

## РАБОТА № 4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ РАМЫ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

### Задание и исходные данные

Схема рамы и числовые данные выбираются соответственно на рис.33 и в табл.7 по заданию преподавателя.

Таблица 7

№ п/п	$l$ , м	$h$ , м	$F$ , кН	$q$ , кН/м	$I_1 : I_2 : I_3$
1	6	5	20	15	4:1:1
2	5	7	10	20	4:1:2
3	4	5	30	18	4:2:3
4	7	6	15	12	4:2:2
5	8	6	40	30	2:1:1
6	6	8	30	25	3:2:1
7	5	6	20	10	3:1:1
8	8	7	20	20	3:1:2
9	8	5	5	10	4:3:2
10	8	8	10	15	4:3:1
11	4	5	30	20	2:2:1
12	4	6	40	25	2:2:2
13	4	3	20	12	4:2:2
14	5	4	10	8	4:2:2
15	5	6	30	16	4:2:1
16	5	8	30	20	4:2:3
17	6	6	5	4	4:1:2
18	8	7	25	10	2:1:2
19	4	5	20	14	2:1:1
20	8	10	15	10	3:2:1
21	4	5	5	8	3:1:1
22	6	7	10	12	4:3:2
23	5	7	40	10	4:3:1
24	7	6	30	20	3:2:1

Для заданной рамы:

- найти степень кинематической неопределимости;
- выбрать основную систему;

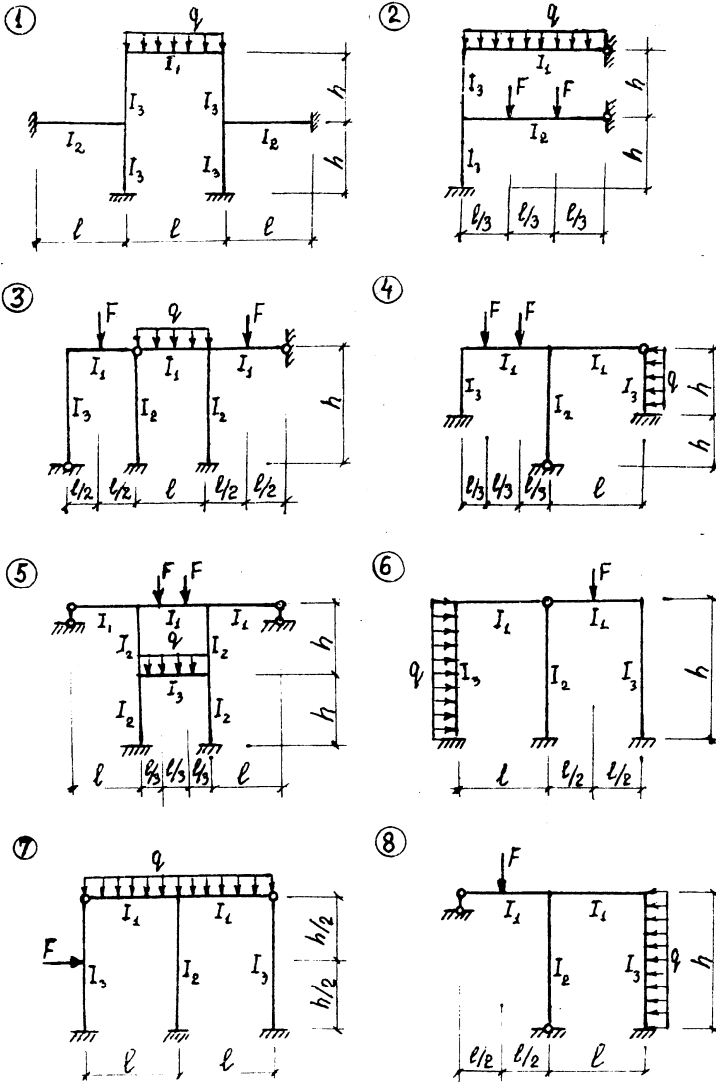


Рис.33

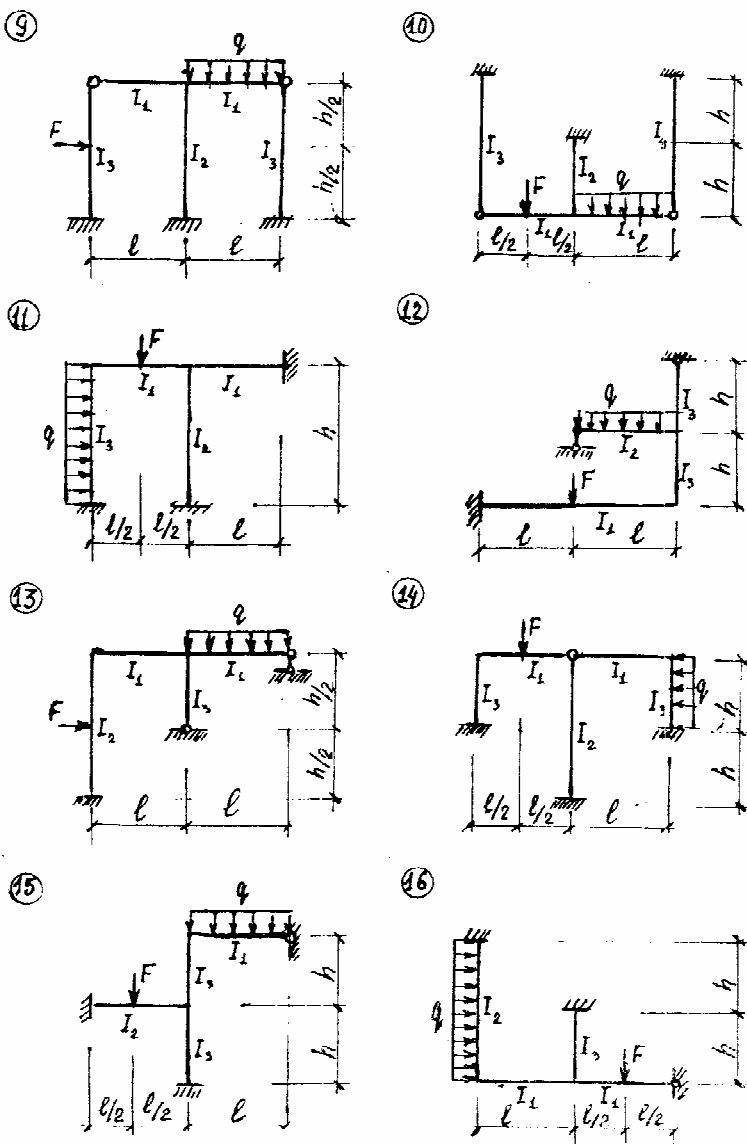
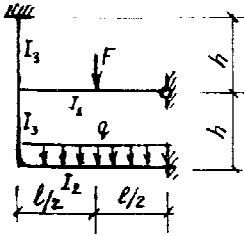
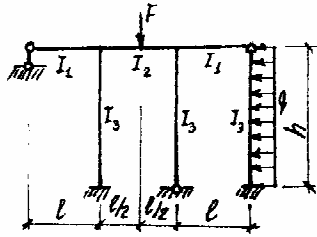


Рис.33 (продолжение)

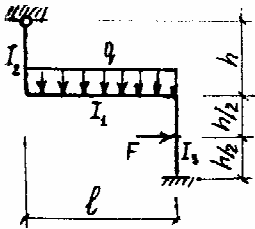
17



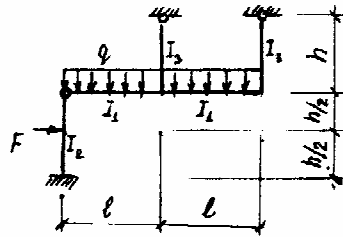
18



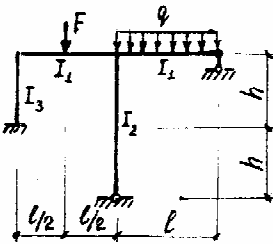
19



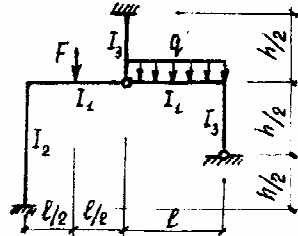
20



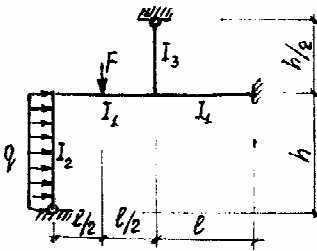
21



22



23



24

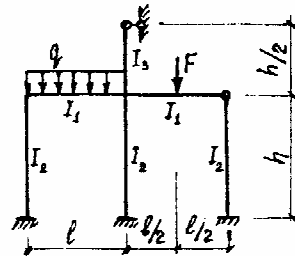


Рис.33 (окончание)

- записать канонические уравнения;
- построить эпюры изгибающих моментов в основной системе от единичных смещений связей и от нагрузки;
- определить коэффициенты и свободные члены канонических уравнений;
- решить систему канонических уравнений;
- построить эпюру изгибающих моментов в заданной раме;
- проверить правильность расчета;
- построить эпюру поперечных сил; построить эпюру продольных сил.

### Пример расчета

Для рамы, приведенной на рис.34, *a* построить эпюры внутренних усилий.

**1. Степень кинематической неопределимости.** Так как рама имеет один жесткий узел, то число угловых смещений ее узлов  $n_y = 1$ . Для определения числа линейных смещений ставим во все узлы рамы шарниры (рис.34, *б*) и выясняем, что узлы ригеля могут смещаться по горизонталям. Для устранения этих смещений достаточно в любой из узлов ригеля поставить горизонтальный опорный стержень, т.е.  $n_l = 1$ . Таким образом, в соответствии с (28), рама дважды ( $n = n_y + n_l = 2$ ) кинематически неопределима.

**2. Основная система** получается постановкой плавающей заделки в жесткий узел и опорного стержня, например, в правый узел ригеля (рис.34, *в*).

#### 3. Канонические уравнения:

$$r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + R_{1f} = 0,$$

$$r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + R_{2f} = 0.$$

**4. Эпюры изгибающих моментов в основной системе** строим с помощью табл.1

Перед построением единичных эпюр (рис.34, *з*) удобно изобразить деформированные оси рамы (показаны пунктиром).

При построении эпюры  $M_f$  (рис.34, *д*) от нагрузки предварительно, пользуясь принципом независимости действия сил, строим эпюры от каждой из сосредоточенных сил, а затем суммируем их (рис.34, *е*).

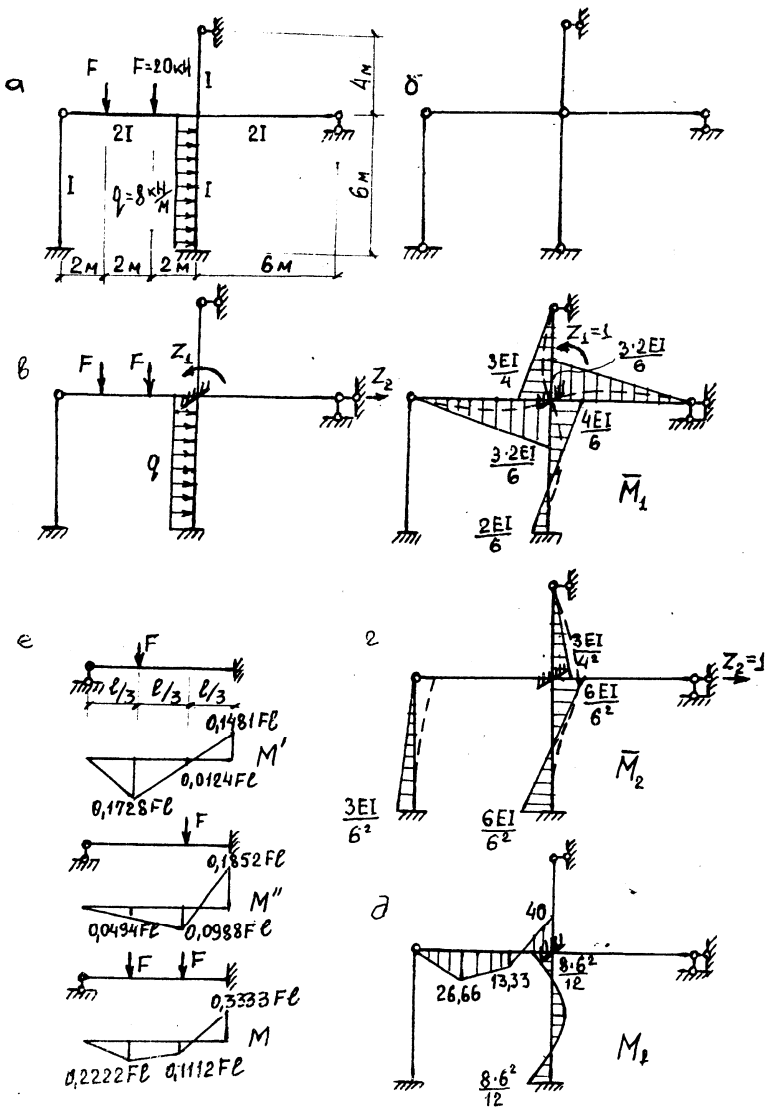


Рис.34

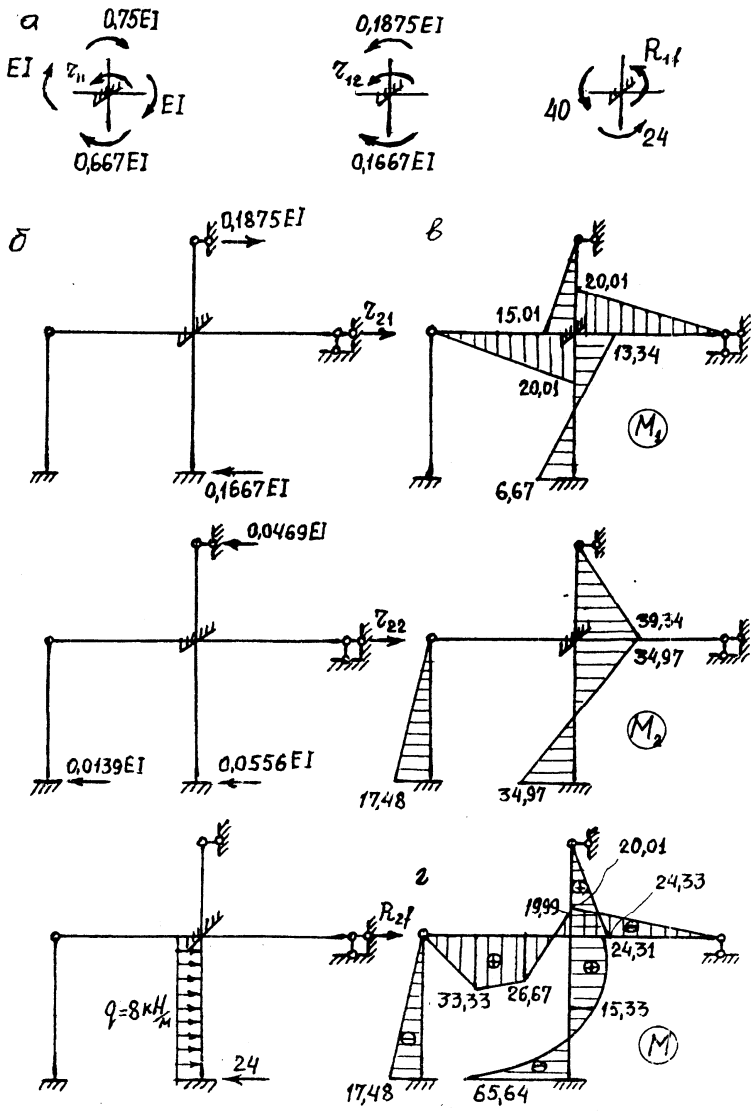


Рис.35

**5. Коэффициенты и свободные члены канонических уравнений** определяем из условий равновесия: жесткого узла (рис.35, а) – для реакций в плавающей заделке и всей рамы (рис.35, б) – для реакций в опорном стержне. Таким образом:

$$r_{11} = 0,75EI + EI + 0,667EI + EI = 3,417EI;$$

$$r_{12} = 0,1667EI - 0,1875EI = -0,0208EI;$$

$$R_{1f} = -40 - 24 = -64 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$r_{21} = 0,1667EI - 0,1875EI = -0,0208EI;$$

$$r_{22} = 0,0469EI + 0,0556EI + 0,0139EI = 0,1164EI;$$

$$R_{2f} = 24 - 8 \cdot 6 = -24 \text{ кН}.$$

Теорема о взаимности реакций выполнена:  $r_{21} = r_{12}$ .

**6. Решение системы уравнений.**

$$\begin{cases} 3,417EI \cdot Z_1 - 0,0208EI \cdot Z_2 - 64 = 0, \\ -0,0208EI \cdot Z_1 + 0,1164EI \cdot Z_2 - 24 = 0; \Rightarrow Z_2 = 0,1787Z_1 + \frac{206,2}{EI}; \end{cases}$$

$$3,413EI \cdot Z_1 - \frac{68,28}{EI} = 0; \quad Z_1 = \frac{20,01}{EI}; \quad Z_2 = \frac{209,8}{EI}.$$

Проверка правильности решения:

$$3,417 \cdot 20,01 - 0,0208 \cdot 209,8 - 64 = 68,37 - 68,36 \approx 0;$$

$$-0,0208 \cdot 20,01 + 0,1164 \cdot 209,8 - 24 = 24,42 - 24,42 = 0.$$

**7. Эпюра изгибающих моментов в заданной раме** строится с помощью исправленных эпюр (рис.35, в) и приведена на рис.35, г.

**8. Проверка эпюры моментов** выполняется по равновесию узлов (рис.36, а)

$$\sum M = 20,01 + 24,31 - 24,33 - 19,99 = 0.$$

**9. Эпюры поперечных и продольных сил** строятся как в методе сил и приведены на рис.36, б.

**10. Проверка равновесия рамы.** Отсекая раму от опор, прикладываем в местах сечений продольные и поперечные силы (рис.36, в). Достаточно для проверки рассмотреть условия равновесия в направлении линейных смещений узлов (в примере вдоль оси  $x$ ). Поэтому изгибающие моменты в сечениях можно не показывать. Получаем:



$$\sum x = 8 \cdot 6 - 38,99 - 2,91 - 6,08 = 48 - 47,98 \approx 0.$$

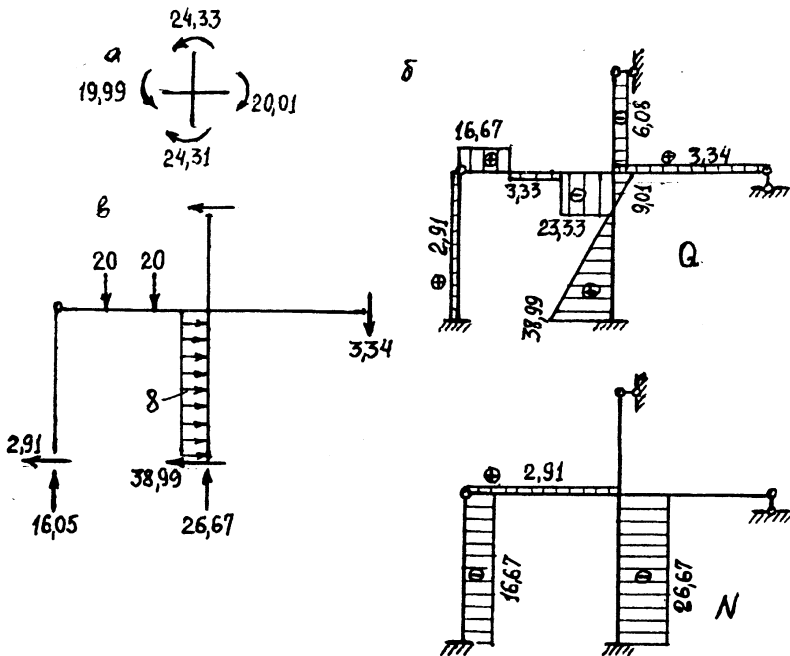


Рис.36

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строительная механика / Под ред. Ю.И.Бутенко. – К.: Вища школа, 1989. – 479 с.
2. Строительная механика: Руководство к практическим занятиям / Под ред. Ю.И.Бутенко. – К.: Вища школа, 1989. – 376 с.
3. Механiка споруд. Шутенко Л.М., Пустовойтов В.П., Засядько М.А. – Харкiв: ХДАМГ, 2001. – 234 с.
4. Механiка споруд: Керiвництво до практичних занять. Шутенко Л.М., Пустовойтов В.П., Засядько М.А. – Харкiв: ХДАМГ, 2002. – 239 с.
5. Строительная механика. Краткий курс /Раздел 1. Статически определяемые стержневые системы. Шутенко Л.Н., Пустовойтов В.П., Засядько Н.А. – Харьков: ХГАГХ, 2003. – 94 с.

Учебное издание  
Строительная механика: Краткий курс / Раздел 2. Статически неопределимые системы (для студентов строительных специальностей).

Авторы: Леонид Николаевич Шутенко  
Владимир Павлович Пустовойтов,  
Николай Андреевич Засядько

Редактор Н.З.Алябьев

План 2003, поз. 134

Подп. к печати	Формат 60x84.1/16	Бумага офисная
Печать на ризографе	Уч.-изд. л. 5,6	Усл.-печ. л. 4,9
Тираж 100 экз.	Зак. №	Цена договорная
61002, ХГАГХ, Харьков, ул. Революции, 12		
Сектор оперативной полиграфии при ИВЦ ХГАГХ		
61002, ХГАГХ, Харьков, ул. Революции, 12		