

**ОПД.Р.03 СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА
РАСЧЕТ МНОГОДИСКОВОЙ СТАТИЧЕСКИ
ОПРЕДЕЛИМОЙ РАМЫ**

Методические указания и задания к
расчетно-проектировочной работе

Настоящие материалы содержат методические указания и задания к расчетно-проектировочной работе № 1.

Предназначено для студентов III курса специальности «Промышленное и гражданское строительство».

ПРЕДИСЛОВИЕ

Значительное развитие строительства требует от инженера-строителя квалифицированной подготовки в области теории и практики расчета стержневых систем. Эта задача может быть решена только при значительной самостоятельной работе над учебным материалом. Она должна осуществляться путем серьезного освоения теории и приобретения навыков в решении задач.

При изучении строительной механики студенты архитектурно-строительного факультета на III курсе выполняют семь расчетно-проектировочных работ. Четыре работы, включающие расчет статически определимых систем, выполняются в пятом семестре: 1-я – «Расчет многодисковой статически определимой рамы», 2-я – «Расчет статически определимой многопролетной балки», 3-я – «Расчет трехшарнирной арки», 4-я – «Расчет статически определимой фермы».

При выполнении первой работы необходимо:

- а) научиться производить кинематический анализ системы;
- б) закрепить умение четко определять опорные реакции и строить эпюры внутренних усилий M , Q , N ;
- в) закрепить навыки расчета рамы на ЭВМ с использованием стандартных программ.

Методические указания написаны применительно к учебному процессу; они помогут студентам освоить вышеуказанные задачи, а также ознакомят с порядком их решения, оформлением и объемом задания. Они в достаточной мере обеспечивают реализацию установок высшей школы на повышение качества подготовки специалистов.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНЫХ РАБОТ

Каждая расчетно-проектировочная работа должна содержать графическую часть с необходимыми вычислениями и пояснениями, которые приводятся в пояснительной записке.

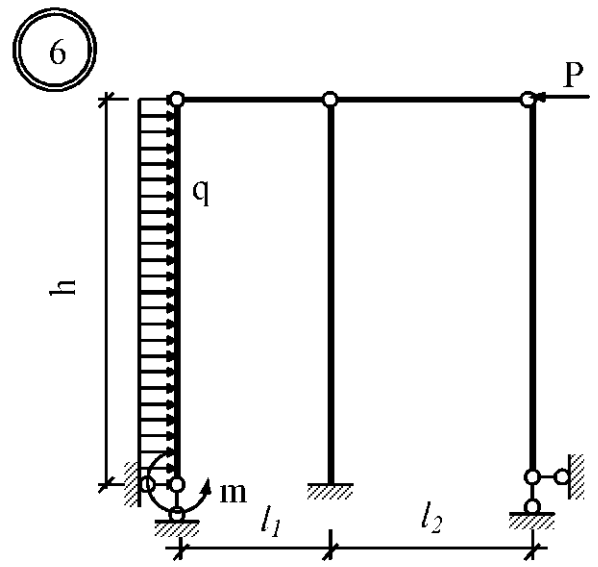
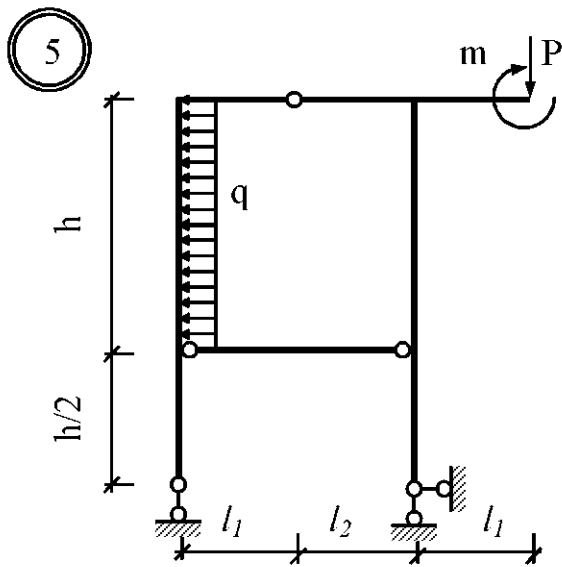
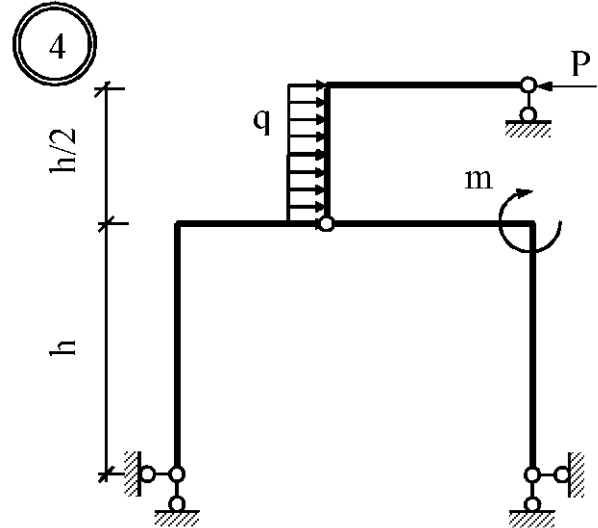
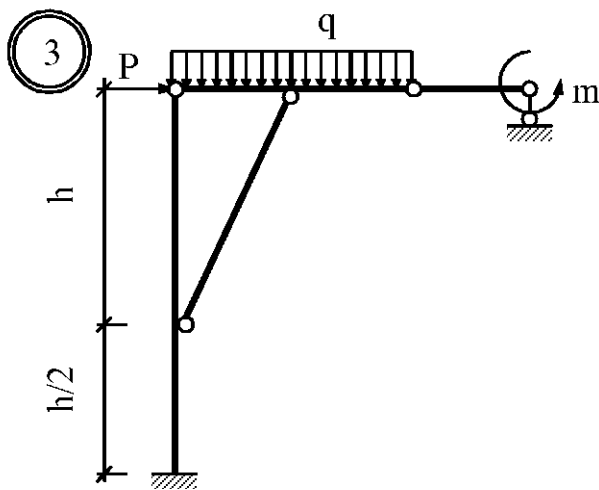
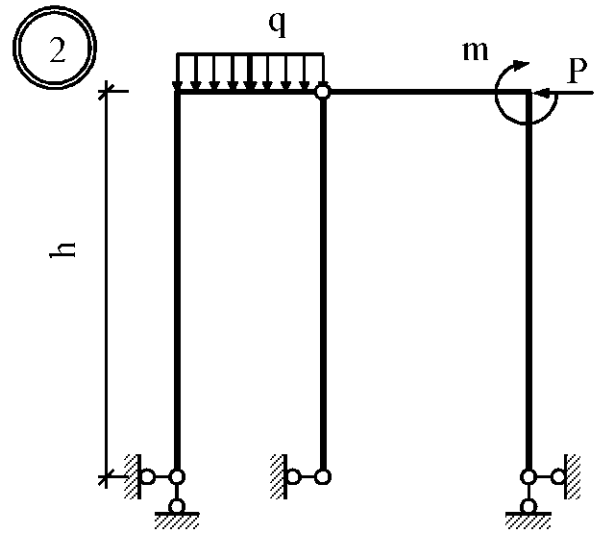
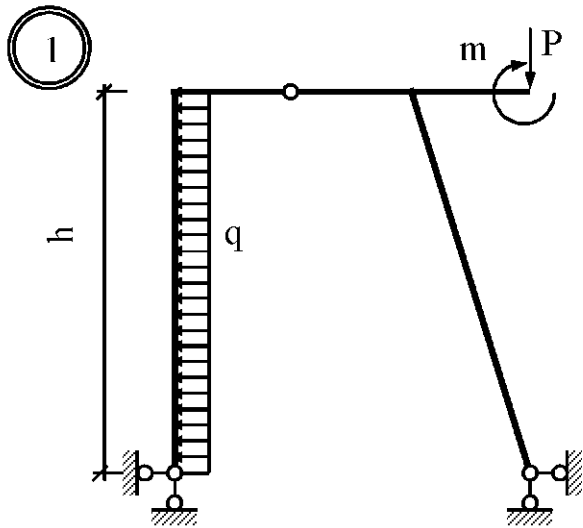
Схемы, содержащие эпюры усилий, выполняются четко, аккуратно, в них необходимо указать масштабы длин и сил. В характерных сечениях на эпюрах усилий проставляются числовые значения последних. На эпюрах поперечных и продольных сил, а также на линиях влияния усилий проставляются знаки (+) и (-). Ординаты эпюр изгибающих моментов откладываются со стороны растянутых волокон, знак не указывается.

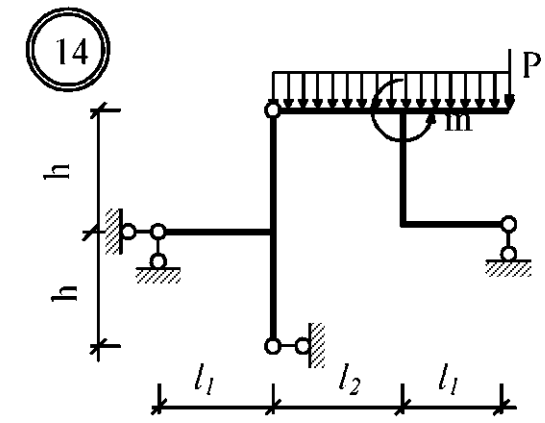
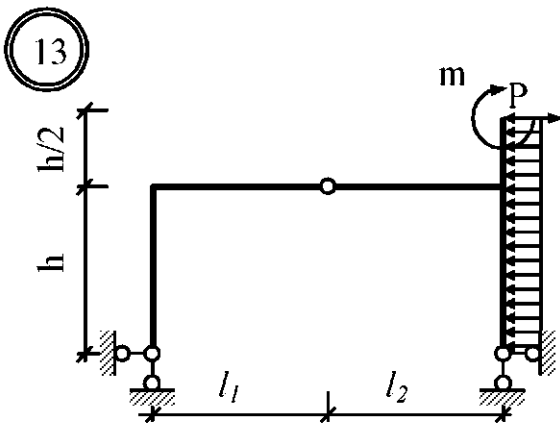
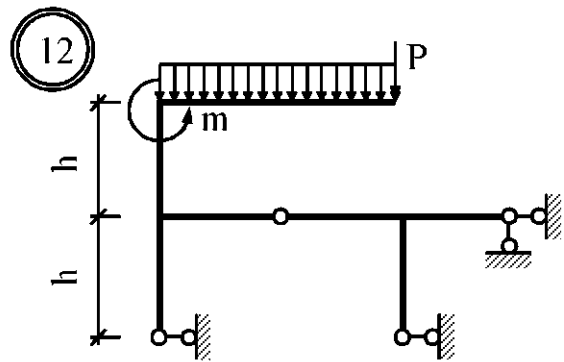
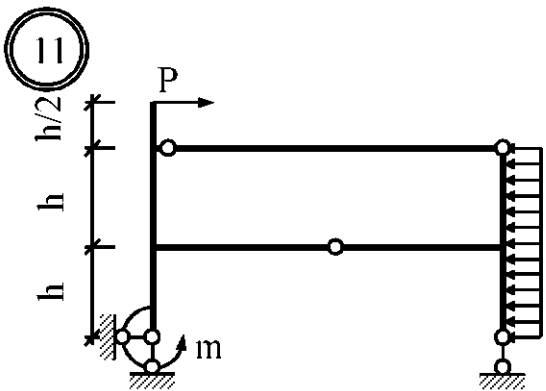
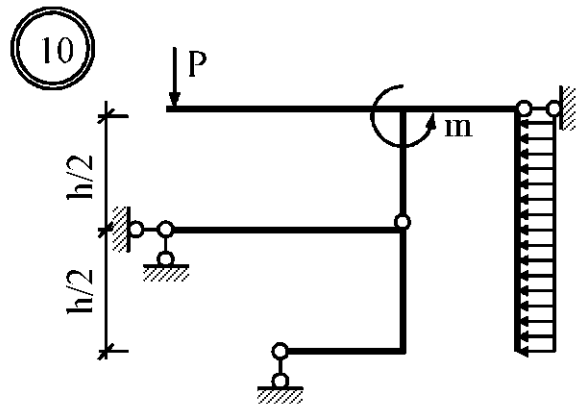
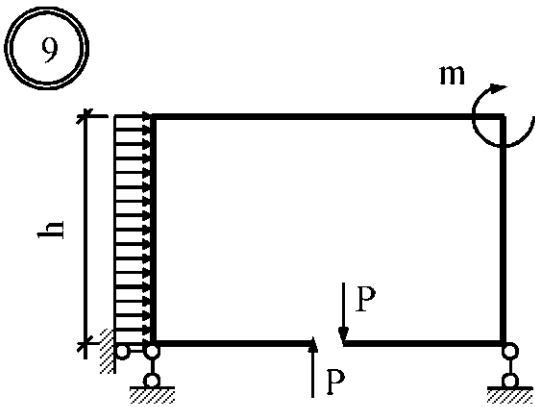
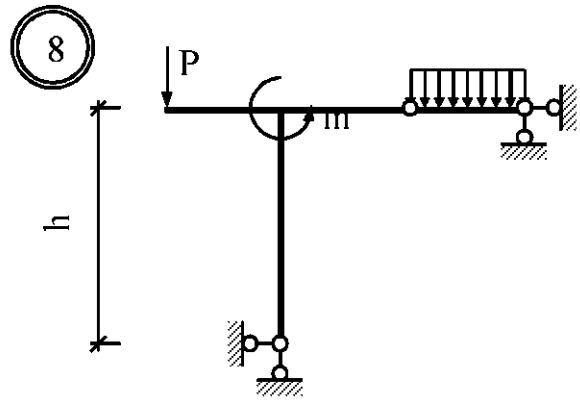
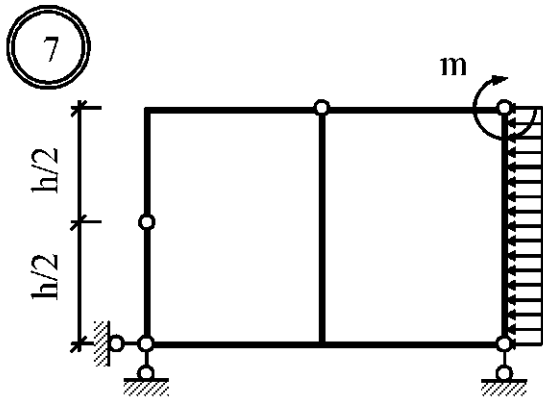
На титульном листе пояснительной записки нужно привести следующие данные:

- 1) наименование вуза и кафедры;
- 2) название и номер работы;
- 3) факультет, курс, группу, фамилии студента и ведущего преподавателя.

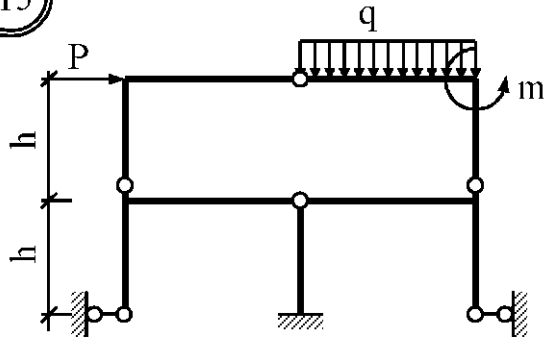
С примерами оформления расчетно-проектировочных работ можно ознакомиться на кафедре прикладной механики.

Студент должен выполнить и защитить все работы. При приеме зачета проводится опрос по каждой из них и предлагается решить ряд задач по теме расчетно-проектировочной работы.

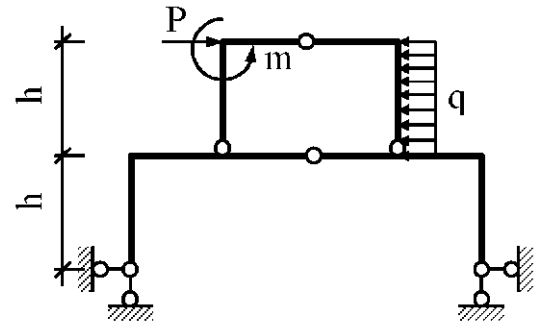




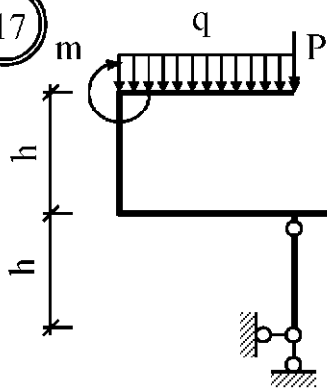
15



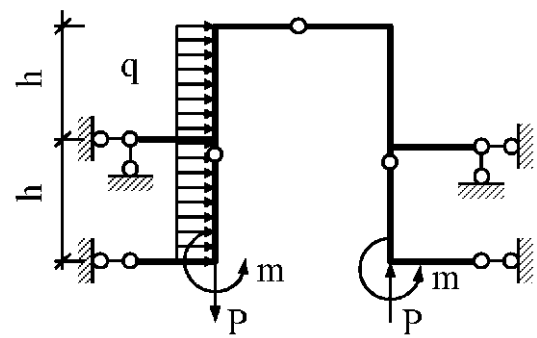
16



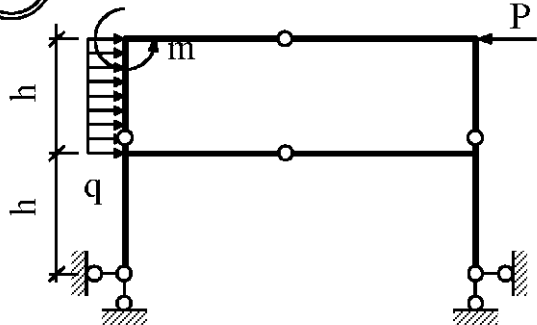
17



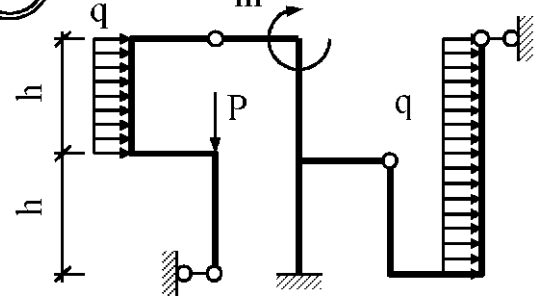
18



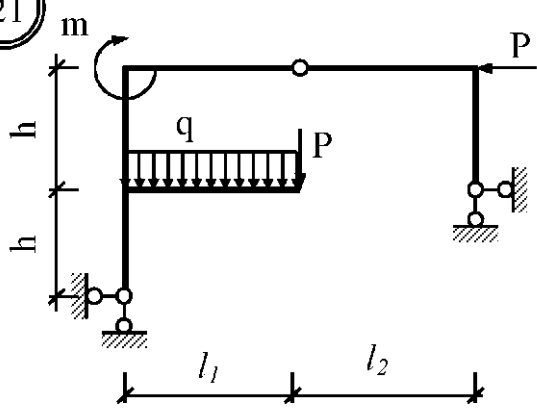
19



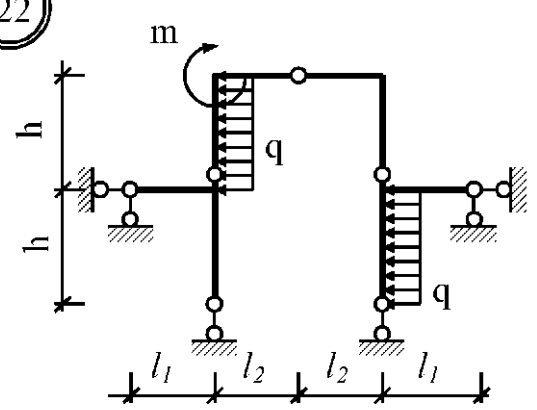
20



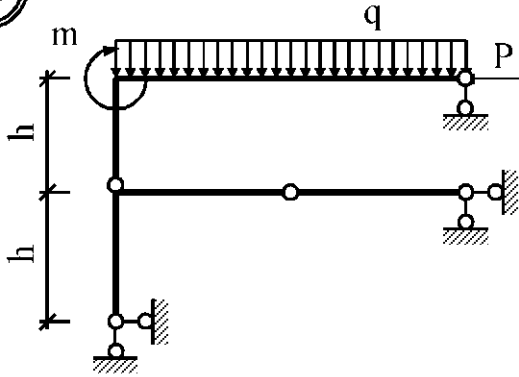
21



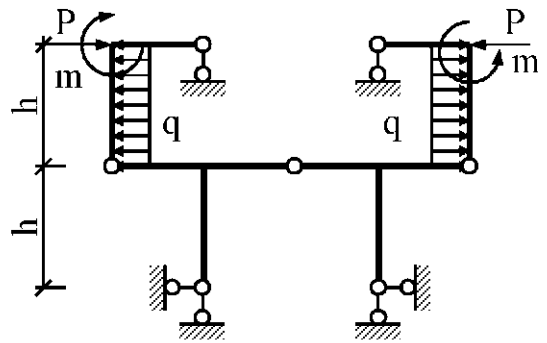
22



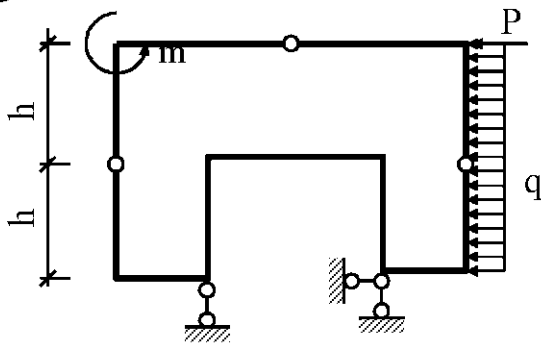
23



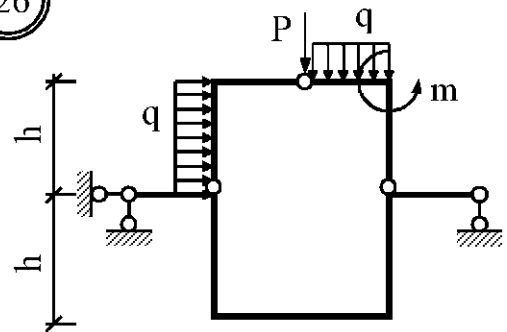
24



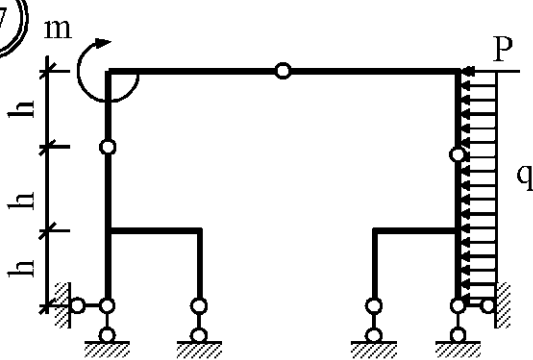
25



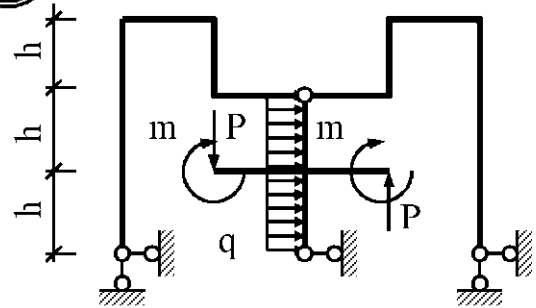
26



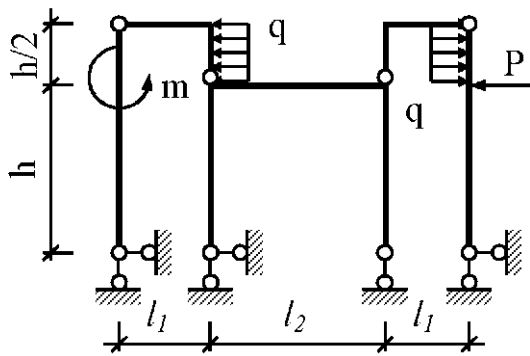
27



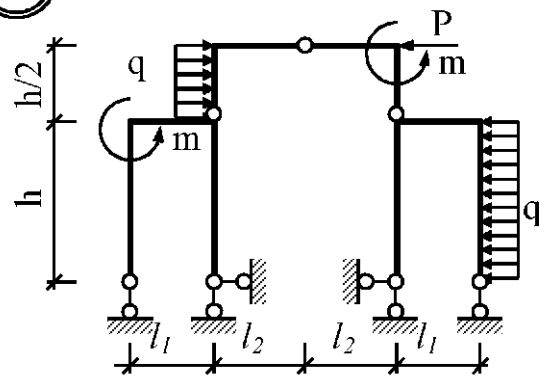
28

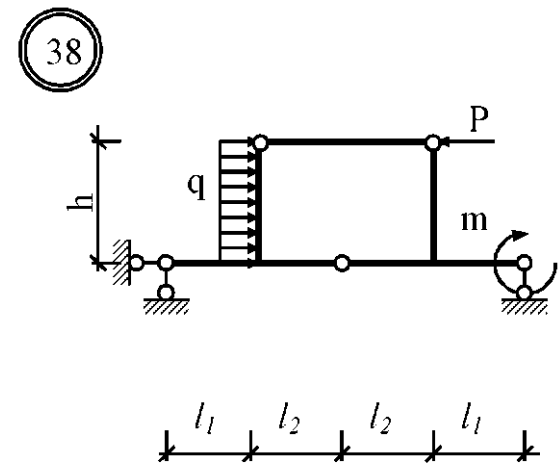
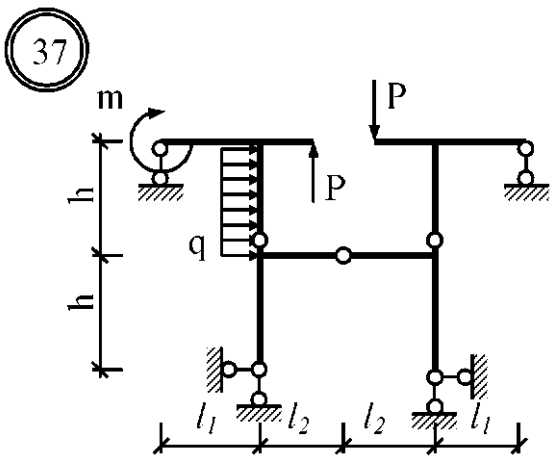
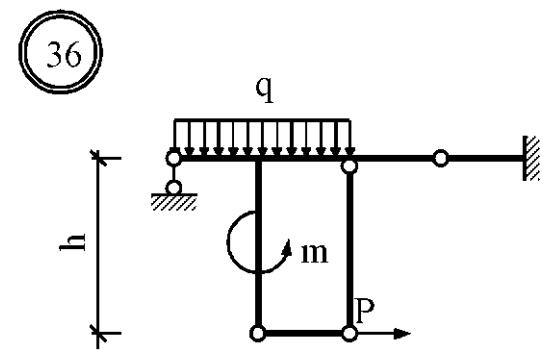
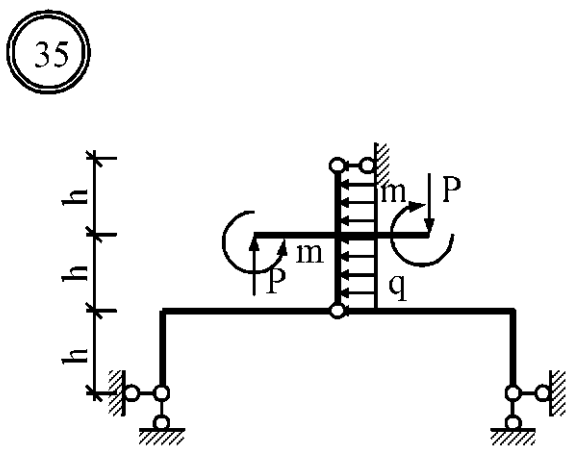
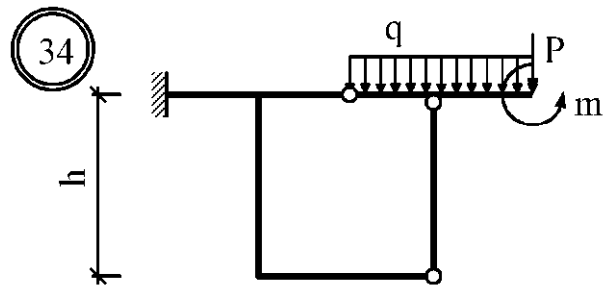
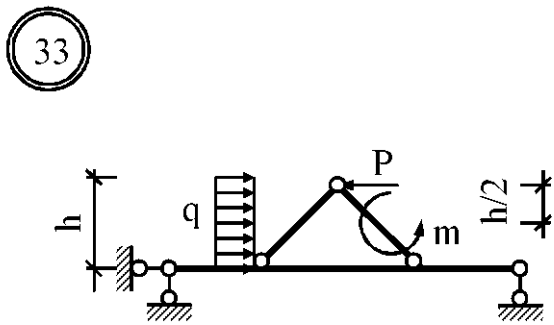
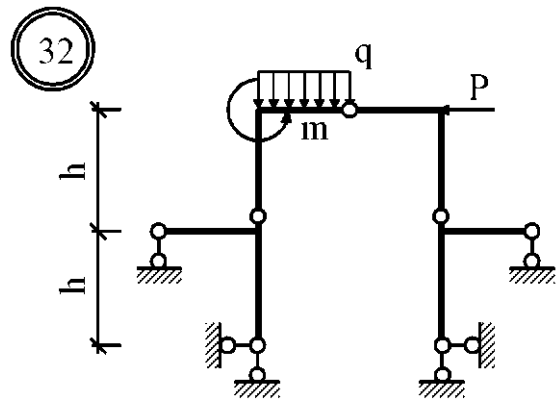
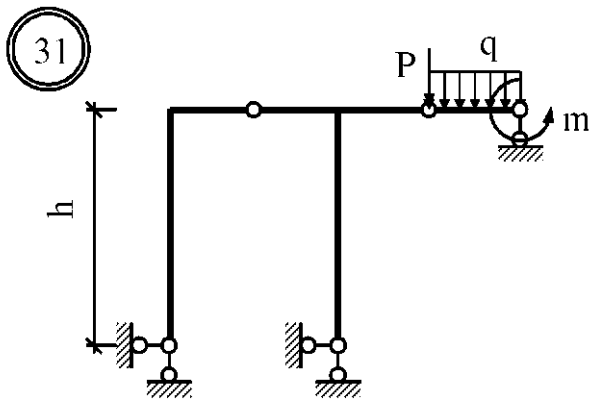


29

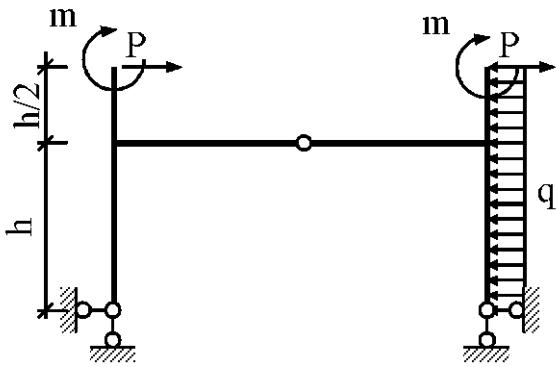


30

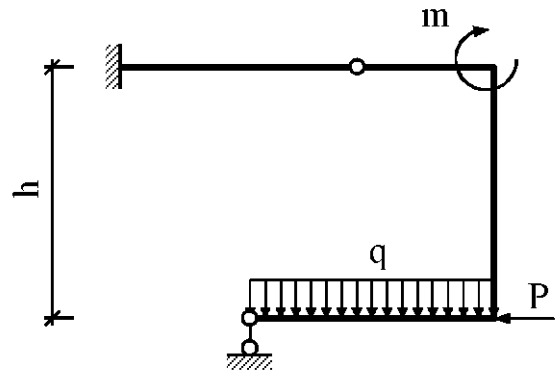




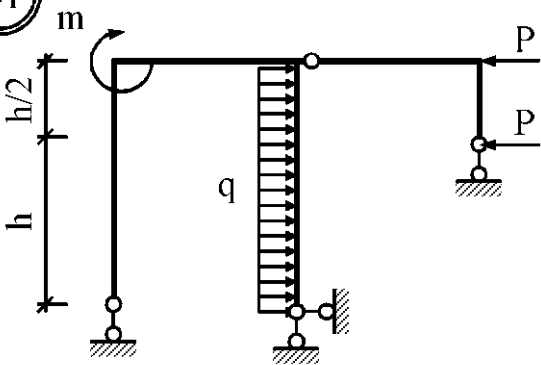
39



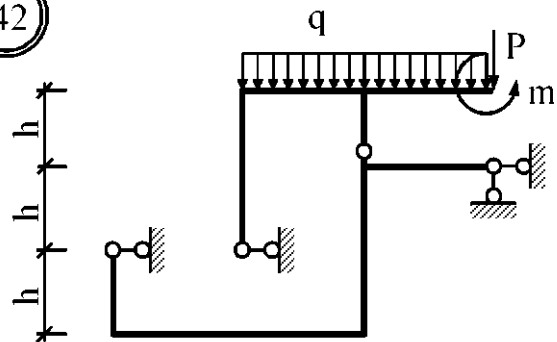
40



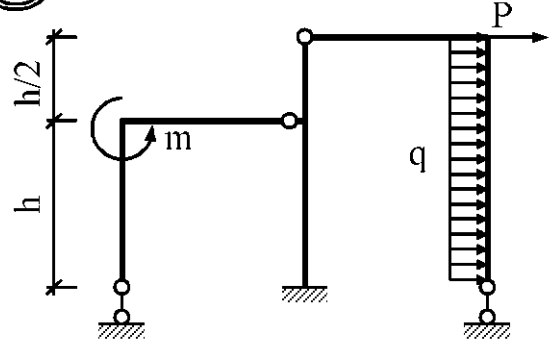
41



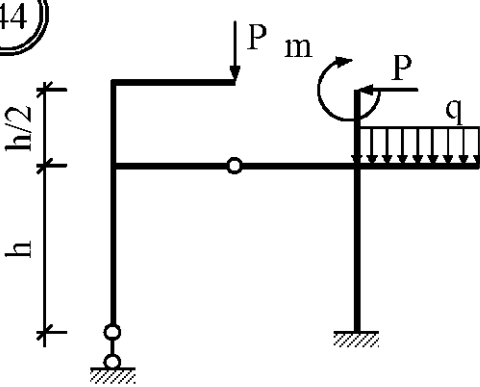
42



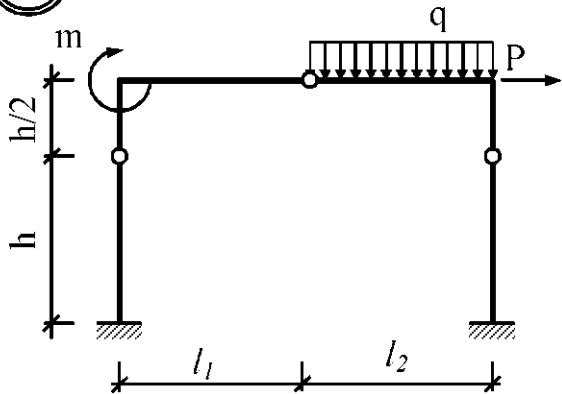
43



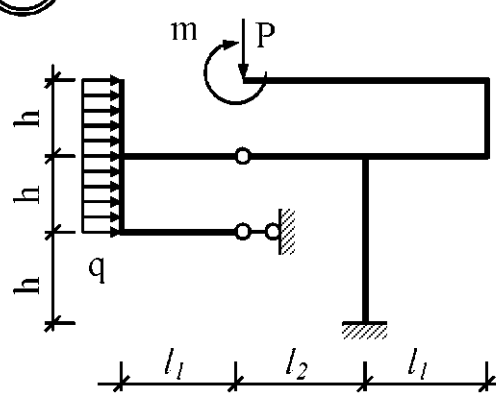
44

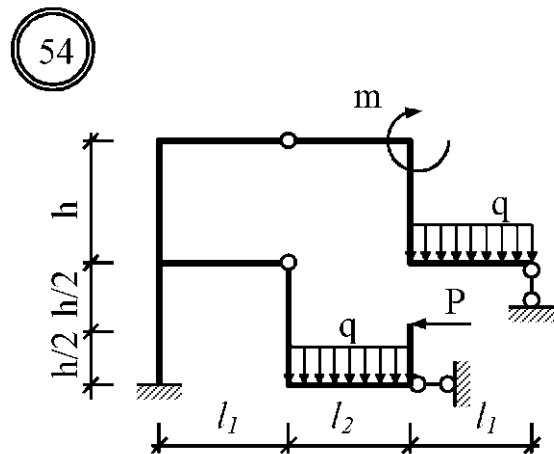
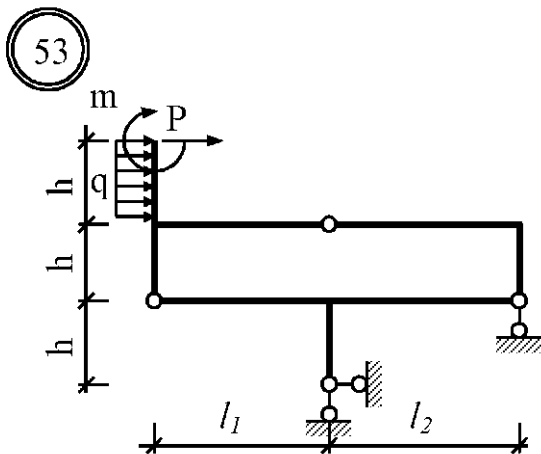
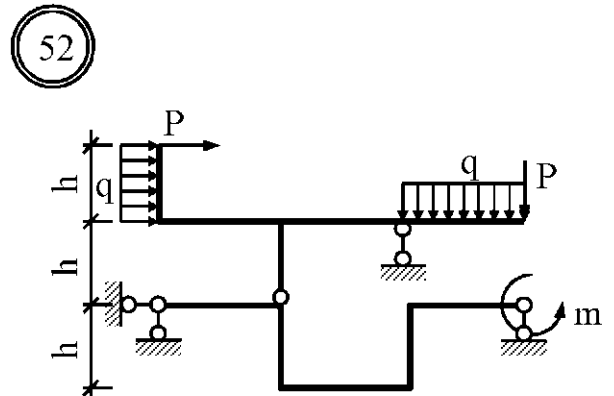
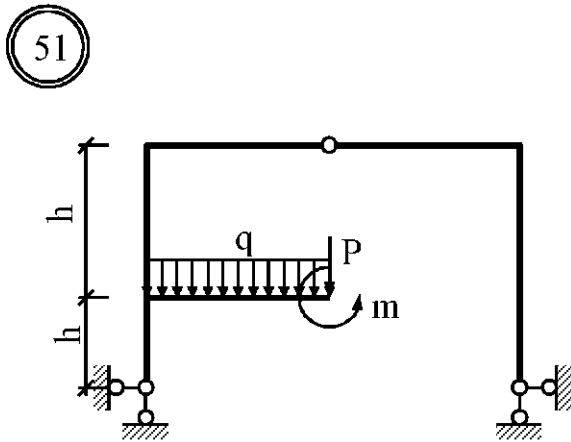
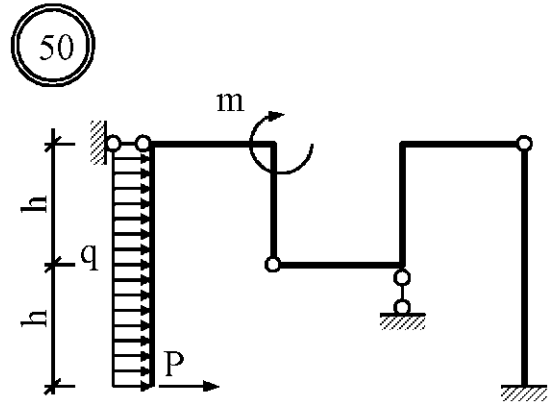
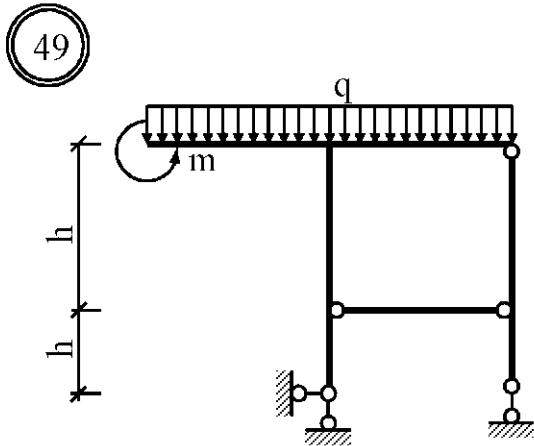
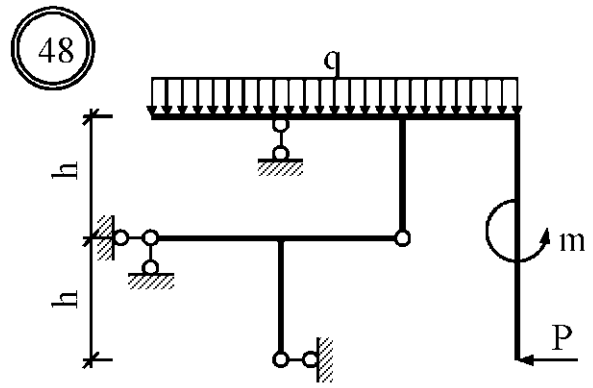
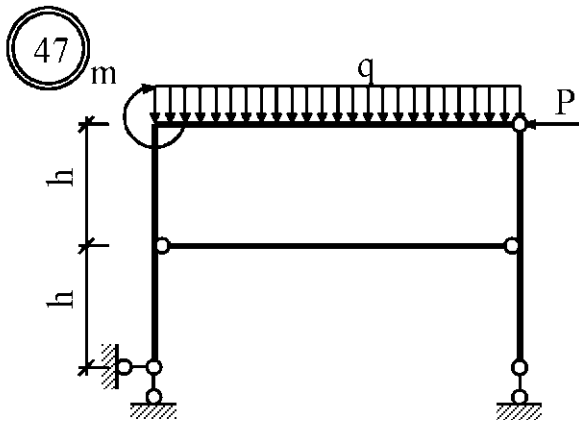


45

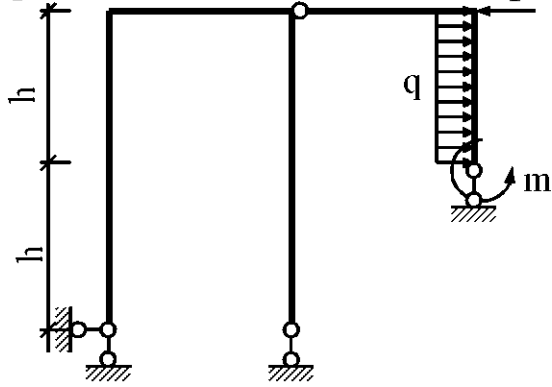


46

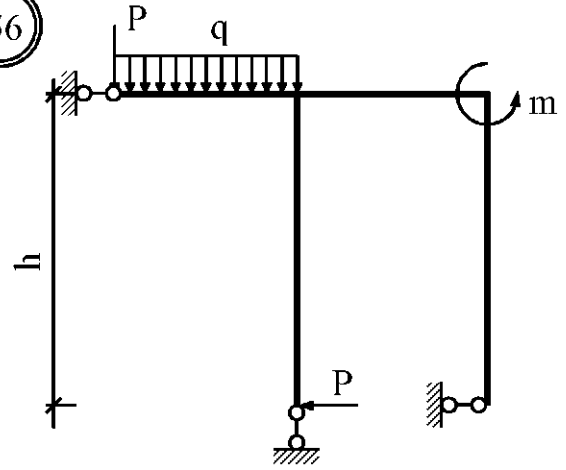




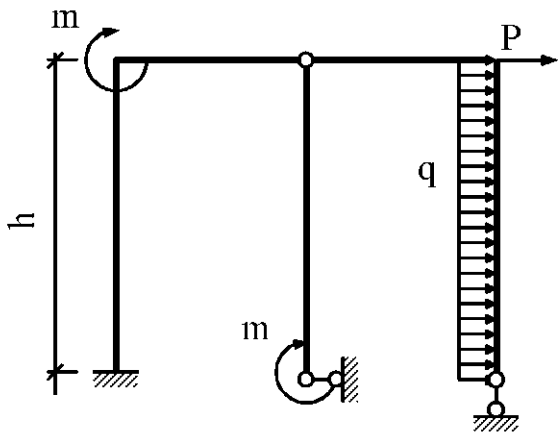
55



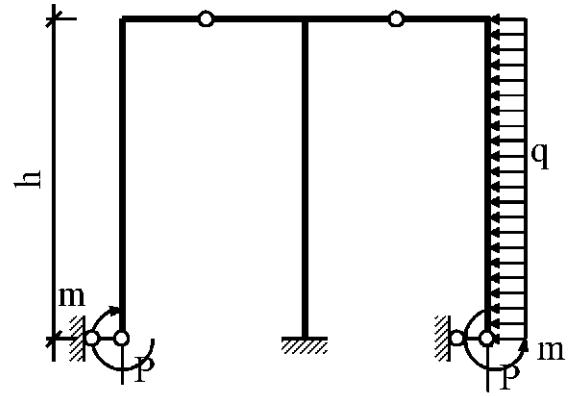
56



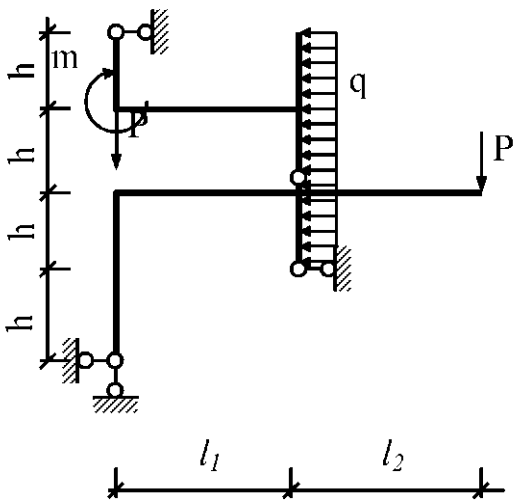
57



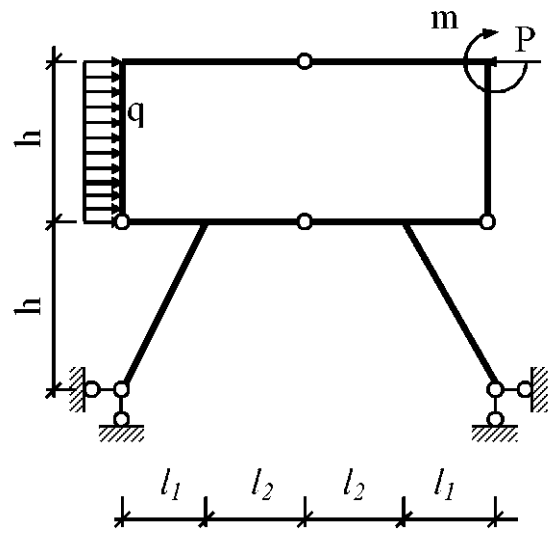
58



59



60



ПОРЯДОК ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАНИЙ

Варианты заданий для каждого студента определяются соответствующими номерами схем и строк, приводимыми в табл. 1, 2, 3. Номер варианта (номер строки в табл. 3) указывается преподавателем, ведущим практические занятия в группе. Номер строки табл. 1 совпадает с последней, а номер строки табл. 2 с предпоследней цифрами номера зачетной книжки.

Для заданной рамы требуется:

- 1) произвести анализ геометрической неизменяемости системы;
- 2) построить эпюры M , Q , N .
- 3) произвести проверку правильности построения эпюр;
- 4) произвести расчет на ЭВМ;
- 5) сравнить результаты ручного счета с результатами, полученными на «LIRA-Windows» версии 9.2.

Исходные данные определяются табл. 1, 2, 3 и приложенными к заданию схемами.

Таблица 1

№ строки	l_1 , м	l_2 , м	h , м
0	8	6	3
1	6	10	4
2	7	9	4
3	8	7	6
4	9	8	6
5	10	6	8
6	6	6	5
7	8	9	7
8	9	10	8
9	10	7	4

Таблица 2

№ строки	P , кН	q , кН/м	m , кНм
0	10	5	4
1	4	1	6
2	3	0,5	8
3	6	2	5
4	6	2	4
5	5	1,5	8
6	6	1,5	6
7	3	1	5
8	4	0,5	4
9	8	2	10

Таблица 3

Вариант	№ схем	Вариант	№ схем	Вариант	№ схем
1	1, 60	11	11, 50	21	21, 40
2	2, 59	12	12, 49	22	22, 39
3	3, 58	13	13, 48	23	23, 38
4	4, 57	14	14, 47	24	24, 37
5	5, 56	15	15, 46	25	25, 36
6	6, 55	16	16, 45	26	26, 35
7	7, 54	17	17, 44	27	27, 34
8	8, 53	18	18, 43	28	28, 33
9	9, 52	19	19, 42	29	29, 32
10	10, 51	20	20, 41	30	30, 31

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К АНАЛИТИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ

Расчет многодисковой рамы начинается с кинематического анализа. Для этой цели можно использовать выражение, представляющее необходимое условие геометрической неизменяемости:

$$C_0 + 2Ш - 3D = 0, \quad (1)$$

где C_0 – количество опорных связей; $Ш$ – количество простых шарниров; D – количество дисков и анализ геометрической структуры системы.

Определение опорных реакций

Опорные реакции нужно определить, если возможно, используя уравнения равновесия всей системы. В противном случае ее надо расчленивать на отдельные части, определить реакции в связях, составляя уравнения равновесия для каждого рассеченного диска.

Если какая-либо реакция связи получилась с отрицательным значением, рекомендуется исправить ее первоначальное направление на чертеже и в дальнейших расчетах считать положительной.

Для проверки найденных реакций всей рамы составляем уравнения.

Построение эпюр внутренних усилий

При вычислении внутренних усилий M , Q , N в сечениях элементов рамы условимся считать, что наблюдатель расположен на плоскости чертежа внутри рамы и обращен к сечению, в котором определяется усилие. Это необходимо сделать для того, чтобы было ясно, какую отсеченную часть считать левой, а какую – правой.

Изгибающий момент M в любом сечении рамы численно равен алгебраической сумме моментов сил, действующих на одну сторону от сечения, взятых относительно центра тяжести данного сечения. На эпюре M значения откладываются со стороны растянутых волокон, знаки не проставляются.

Поперечная сила Q в сечении численно равна алгебраической сумме проекций всех внешних сил, приложенных к части рамы, она расположена по одну сторону от сечения, на ось Y , перпендикулярную к его нормали.

Будем считать поперечную силу в сечении положительной, если она стремится повернуть сечение относительно произвольной точки, лежащей на внутренней нормали к нему, по часовой стрелке, и отрицательной, если против часовой стрелки. Знаки (+) и (–) проставляются на эпюре.

Продольная сила N равна алгебраической сумме проекций всех сил, находящихся по одну сторону от сечения, на ось X участка в данном сечении. Будем принимать ее положительной, если внешняя сила вызывает растяжение и отрицательной, если вызывает сжатие. На эпюре N проставляются знаки (+) и (–).

ПРИМЕР РАСЧЕТА МНОГОДИСКОВОЙ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМОЙ РАМЫ

Для заданной рамы (см. рис. 1) требуется:

- 1) произвести анализ геометрической неизменяемости системы;
- 2) построить эпюры M , Q , N ;
- 3) произвести проверку правильности построения эпюр.

РЕШЕНИЕ

Анализ геометрической неизменяемости системы

По формуле (1) $C_0 + 2Ш - 3D = 5 + 2 \cdot 5 - 3 \cdot 5 = 0$, т. е. необходимое условие выполнено.

Достаточное условие проверяем анализом схемы взаимодействия элементов: узел L прикреплен к основанию АН двумя дисками AL и HL, осевые линии которых не находятся на одной прямой, поэтому рама ALH геометрически не изменяема; по этой же причине рамы SEG и НОВ также геометрически неизменяемы. Следовательно, в целом рама геометрически неизменяема.

Построение эпюр внутренних усилий

Расчленим заданную раму на три части: верхнюю SEG, боковую НОВ и нижнюю ALH. Расчет необходимо начать с верхней или боковой части рамы, так как они воспринимают только нагрузку, приложенную к ним непосредственно. Силы же в шарнирах С, G и В оказывают давление на основную раму.

Расчет верхней части рамы

Определение опорных реакций (см. рис. 2)

$$\sum M_G = R_C - q \cdot 4 \cdot 2 = 0,$$

где $R_C = \frac{q \cdot 4 \cdot 2}{l} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 2}{8} = 2;$

$$\sum M_C = -R_G \cdot l + q \cdot 4 \cdot 6 = 0,$$

где $R_G = \frac{q \cdot 4 \cdot 6}{l} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 6}{8} = 6;$

$$\sum M_E^{np} = H_G \cdot 6 - R_G \cdot 4 + q \cdot 4 \cdot 2 = 0,$$

где $H_G = \frac{R_G \cdot 4 - q \cdot 4 \cdot 2}{6} = \frac{6 \cdot 4 - 2 \cdot 4 \cdot 2}{6} = 1,33;$

$$\sum M_E^{лев} = H_C \cdot 6 + R_C \cdot 4 = 0,$$

$$\text{где } H_C = -\frac{R_C \cdot 4}{6} = \frac{2 \cdot 4}{6} = -1,33.$$

Исправляем на чертеже направление и принимаем $H_C = 1,33$.

Проверка реакций связей:

$$\begin{aligned}\sum Y &= 2 + 6 - 2 \cdot 4 = 0; \\ \sum X &= 1,33 - 1,33 = 0.\end{aligned}$$

Построение эпюры М, Q, N для верхней рамы (см. рис. 2)

Для каждого участка записываем уравнения внутренних усилий, определяем по ним усилия в характерных сечениях:

Участок I, $x_1=(0 \div 6)$ м

$$M_{X_1} = \sum_{\text{ЛЭВ}} M = -H_C \cdot x_1; \quad Q_{X_1} = \sum_{\text{ЛЭВ}} Y = -H_C; \quad N_{X_1} = \sum_{\text{ЛЭВ}} X = -R_C.$$

$$\text{При } x_1 = 0 \text{ м: } M_{X_1} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_1} = -1,33 \text{ кН}, \quad N_{X_1} = -2 \text{ кН}.$$

$$\text{При } x_1 = 3 \text{ м: } M_{X_1} = -4 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_1} = -1,33 \text{ кН}, \quad N_{X_1} = -2 \text{ кН}.$$

$$\text{При } x_1 = 6 \text{ м: } M_{X_1} = -8 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_1} = -1,33 \text{ кН}, \quad N_{X_1} = -2 \text{ кН}.$$

Участок II, $x_2=(0 \div 8)$ м

$$M_{X_2} = \sum_{\text{ЛЭВ}} M = R_C \cdot x_2 - H_C \cdot 6 - g(x_2 - 4)^2 / 2;$$

$$Q_{X_2} = \sum_{\text{ЛЭВ}} Y = R_C - q(x_2 - 4);$$

$$N_{X_2} = \sum_{\text{ЛЭВ}} X = -H_C.$$

$$\text{При } x_2 = 0 \text{ м: } M_{X_2} = -8 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_2} = 2 \text{ кН}, \quad N_{X_2} = -1,33 \text{ кН};$$

$$\text{При } x_2 = 4 \text{ м: } M_{X_2} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_2} = 2 \text{ кН}, \quad N_{X_2} = -1,33 \text{ кН};$$

$$\text{При } x_2 = 6 \text{ м: } M_{X_2} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_2} = -2 \text{ кН}, \quad N_{X_2} = -1,33 \text{ кН};$$

$$\text{При } x_2 = 8 \text{ м: } M_{X_2} = -8 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_2} = -6 \text{ кН}, \quad N_{X_2} = -1,33 \text{ кН}.$$

Участок III, $x_3=(0 \div 6)$ м

$$M_{X_3} = \sum_{\text{ПРАВ}} M = H_G \cdot x; \quad Q_{X_3} = \sum_{\text{ПРАВ}} Y = H_G; \quad N_{X_3} = \sum_{\text{ПРАВ}} X = -R_G.$$

$$\text{При } x_3 = 0 \text{ м: } M_{X_3} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_3} = 1,33 \text{ кН}, \quad N_{X_3} = -6 \text{ кН};$$

$$\text{При } x_3 = 3 \text{ м: } M_{X_3} = 4 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_3} = 1,33 \text{ кН}, \quad N_{X_3} = -6 \text{ кН};$$

$$\text{При } x_3 = 6 \text{ м: } M_{X_3} = 8 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_3} = 1,33 \text{ кН}, \quad N_{X_3} = -6 \text{ кН}.$$

Эпюры для верхней рамы построены по вычисленным значениям внутренних усилий и показаны на рис. 3, 4, 5.

Расчет боковой части рамы

Определение опорных реакций (см. рис. 6)

$$\sum M_B = R_N \cdot 3 - m = 0,$$

где $R_N = \frac{m}{3} = 1,33$.

$$\sum X = H_B = 0, \text{ где } H_B = 0;$$

$$\sum Y = R_N - R_B = 0, \text{ где } R_B = R_N = 1,33.$$

Построение эпюр М, N, Q (см. рис. 7, 8, 9)

Участок VI, $x_4 = (0 \div 3)$ м

$$M_{X_4} = \sum_{\text{ЛЭВ}} M = 0; \quad Q_{X_4} = \sum_{\text{ЛЭВ}} Y = 0; \quad N_{X_4} = \sum_{\text{ЛЭВ}} X = -R_N = -1,33 \text{ кН}.$$

Участок V, $x_5 = (0 \div 3)$ м

$$M_{X_5} = \sum_{\text{ЛЭВ}} M = R_N \cdot x_5 - m; \quad Q_{X_5} = \sum_{\text{ЛЭВ}} Y = R_N = 1,33 \text{ кН}; \quad N_{X_5} = \sum_{\text{ЛЭВ}} X = 0.$$

$$\text{При } x_5 = 0 \text{ м: } M_{X_5} = -4 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\text{При } x_5 = 1,5 \text{ м: } M_{X_5} = -2 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\text{При } x_5 = 3 \text{ м: } M_{X_5} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Расчет нижней рамы

Нижнюю часть рамы рассчитываем с учетом давления на нее в шарнирах С, G верхней части и в шарнире В боковой части.

Определение опорных реакций (см. рис. 10)

$$\sum M_A = -R_{II} \cdot 8 + R_G \cdot 8 + P_1 \cdot 2 + P_2 \cdot 6 = 0,$$

$$\text{где } R_{II} = \frac{6 \cdot 8 + 5 \cdot 6 + 5 \cdot 2}{8} = 11;$$

$$\sum M_H = R_A \cdot 8 - R_C \cdot 8 - P_1 \cdot 6 - P_2 \cdot 2 + R_B \cdot 8 = 0,$$

$$\text{где } R_A = \frac{2 \cdot 8 + 5 \cdot 6 + 5 \cdot 2 - 1,33 \cdot 8}{8} = 5,67;$$

$$\sum M_L^{np} = H_{II} \cdot 6 + P_2 \cdot 2 + R_G \cdot 4 - R_{II} \cdot 4 = 0,$$

$$\text{где } H_{II} = \frac{-5 \cdot 2 - 6 \cdot 4 + 11 \cdot 4}{6} = 1,66;$$

$$\sum M_L^{лев} = -H_A \cdot 6 + (R_A + R_B - R_C) \cdot 4 - P_1 \cdot 2 = 0,$$

$$\text{где } H_A = \frac{(5,67 + 1,33 - 2) \cdot 4 - 5 \cdot 2}{6} = 1,66;$$

Проверка реакций связей:

$$\sum X = 5,67 + 1,33 + 11 - 2 - 5 - 5 - 6 = 0;$$

$$\sum Y = 1,66 - 1,66 + 1,33 - 1,33 = 0.$$

Построение эпюр М, N, Q

Раму ALH разбиваем на три участка (см. рис. 10). Для каждого участка записываем уравнения внутренних усилий, вычислим в характерных сечениях участков внутренние усилия.

Участок VI, $x_6 = (0 \div 6)$ м

$$M_{X_6} = \sum_{ЛЭВ} M = -H_A \cdot x_6; \quad Q_{X_6} = \sum_{ЛЭВ} Y = -H_A; \quad N_{X_3} = \sum_{ЛЭВ} X = -R_A - R_B.$$

$$\text{При } x_6 = 0 \text{ м: } M_{X_6} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_6} = -1,66 \text{ кН}, \quad N_{X_6} = -5,67 \text{ кН};$$

$$\text{При } x_6 = 3 \text{ м: } M_{X_6} = -4,98 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_6} = -1,66 \text{ кН}, \quad N_{X_6} = -5,67 \text{ кН};$$

(↑ сечение до точки В)

$$\text{При } x_6^* = 3 \text{ м: } M_{X_6} = -4,98 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_6} = -1,66 \text{ кН}, \quad N_{X_6}^* = -7 \text{ кН};$$

(↑ сечение после точки В)

$$\text{При } x_6 = 6 \text{ м: } M_{X_6} = -9,96 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad Q_{X_6} = -1,66 \text{ кН}, \quad N_{X_6} = -7 \text{ кН}.$$

Участок VII, $x_7=(0 \div 8)$ м

$$M_{X_7} = \sum_{\text{ЛЕВ}} M = (R_A + R_B - R_C) \cdot x_7 - P_1(x_7 - 2) - P_2(x_7 - 6) - H_A \cdot 6;$$

$$Q_{X_7} = \sum_{\text{ЛЕВ}} Y = R_A + R_B - R_C - P_1 - P_2;$$

$$N_{X_7} = \sum_{\text{ЛЕВ}} X = -H_A + H_C.$$

$$\text{При } x_7 = 0 \text{ м: } M_{X_7} = -9,96 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_7} = 5 \text{ кН}, \quad N_{X_7} = -0,33 \text{ кН};$$

$$\text{При } x_7 = 2 \text{ м: } M_{X_7} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_7} = 5 \text{ кН}, \quad N_{X_7} = -0,33 \text{ кН};$$

$$\text{При } x_7^* = 2 \text{ м: } M_{X_7} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_7} = 0 \text{ кН}, \quad N_{X_7} = -0,33 \text{ кН};$$

$$\text{При } x_7 = 4 \text{ м: } M_{X_7} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_7} = 0 \text{ кН}, \quad N_{X_7} = -0,33 \text{ кН};$$

$$\text{При } x_7 = 6 \text{ м: } M_{X_7} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_7} = 0 \text{ кН}, \quad N_{X_7} = -0,33 \text{ кН};$$

$$\text{При } x_7^* = 6 \text{ м: } M_{X_7} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_7} = -5 \text{ кН}, \quad N_{X_7} = -0,33 \text{ кН};$$

$$\text{При } x_7 = 8 \text{ м: } M_{X_7} = -9,96 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_7} = 5 \text{ кН}, \quad N_{X_7} = -0,33 \text{ кН};$$

Участок VIII, $x_8=(0 \div 6)$ м

$$M_{X_8} = - \sum_{\text{ПРАВ}} M = -H_H \cdot x_8; \quad Q_{X_8} = - \sum_{\text{ПРАВ}} Y = H_H; \quad N_{X_8} = - \sum_{\text{ПРАВ}} X = -R_H.$$

$$\text{При } x_8 = 0 \text{ м: } M_{X_8} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_8} = 1,66 \text{ кН}, \quad N_{X_8} = -11 \text{ кН};$$

$$\text{При } x_8 = 6 \text{ м: } M_{X_8} = -9,96 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad Q_{X_8} = 1,66 \text{ кН}, \quad N_{X_8} = -11 \text{ кН}.$$

Эпюры М, N, Q для нижней рамы АЛН показаны на рис. 11, 12, 13.

Для всей заданной рамы эпюры приведены на рис. 14, 15, 16.

Правильность построения эпюр необходимо проверить вырезанием узлов.

Составление уравнений равновесия узлов показано на рис. 17 – 21.

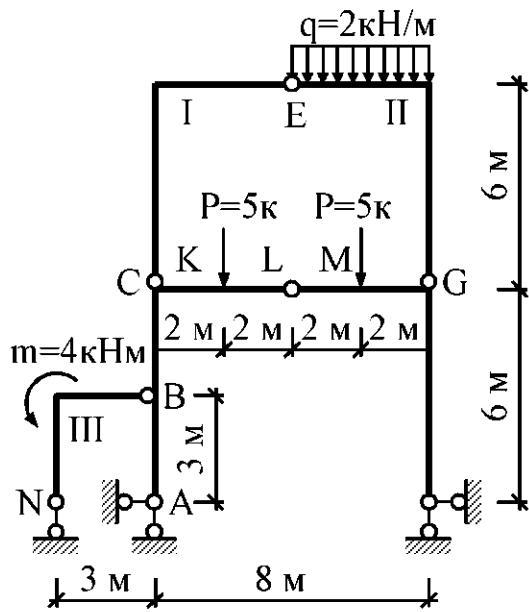


Рис. 1

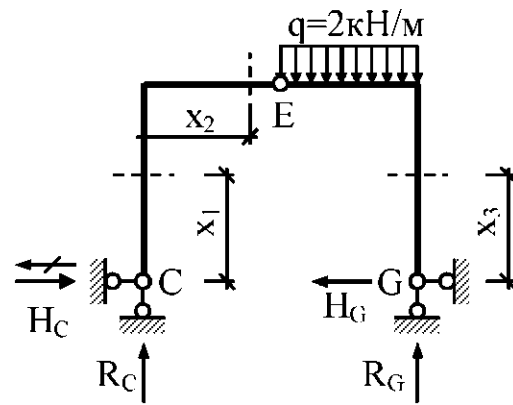


Рис. 2

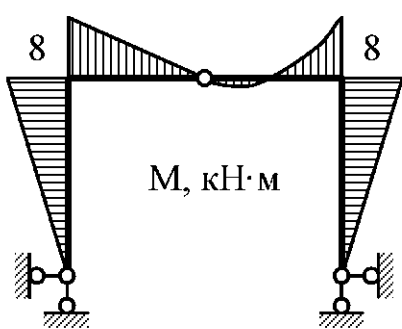


Рис. 3

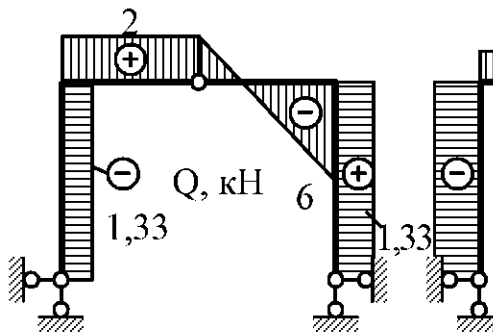


Рис. 4

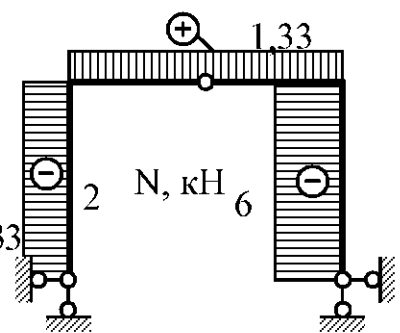


Рис. 5

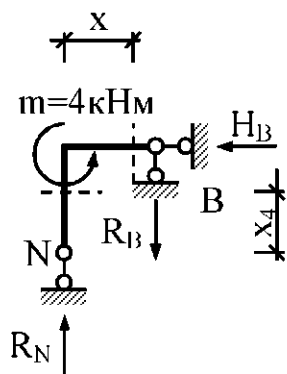


Рис. 6

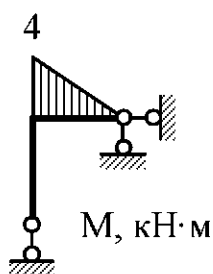


Рис. 7

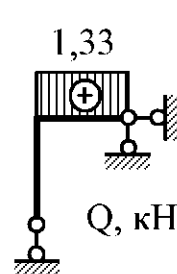


Рис. 8

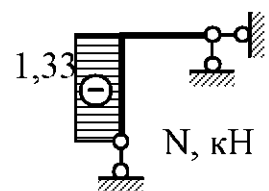


Рис. 9

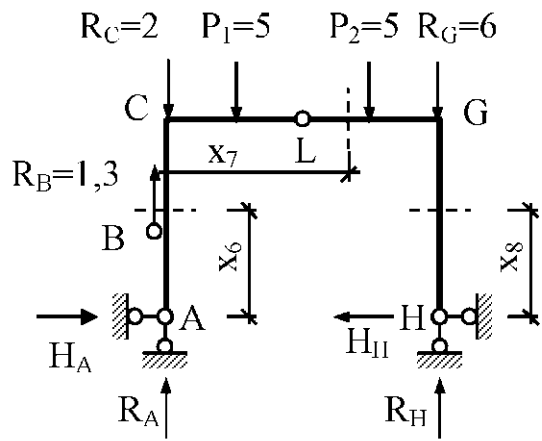


Рис. 10

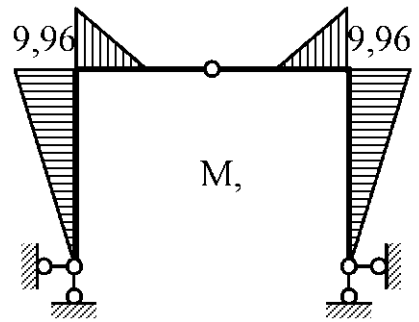


Рис. 11

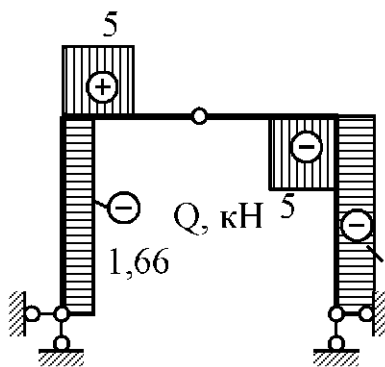


Рис. 12

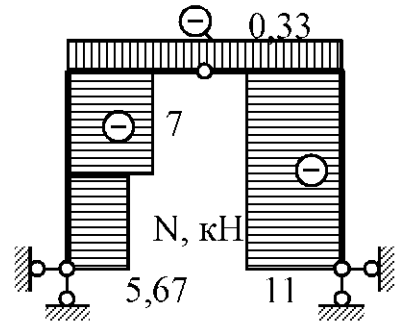


Рис. 13

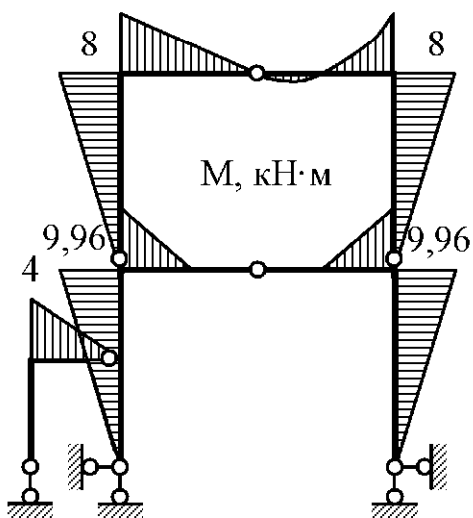


Рис. 14

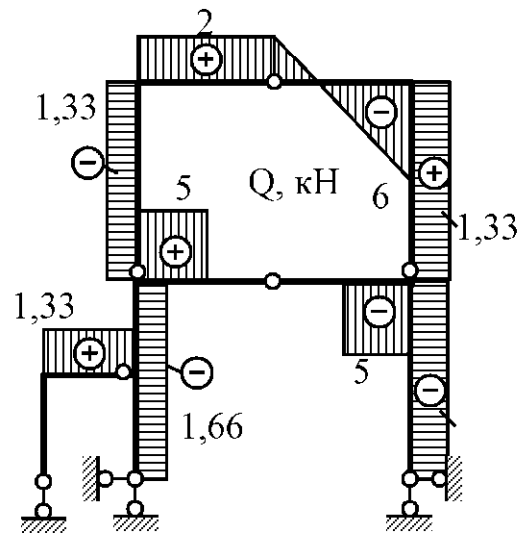


Рис. 15

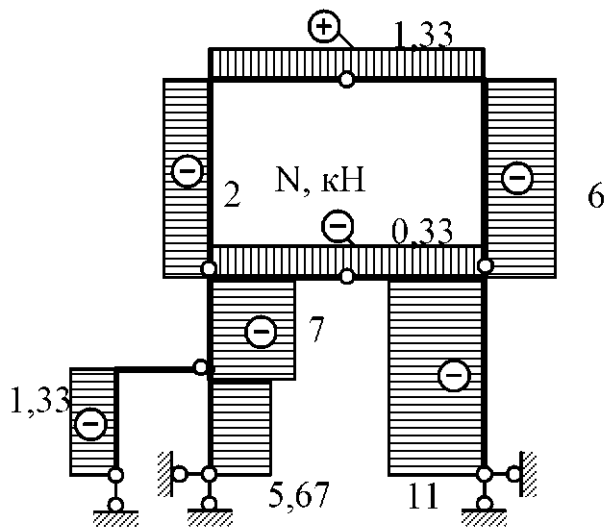
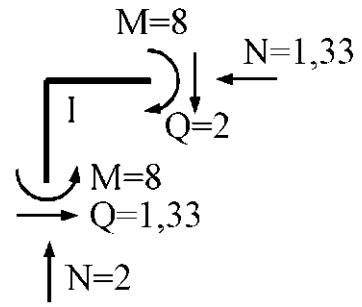
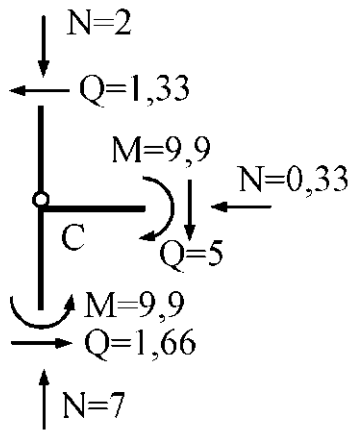


Рис. 16



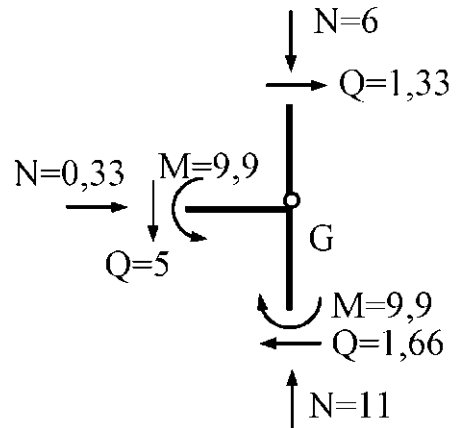
Узел I
 $\Sigma Y = 2 - 2 = 0;$
 $\Sigma X = 1,33 - 1,33 = 0;$
 $\Sigma M = 8 - 8 = 0.$

Рис. 17



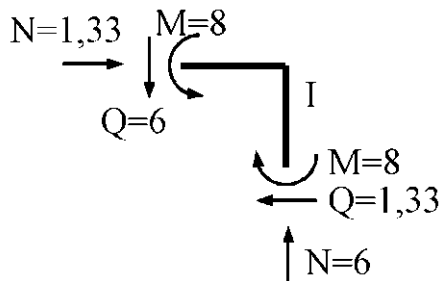
Узел C
 $\Sigma Y = 7 - 2 - 5 = 0;$
 $\Sigma X = 1,66 - 1,33 - 0,33 = 0;$
 $\Sigma M = 9,96 - 9,96 = 0.$

Рис. 18



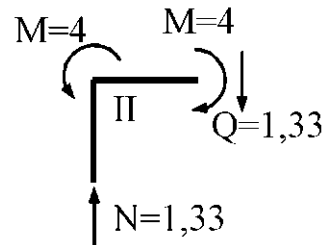
Узел G
 $\Sigma Y = 11 - 6 - 5 = 0;$
 $\Sigma X = 0,33 - 1,66 + 1,33 = 0;$
 $\Sigma M = 9,96 - 9,96 = 0.$

Рис. 19



Узел II
 $\Sigma Y = 2 - 2 = 0;$
 $\Sigma X = 1,33 - 1,33 = 0;$
 $\Sigma M = 8 - 8 = 0.$

Рис. 20



Узел III
 $\Sigma Y = 1,33 - 1,33 = 0;$
 $\Sigma X = 0;$
 $\Sigma M = 4 - 4 = 0.$

Рис. 21