 33^{\circ}$; $\varphi_0 = 14^{\circ}$ и
кладка – $\gamma_{кл} = 24 \text{ кН/м}^3$.

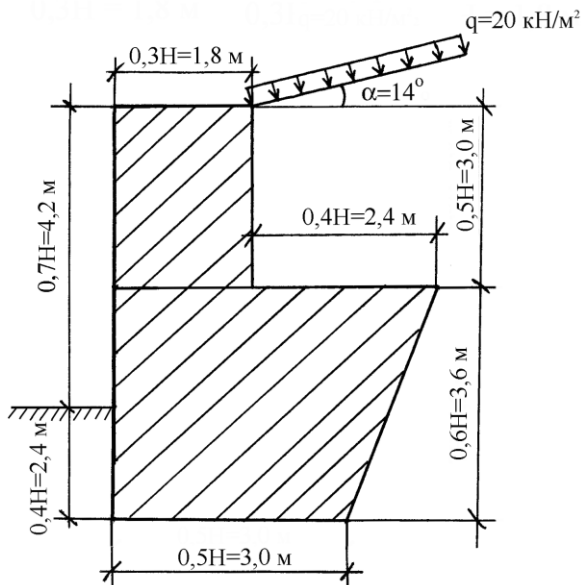


Рис. 31. Расчетная схема подпорной стены.

Начинаем с определения сил, действующих на стену (рис. 31).
Прежде всего заменяем равномерно распределенную пригрузку $q_{пр}$
эквивалентным слоем грунта:

$$h_0 = \frac{q_{пр}}{\gamma_{гр}} = \frac{20}{15} = 1,33 \text{ м.}$$

Выполним построения Понселе для двух фиктивных участков
напорной грани стены и действительного участка задней грани, графиче-
ски определим площади S треугольников Ребхана и вычислим силы
активного давления грунта на фиктивные и действительный участки
по второй теореме Ребхана:

$$E = \gamma_{гр} \cdot S_{\Delta \text{Ребхана}}.$$

Построим эпюры интенсивности давления на фиктивные участки напорной грани стены и участок задней грани, для чего определим нижние ординаты этих эпюр по формуле

$$q = \frac{2E}{H},$$

где H – высота рассматриваемого участка грани стены.

Для определения величин сил активного давления на реальные участки граней стены используем заштрихованные площади эпюр интенсивности давления (рис. 32).

Точки приложения сил активного давления найдем графическим способом, определив центры тяжести заштрихованных участков эпюр интенсивности давления.

Определяем собственный вес двух участков стены и грунта на уступе стены:

$$G_1 = 0,3H \cdot 0,5H \cdot \gamma_{\text{кл}} = 1,8 \cdot 3 \cdot 24 = 129,6 \text{ кН/на 1 п. м};$$

$$G_2 = \frac{0,7H + 0,5H}{2} \cdot 0,6H \cdot \gamma_{\text{кл}} = \frac{4,2 + 3,0}{2} \cdot 3,6 \cdot 24 = 311 \text{ кН/на 1 п. м};$$

$$G_{\text{гр}} = 0,4H \cdot 0,5H \cdot \gamma_{\text{гр}} = 2,4 \cdot 3 \cdot 24 = 108,0 \text{ кН/ на 1 п. м.}$$

$$\text{tg } \delta = \frac{1,2}{3,6} = \frac{1}{3}; \quad \delta = 18^\circ; \quad \delta + \varphi_0 = 18^\circ + 14^\circ = 32^\circ.$$

Аналитически или графически находим точки приложения собственного веса стены (см. рис. 32).

Строим силовой многоугольник (т.е. геометрически складываем все силы, действующие на стену) и многоугольник давления в стене (представляет собой геометрическое место точек приложения равнодействующих всех сил, действующих на стену выше рассматриваемого сечения). Графически, используя многоугольник давления, находим эксцентриситет в плоскости подошвы фундамента подпорной стены: $e = 0,4$ м.

Затем проверяем устойчивость стены на опрокидывание вокруг внешнего ребра a . Вычисляем коэффициент устойчивости на опрокидывание

$$K_{\text{опр}} = \frac{\sum M_{a \text{ уд.}}}{\sum M_{a \text{ опр}}};$$

где $M_{a \text{ уд.}}$ – момент от всех удерживающих сил;

$M_{a \text{ опр}}$ – момент от всех опрокидывающих сил.

$$M_{a \text{ уд}} = G_1 \cdot 0,15H + G_{\text{гр}} \cdot 0,49H + G_2 \cdot 0,3H + E_3 \cdot 0,7 =$$

$$= 129,6 \cdot 0,9 + 108,0 \cdot 2,9 + 311 \cdot 1,8 + 10 \cdot 0,7 = 993,6 \text{ кНм};$$

$$M_{a \text{ опр}} = E_1 \cdot 4,1 + E_2 \cdot 3,4 = 45 \cdot 4,1 + 81 \cdot 3,4 = 459,9 \text{ кНм};$$

$$\hat{E}_{i\delta} = \frac{993,6}{459,9} = 2,18 > [\hat{E}_{i\delta}] = 1,5$$

Следовательно, условие устойчивости подпорной стенки на опрокидывание выполняется.

Коэффициент устойчивости на сдвиг в плоскости подошвы фундамента определяется по выражению

$$K_{\text{сд}} = \frac{f \cdot Q}{\Sigma T_{\text{сд}}};$$

где Q – сумма всех удерживающих сил;

f – коэффициент трения кладки по грунту в плоскости подошвы фундамента;

$\Sigma T_{\text{сд}}$ – сумма всех сдвигающих сил.

$$Q = G_1 + G_2 + G_3 + E_1 \cdot \sin \varphi_0 - E_2 \cdot \sin(\varphi_0 + \delta) + E_3 \cdot \sin \varphi_0 =$$

$$= 129,6 + 311 + 108 + 45 \cdot \sin 14^\circ - 81 \cdot \sin 32^\circ + 10 \cdot \sin 14^\circ = 508,6 \text{ кН};$$

$$T_{\text{сд}} = E_1 \cdot \cos 14^\circ + E_2 \cdot \cos 32^\circ - E_3 \cdot \cos 14^\circ =$$

$$= 45 \cdot \cos 14^\circ + 81 \cdot \cos 32^\circ - 10 \cdot \cos 14^\circ = 102,7 \text{ кН};$$

$$\hat{E}_{\text{нн}} = \frac{0,45 \cdot Q}{T} = \frac{0,45 \cdot 508,6}{102,7} = 2,23 > [\hat{E}_{\text{нн}}] = 1,3$$

Следовательно, условие устойчивости подпорной стенки на сдвиг в плоскости подошвы фундамента выполняется.

Так как эксцентриситет приложения вертикальной проекции равнодействующей N меньше ядра прямоугольного сечения в основании стенки $e < \frac{e}{6}$ ($0,4 < \frac{3}{6}$), то нормальное напряжение должно быть одного знака и найдется по зависимости определения напряжений для внецентренного сжатия

$$\sigma_{\max} = -\frac{N}{e} \cdot \left(1 \pm \frac{6e}{e}\right);$$

$$\sigma_{\min} = -\frac{508,6}{3} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 0,4}{3}\right);$$

$$\sigma_{\max} = -305,16 \text{ кН/м}^2; \quad \sigma_{\min} = -34 \text{ кН/м}^2.$$

По полученным значениям строим эпюру нормальных сжимающих напряжений грунта в основании подпорной стены. На рис. 32 видно, что полученная эпюра однозначная, что свидетельствует о выполнении основных требований рационального проектирования подпорных стен.

Контрольные вопросы

1. Задачи строительной механики в связи с развитием строительной индустрии. Основные элементы сооружений. Понятие о расчетной схеме. Типы опор. Классификация сооружений.
2. Системы геометрически неизменяемые, изменяемые и мгновенно изменяемые. Образование неизменяемых систем.
3. Необходимое и достаточное условия геометрической неизменяемости. Анализ структуры систем. Соединение двух и трех дисков.
4. Статическая определимость и неопределимость сооружений.
5. Понятие о ферме. Образование ферм. Статическая определимость и геометрическая неизменяемость ферм. Классификация ферм. Допущения, принятые при расчете ферм.
6. Аналитический расчет ферм: способ вырезания узлов.
7. Аналитический расчет ферм: способ моментных точек. Признаки нулевых стержней.
8. Расчет ферм с простой решеткой на подвижную нагрузку - построение линий влияния опорных реакций, линий влияния усилий в стержнях ферм, расположенных в пролете фермы. "Перерезанная" панель при построении линий влияния.
9. Расчет ферм с простой решеткой на подвижную нагрузку - построение линий влияния усилий в стержнях ферм, расположенных на консолях.

10. Расчет систем на подвижную нагрузку. Типы подвижных нагрузок. Основные свойства линий влияния. Определение усилий от неподвижной нагрузки по линиям влияния.
11. Определение максимальных усилий от подвижной нагрузки по линиям влияния. Аналитическое условие максимума усилия.
12. Критерий невыгодного положения системы грузов при полигональных и треугольных-линиях влияния.
13. Образование многопролетных статически определимых балок. Условия геометрической неизменяемости. Типы балок. Аналитический расчет на неподвижную нагрузку при непосредственном ее приложении. Построение эпюр изгибающих моментов и поперечных сил.
14. Аналитический расчет многопролетных статически определимых балок на неподвижную нагрузку при узловом ее приложении. Построение эпюр изгибающих моментов и поперечных сил.
15. Линии влияния опорных реакций, изгибающих моментов и поперечных сил для простых балок.
16. Линии влияния для многопролетных балок и балочных рам при непосредственном приложении нагрузки.
17. Линии влияния для многопролетных балок и балочных рам при узловом приложении нагрузки.
18. Образование трехшарнирных арок и рам. Условия геометрической неизменяемости. Типы трехшарнирных систем. Особенности работы.
19. Определение опорных реакций трехшарнирных арок и рам. Построение эпюр изгибающих моментов, поперечных и продольных сил. Сопоставление работы трехшарнирных и балочных систем.
20. Перемещения возможные и действительные. Работа внешних сил.
21. Теорема о взаимности работ и взаимности перемещений.
22. Суммарная работа статически действующих внешних сил. Работа внутренних сил. Зависимость между работой внешних и внутренних сил.
23. Потенциальная энергия. Свойства потенциальной энергии.
24. Формулы перемещений: теорема Кастильяно, упрощенная запись теоремы Кастильяно.
25. Формулы перемещений: формула О.Мора.
26. Формулы перемещений: способ Верещагина.
27. Особенности перемножения эпюр по способу Верещагина. Формула Симпсона для вычисления интегралов О.Мора.
28. Перемещения узлов ферм.

29. Определение перемещений при осадке опор статически определенных систем.
30. Работа внутренних сил при изменении температуры.
31. Определение перемещений от изменения температуры в статически определенных системах по формулам Кастильяно, О.Мора и способу Верещагина.
32. Свойства статически неопределимых систем. Степень статической неопределимости.
33. Сущность метода сил. Основная система. Требования, предъявляемые к основной системе. «Лишние» неизвестные (связи). Составление канонических уравнений. Коэффициенты и свободные члены канонических уравнений. Свойства коэффициентов.
34. Решение канонических уравнений. Построение эпюр изгибающих моментов, поперечных и продольных сил. Контроль правильности определения лишних неизвестных.
35. Определение перемещений в статически неопределимых системах.
36. Расчет статически неопределимых систем на действие температуры.
37. Расчет статически неопределимых систем на осадку опор.
38. Метод перемещений. Сущность метода. Неизвестные и основная система. Канонические уравнения. Взаимность побочных реакций. Построение эпюр для основной системы.
39. Метод перемещений. Способы вычисления и проверки реакций. Построение эпюр изгибающих моментов, продольных и поперечных сил. Проверка расчетов.
40. Метод перемещений. Использование симметрии для упрощения расчетов сложных рам.
41. Сопоставление метода перемещений и метода сил. Выбор рационального метода расчета.
42. Типы подпорных сооружений, назначение. Физико-механические свойства грунтов и сыпучих тел. Взаимосвязь объемного веса, пористости и влажности грунтов. Развитие деформаций в грунтах.
43. Боковое давление грунта на подпорную стену. Связь давления с перемещением напорной грани. Предельное равновесие.
44. Предельные давления: активное и пассивное. Определение активного давления грунта по методу Кулона.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Строительная механика: учебник для вузов / под ред. А.В. Даркова. изд. 7-е, перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1976. 600 с.
2. Д а р к о в А.В. Статика сооружений / А.В. Дарков, В.И. Кузнецов. М.: Высш. шк., 1951. 521 с.
3. Д а р к о в А.В. Строительная механика / А.В. Дарков, Н.Н. Шапошников. М.: Высш. шк., 1986. 607 с.
4. К и с е л е в В.А. Строительная механика: учебник для вузов / В.А. Киселев. изд. 3-е, допол. М.: Стройиздат, 1976. 511 с.
5. К и с е л е в В.А. Строительная механика / В.А. Киселев. изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1986. 520 с.

Дополнительная

6. С н и т к о Н.К. Строительная механика: учебник для вузов / Н.К. Снитко. изд. 2-е, перераб. М.: Высш. шк., 1976. 488 с.
7. Ж е м о ч к и н Б.Н. Статика сооружений: учебник для вузов / Б.Н. Жемочкин, Д.П. Пашевский. М.: Госстройиздат, 1950. 308 с.
8. Д о ц е н к о И.С. Строительная механика: учеб. Пособие для вузов / И.С. Доценко. Киев: Выща шк., 1976. 296 с.
9. В е р и ж е н к о Е.П. Сборник задач и упражнений по статике сооружений: учеб. пособие для техникумов / Е.П. Вериженко. изд. 3-е, перераб. и доп. Киев: Будивельник, 1968. 335 с.
10. Д ы х о в и ч н ы й А.И. Строительная механика. Сокращенный курс / А.И. Дыховичный. изд. 4-е, перераб. М.: Высш. шк., 1966. 328 с.
11. М у х и н Н.В. Статика сооружений в примерах / Н.В. Мухин. М.: Высш. шк., 1972. 237с.
12. Е в т у х Г.И. Расчет подпорных стен и труб в грунте: учеб. пособие по спец. «Гидромелиорация» / Г.И. Евтух, В.М. Селоков, А.С. Хамутовский. Горки, 1977. 52 с.
13. Строительная механика в примерах и задачах: учеб. пособие для вузов / под ред. В.А. Киселева. изд. 2-е, испр. и доп. М.: Стройиздат, 1968. 387 с.
14. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики: учеб. пособие для студ. вузов / Г.К. Клейн, Н.Н. Леонтьев, М.Г. Ванюшенков и др.; под ред. Г.К. Клейна. изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1980. 384 с.
15. Руководство к практическим занятиям по строительной механике: учеб. пособие для вузов / под ред. проф. Д.В. Бычкова. изд. 2-е, испр. и доп. М.: Госстройиздат, 1961. 327 с.
16. В и н о г р а д о в С.В. Расчет подземных трубопроводов на внешние нагрузки / С.В. Виноградов. М.: Стройиздат, 1980. 135 с.
17. Г а л и л е в М.Д. Основные методы по расчету строительных конструкций на прочность и жесткость. Статически определимые системы: учеб. пособие для студ. заоч. обуч. и слушателей ФПК / М.Д. Галилеев. Л.: ЛИСИ, 1977. 77 с.
18. Г а л и л е в М.Д. Основные методы расчета строительных конструкций на прочность и жесткость. Статически неопределимые системы: учеб. пособие для студ. заоч. обуч. и слушателей ФПК / М.Д. Галилеев. Л.: ЛИСИ, 1978. 72 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Требования по выполнению контрольной работы.....	4
2. Условия, алгоритмы и примеры решения задач.....	5
Контрольные вопросы.....	47
Литература.....	50

Учебное издание

Дятлов Владимир Владимирович

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Методические указания и задания по
выполнению контрольной работы

Редактор Н. А. Матасёва
Технический редактор Н. Л. Якубовская
Корректор Л. С. Разинкевич

Подписано в печать . Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. .
Тираж экз. Заказ.

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.