

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждения образования

«Брестский государственный технический университет»

Кафедра строительной механики

**Контрольные работы  
и методические указания**

по дисциплине “Строительная механика”  
для студентов строительных специальностей  
заочной формы обучения

Брест 2004

УДК 624.04

Контрольные работы и методические указания по дисциплине “Строительная механика” для студентов строительных специальностей заочной формы обучения / Сост. В. И. Игнатюк, И. С. Сыроквашко; Брестский государственный технический университет. – Брест, 2004. – 32 с., 9 ил., 9 табл.

Контрольные работы и методические указания составлены в соответствии с учебными программами дисциплин «Строительная механика для студентов специальностей 70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» и 70 03 01 «Автомобильные дороги».

Составители: В. И. ИГНАТЮК, доцент, канд. техн. наук,  
И. С. СЫРОКВАШКО, доцент, канд. техн. наук

Рецензент: главный инженер Республиканского унитарного научно-исследовательского и опытно-конструкторского предприятия «Научно-технический центр», канд. техн. наук В. Н. ДЕРКАЧ

© Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет» 2004

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Контрольные работы и методические указания составлены в соответствии с учебными программами дисциплин «Строительная механика для студентов специальностей 70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» и 70 03 01 «Автомобильные дороги».

Основной формой изучения курса строительной механики для студентов-заочников является самостоятельная работа с учебниками и учебными пособиями. Изучение любого раздела курса следует начинать с проработки по учебнику теоретического материала, обращая внимание на общие принципы и подходы, выделяя ключевые моменты и затем разбирая принципы решения соответствующего теме класса задач. При этом рекомендуется составлять краткий конспект по изучаемому материалу. Только изучив теоретический материал и решив самостоятельно ряд задач, приведённых в учебниках и учебных пособиях, можно приступить к выполнению соответствующей контрольной работы. Следует помнить, что глубокое усвоение любого материала достигается только в процессе самостоятельной работы. В случае необходимости следует обращаться за консультациями и разъяснениями к преподавателю.

В качестве учебников и пособий для изучения курса рекомендуются:

1. Строительная механика / Под ред. А.В.Даркова. – М., 1976. – 600 с.
2. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. – М., 1986. – 607 с.
3. Довнар Е.П., Коршун Л.И. Строительная механика. – Минск, 1986. – 310 с.
4. Снитко Н.К. Строительная механика. – М., 1980. – 432 с.
5. Киселев В.А. Строительная механика. Общий курс – М., 1986. – 616 с.
6. Селюков В.М. Расчётно-проектировочные работы по строительной механике. – Минск, 1989. – 205 с.
7. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Статика стержневых систем / Под ред. Г.К. Клейна. – М.: Высшая школа, 1980. – 384 с.
8. Методические указания к выполнению расчётно-проектировочных работ по строительной механике. Для студентов-заочников строительных специальностей / Сост. И.С. Сыроквашко; БПИ. – Брест, 1983. – 42 с.
9. Построение эпюр внутренних усилий в статически определимых плоских рамно-стержневых системах: Методические указания по дисциплине «Строительная механика» для студентов строительных специальностей / В.И. Игнатюк; БГТУ. – Брест, 2002. – 36с.
10. Метод перемещений при определении внутренних усилий в плоских ста-

тически неопределимых рамах: Методические указания по курсу “Строительная механика” для студентов строительных специальностей / В.И. Игнатюк; БПИ. – Брест, 1997. – 36с.

11. Метод сил в расчетах статически неопределимых рам: Методические указания по дисциплине «Строительная механика» для студентов строительных специальностей / В.И. Игнатюк; БГТУ. – Брест, 2003. – 60с.
12. Клейн Г.К. и др. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Основы теории устойчивости, динамики сооружений и расчёта пространственных систем. М.: Высш. шк, 1980. – 320 с.
13. Коршун Л.И., Игнатюк В.И., Хамутовский А.С. Основы устойчивости стержневых систем. Уч. пос. – Брест, 1995. – 64с.

### Общие указания о порядке выполнения контрольных работ

Исходные данные для решения задач выбираются студентом из таблиц данных (№ 1-9) в соответствии с его личным учебным шифром, который для задач курса строительной механики состоит из четырёх цифр и определяется по последним четырём цифрам номера зачётной книжки студента следующим образом:

- первая цифра шифра определяется суммой последних четырёх цифр номера зачётной книжки, у которой отбрасываются десятки, если они есть;
- вторая цифра шифра определяется суммой трёх последних цифр номера зачётной книжки, у которой отбрасываются десятки, если они есть;
- третья цифра шифра определяется суммой двух последних цифр номера зачётной книжки, у которой отбрасываются десятки, если они есть;
- последняя (четвёртая) цифра шифра равна последней цифре номера зачётной книжки.

Например, если номер зачётной книжки студента – 9424928, то его шифр будет определяться цифрами этого номера 4928 и будет равен – **3908**.

Его определение:

1-ая цифра –  $4+9+2+8=23$ ; без десятков – 3;

2-ая цифра –  $9+2+8=19$ ; без десятков – 9;

3-я цифра –  $2+8=10$ ; без десятков – 0;

4-ая цифра шифра – 8.

Для номера зачётной книжки 9325127 шифр будет – 5097

(1-ая цифра –  $5+1+2+7=15$ ; 2-ая цифра –  $1+2+7=10$ ; 3-я цифра –  $2+7=9$ ; 4-ая – 7).

⚠ Работы, выполненные не по шифру, не зачитываются и возвращаются без рассмотрения.

Прежде, чем приступить к выполнению контрольной работы, необходимо изучить соответствующий раздел курса.

Несамостоятельное выполнение контрольных работ не даёт возможности преподавателю-рецензенту вовремя заметить недочёты в подготовке студента, в результате чего студент не приобретает необходимых знаний и оказывается неподготовленным к сдаче зачёта, экзамена.

Рекомендуется представлять на рецензию контрольные работы сразу после их выполнения, по одной, с тем, чтобы замечания рецензента могли бы быть учтены при выполнении и оформлении следующей работы.

⚠ Каждая контрольная работа должна выполняться на одном листе чертёжной бумаги либо миллиметровки стандартного размера (формата А1 – 594x841 мм, либо А2 – 594x420 мм) с размещением на нём всех чертежей и необходимых расчётов.

Перед решением каждой задачи необходимо вычертить заданную схему и указать на ней все размеры и нагрузки. Решение задачи должно сопровождаться краткими, последовательными пояснениями. Надо помнить, что язык техники – формулы и чертежи. На эпюрах и линиях влияния должны быть проставлены значения всех характерных ординат и их размерности.

В угловом штампе листа или на обложке папки, в которую может быть вложен лист с выполненной работой, необходимо указать номер контрольной работы, фамилию, имя и отчество студента, факультет, специальность, номер зачётной книжки и учебный шифр, домашний адрес.

Получив после рецензирования контрольную работу, студент обязан учесть и выполнить все указанные преподавателем замечания, исправления и дополнения, даже если работа зачтена (условно). В случае незачёта работы необходимо внести требуемые исправления на том же листе (если это возможно), либо на отдельном листе и представить всю работу целиком (включая и неверный вариант) с первоначальной рецензией преподавателя на повторную рецензию. Нельзя стирать или заклеивать отмеченные преподавателем ошибки.

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

### Задача № 1. Расчёт статически определимой многопролётной балки

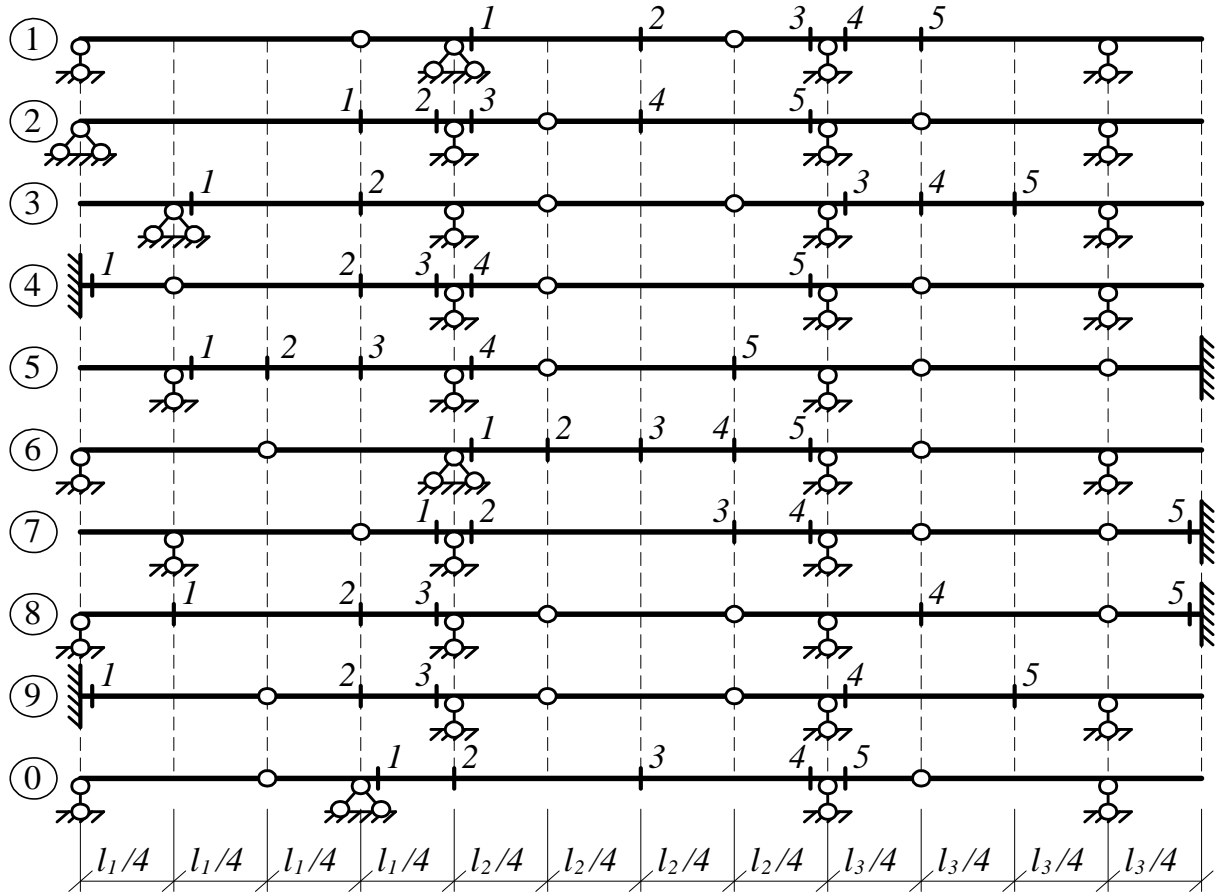
**Задание:** Для балки, выбранной согласно шифру (табл. 1, рис. 1), требуется:

- а) построить эпюры  $M$  и  $Q$  от заданной нагрузки;
- б) построить линии влияния одной опорной реакции (по выбору студента) и усилий  $M$  и  $Q$  в заданном сечении;
- в) определить величины опорной реакции и усилий  $M$  и  $Q$  в заданном сечении от заданной нагрузки с помощью построенных в пункте б линий влияния, и сравнить их со значениями, полученными аналитически при построении эпюр (пункт а), определив абсолютную и относительную погрешности.

Таблица 1

Первая цифра шифра	$l_1$ , м	№ схемы нагрузки	$q_2$ , $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	Вторая цифра шифра	$l_2$ , м	№ сечения	$P_1$ , кН	Третья цифра шифра	$l_3$ , м	$q_1$ , $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	$P_2$ , кН	Четвёртая цифра шифра (№ схемы балки)	$m$ , кН·м
1	6,0	1	6,0	1	5,6	1	4,0	1	4,8	1,5	11,0	1	8
2	6,4	2	5,0	2	6,0	2	5,0	2	5,2	2,0	10,0	2	9
3	6,8	3	4,5	3	6,4	3	6,0	3	5,6	2,5	9,0	3	10
4	7,2	4	4,0	4	6,8	4	7,0	4	6,0	3,0	8,0	4	11
5	7,6	5	3,5	5	7,2	5	8,0	5	6,4	3,5	7,0	5	12
6	8,0	6	3,0	6	7,6	1	9,0	6	7,2	4,0	8,5	6	16
7	8,4	7	2,5	7	8,0	2	10,0	7	8,0	4,5	6,0	7	14
8	8,8	8	2,0	8	8,4	3	11,0	8	8,4	5,0	5,0	8	15
9	9,2	9	1,5	9	8,8	4	5,5	9	8,8	5,5	12,0	9	18
0	9,6	0	1,0	0	9,6	5	6,5	0	9,0	6,0	6,5	0	20

### Схемы балок



### Схемы нагрузок

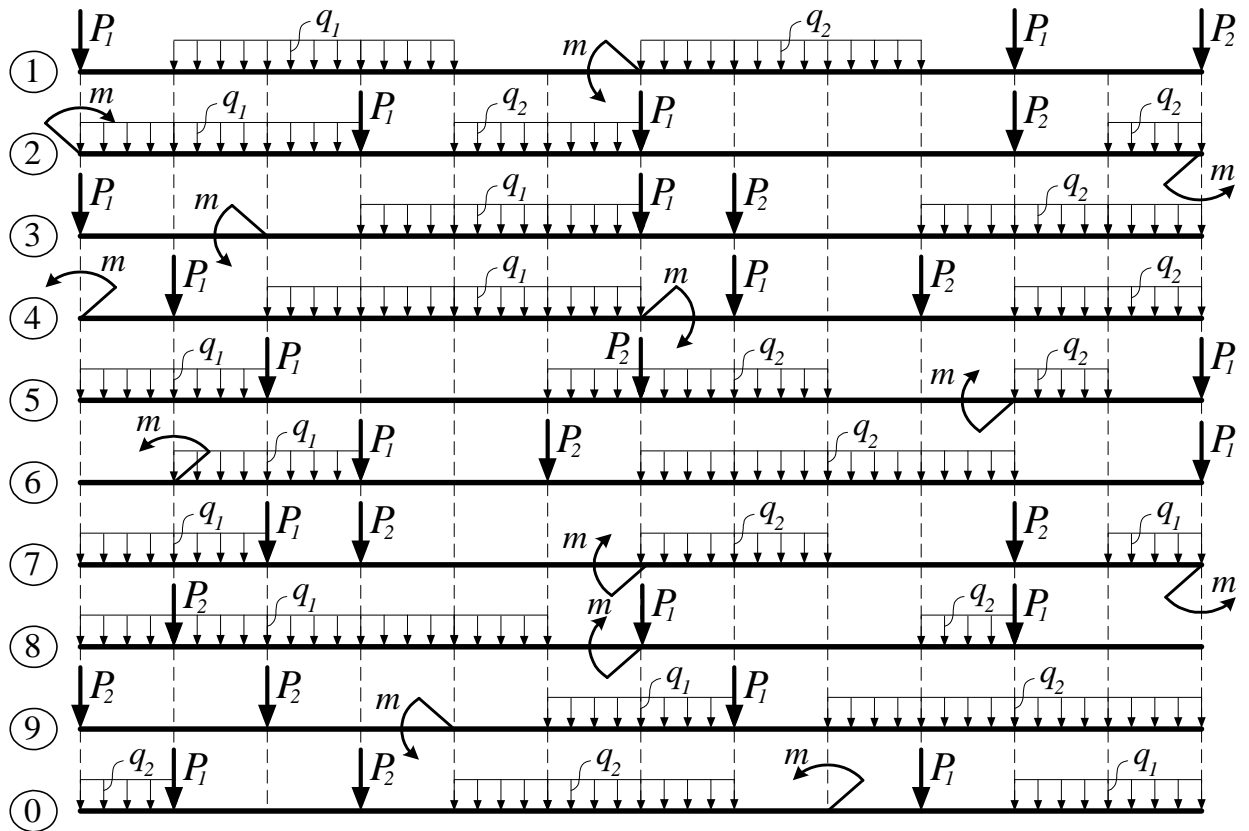


Рис.1

## Методические указания

Для построения эпюр  $M$  и  $Q$  в балке удобно использовать схему взаимодействия между собой отдельных балок, составляющих многопролётную “поэтажную схему”, которую следует расположить непосредственно под схемой балки. Для построения “поэтажной схемы” нужно выявить основные и второстепенные балки, что делается путём расчленения (разрезания) многопролётной балки по шарнирам на отдельные простые балки и последующего анализа возможности их самостоятельного существования. Те балки, которые окажутся способными самостоятельно нести нагрузку (защемлённые или имеющие две наземные опоры), будут основными. Второстепенные балки имеют только одну наземную опору или не имеют их вообще. Недостающими опорами для них служат соединительные шарниры.

После построения “поэтажной схемы” заданная многопролётная балка может рассматриваться как совокупность простых однопролётных балок. Расчёт начинается с самой верхней второстепенной балки. Для расчёта нижележащих балок нужно знать силы взаимодействия в шарнирах, являющихся опорными реакциями для вышележащих балок и нагрузкой для нижележащих. Для расчёта каждую простую балку следует вычертить отдельно, эпюры же  $M$  и  $Q$  можно строить на общей базе под схемой балки. Ординаты эпюры изгибающих моментов откладываются со стороны растянутых волокон стержня. Знаки на эпюре изгибающих моментов обычно не ставят, но обязательно нужно указать значения ординат эпюр во всех характерных сечениях. Положительные ординаты эпюр поперечных сил откладываются сверху от оси балки и на эпюре  $Q$  обязательно проставляются знаки.

Построение линий влияния усилий обычно выполняется в два этапа. Вначале строится линия влияния искомого усилия в пределах той отдельной балки, к которой относится исследуемое сечение (или опора); при этом используются принципы построения линий влияния усилий для простых двухопорных и консольных балок. На втором этапе добавляются продолжения линии влияния при движении груза по всем остальным простым балкам, которые определяются условиями взаимодействия отдельных балок между собой в системе рассматриваемой многопролётной балки.

Все построения должны сопровождаться необходимыми расчётами и пояснениями.



## Задача № 2. Расчёт простой статически определимой рамно-стержневой системы

**Задание:** Для заданной рамно-стержневой системы с выбранными согласно шифру (табл. 2, рис. 2) данными требуется:

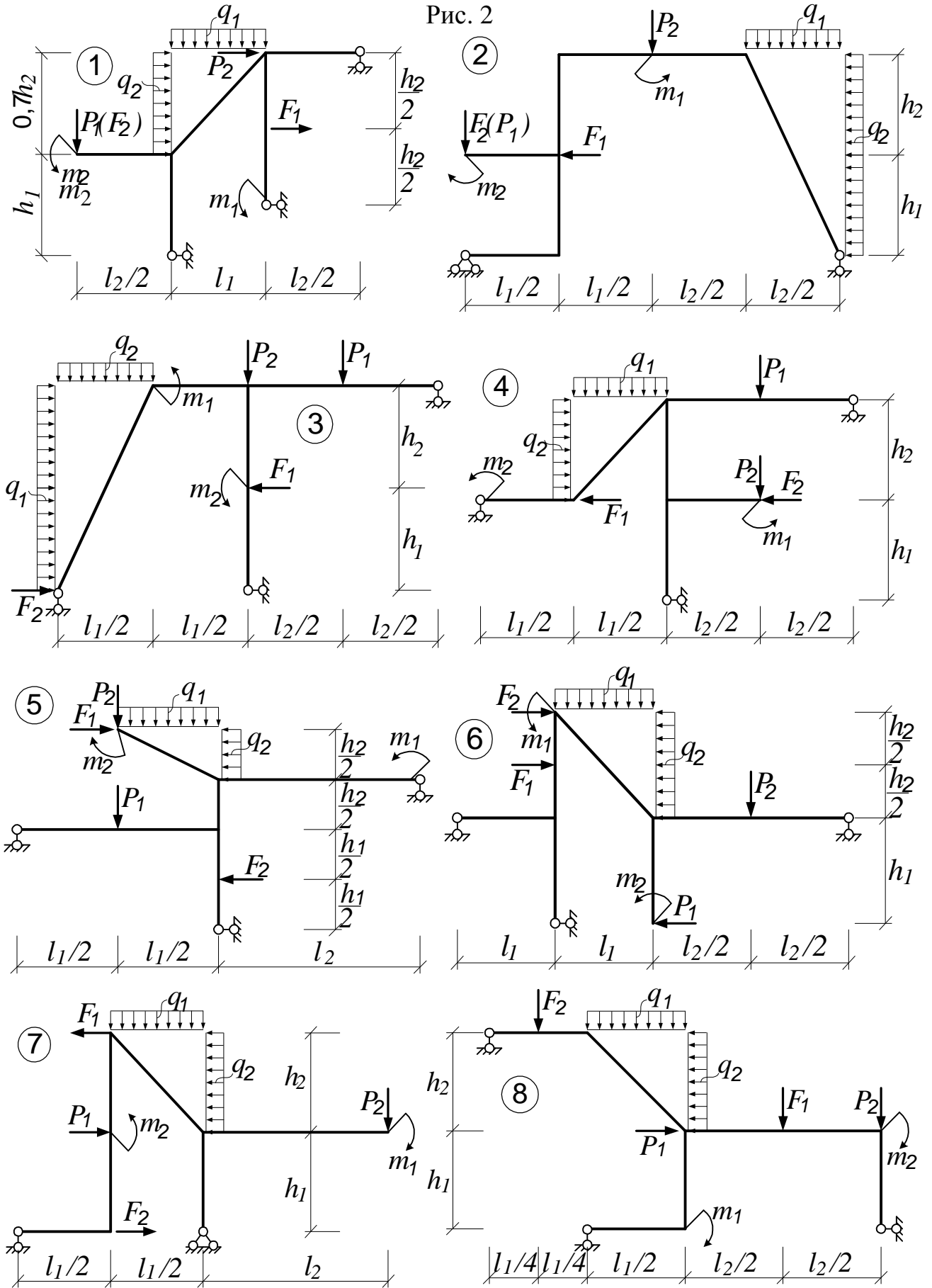
- а) построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил;
- б) выполнить проверки равновесия узлов системы.

Таблица 2

Первая цифра шифра	$l_1$ , м	Индекс нагрузок $P, F, q, m$	$P$ , кН	Вторая цифра шифра	$l_2$ , м	$q$ , $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	Третья цифра шифра	$h_1$ , м	$m$ , кН·м	$F$ , кН	Четвёртая цифра шифра (№ схемы)	$h_2$ , м
1	4,0	1	6	1	6,0	2,4	1	5,0	5	16	1	4,8
2	4,2	2	7	2	5,8	2,6	2	5,2	6	7	2	5,0
3	4,4	1	8	3	5,6	2,8	3	5,4	7	8	3	5,3
4	4,6	2	9	4	4,2	3,0	4	5,6	8	9	4	5,5
5	4,8	1	10	5	6,8	3,2	5	5,8	9	10	5	5,6
6	5,0	2	11	6	5,6	3,4	6	6,0	10	11	6	5,8
7	5,2	1	12	7	7,2	3,6	7	4,8	11	12	7	4,8
8	5,4	2	13	8	4,8	3,8	8	4,6	12	13	8	4,6
9	5,6	1	14	9	5,4	4,0	9	4,4	13	14	9	4,4
0	5,8	2	15	0	6,2	4,2	0	4,2	14	15	0	4,2

**Примечание:** На рамно-стержневую систему может действовать только одна из двух связанных между собой комбинаций нагрузок (либо –  $P_1, F_1, q_1, m_1$ , либо –  $P_2, F_2, q_2, m_2$ ), индекс которой, отвечающий комбинации этих нагрузок, определяется по первой цифре шифра в 3-ем столбце настоящей таблицы.

Рис. 2



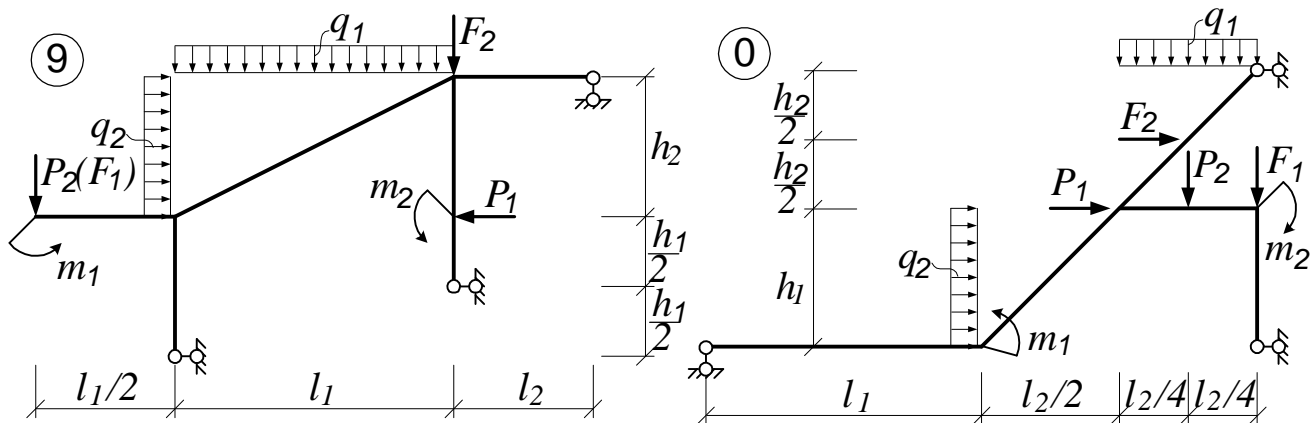


Рис.2

### Методические указания

Расчёт простой статически определимой рамно-стержневой системы следует начинать с определения опорных реакций, которые находятся из уравнений равновесия системы. Не забывайте выполнить и проверку правильности расчёта опорных реакций. Перед решением задачи необходимо твёрдо усвоить общий метод и принципы определения внутренних усилий ( $M$ ,  $Q$ ,  $N$ ) в произвольном сечении сооружения (метод сечений). Ординаты эпюры изгибающих моментов следует откладывать со стороны растянутых волокон стержня, знаки на эпюре  $M$  не ставятся.

Ординаты эпюр поперечных и продольных сил можно откладывать с любой стороны стержня, ориентируясь на большую наглядность эпюр, с обязательным указанием знаков.

Проверки равновесия узлов выполняются по изгибающим моментам и по поперечным и продольным силам с учётом внешних нагрузок в узлах, если они там есть.

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

### Задача № 3. Расчёт трёхшарнирной арки

**Задание:** Для трёхшарнирной арки (рис. 3) постоянного сечения ( $EJ = const$ ) и заданного очертания оси (по окружности –  $O$ , либо по параболе –  $\Pi$ ) требуется определить аналитически изгибающие моменты, поперечные и продольные силы в сечениях  $K_1$  и  $K_2$  от действия постоянной нагрузки.

**Примечание:** Если сечение ( $K_1$  либо  $K_2$ ) совпадает с точкой приложения одной из сосредоточенных сил, то при определении  $Q$  и  $N$  следует – сечение  $K_1$  принимать справа от силы (на бесконечно малом расстоянии), а сечение  $K_2$  – слева от силы.

Исходные данные выбираются согласно шифру по таблице 3.

Таблица 3

Первая цифра шифра	$l$ , м	$q_1$ , $\frac{кН}{м}$	$P_2$ , кН	Вторая цифра шифра	$\frac{f}{l}$	$b_1$	$q_2$ , $\frac{кН}{м}$	Третья цифра шифра	Очертание оси	$b_2$	$P_1$ , кН	Четвёртая цифра шифра (№ схемы нагрузки)
1	16	1	5	1	0,5	0,12	1	1	О	0,62	6	1
2	18	2	8	2	0,4	0,15	2	2	П	0,65	7	2
3	20	3	10	3	0,38	0,20	3	3	О	0,70	9	3
4	22	4	12	4	0,42	0,22	4	4	П	0,72	11	4
5	24	5	14	5	0,4	0,25	5	5	О	0,75	13	5
6	26	6	15	6	0,35	0,28	6	6	П	0,78	15	6
7	28	7	16	7	0,33	0,30	7	7	О	0,80	17	7
8	30	8	18	8	0,3	0,32	8	8	П	0,82	19	8
9	32	9	20	9	0,28	0,35	9	9	О	0,85	21	9
0	36	10	22	0	0,25	0,38	10	0	П	0,88	23	0

### Методические указания

Решению задачи должно предшествовать изучению темы “Расчёт статически определимых трёхшарнирных арок”.

Схему арки при выполнении работы надо вычертить в масштабе, предварительно определив по уравнению её оси достаточное число точек (не менее пяти) и проведя через них плавную кривую. На схему надо нанести все заданные размеры и нагрузки с указанием их конкретных величин. Для сечений  $K_1$  и  $K_2$  нужно вычислить их координаты, а также значения синусов и косинусов углов наклона касательных к оси арки.

Геометрические параметры арок и сечений вычисляются по формулам:

а) при очертании оси по параболе:

$$y = \frac{4f}{l^2}x(l-x); \quad tgj = \frac{dy}{dx} = \frac{4f}{l^2}(l-2x); \quad \cos j = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2j}}; \quad \sin j = tgj \cdot \cos j;$$

Схема арки

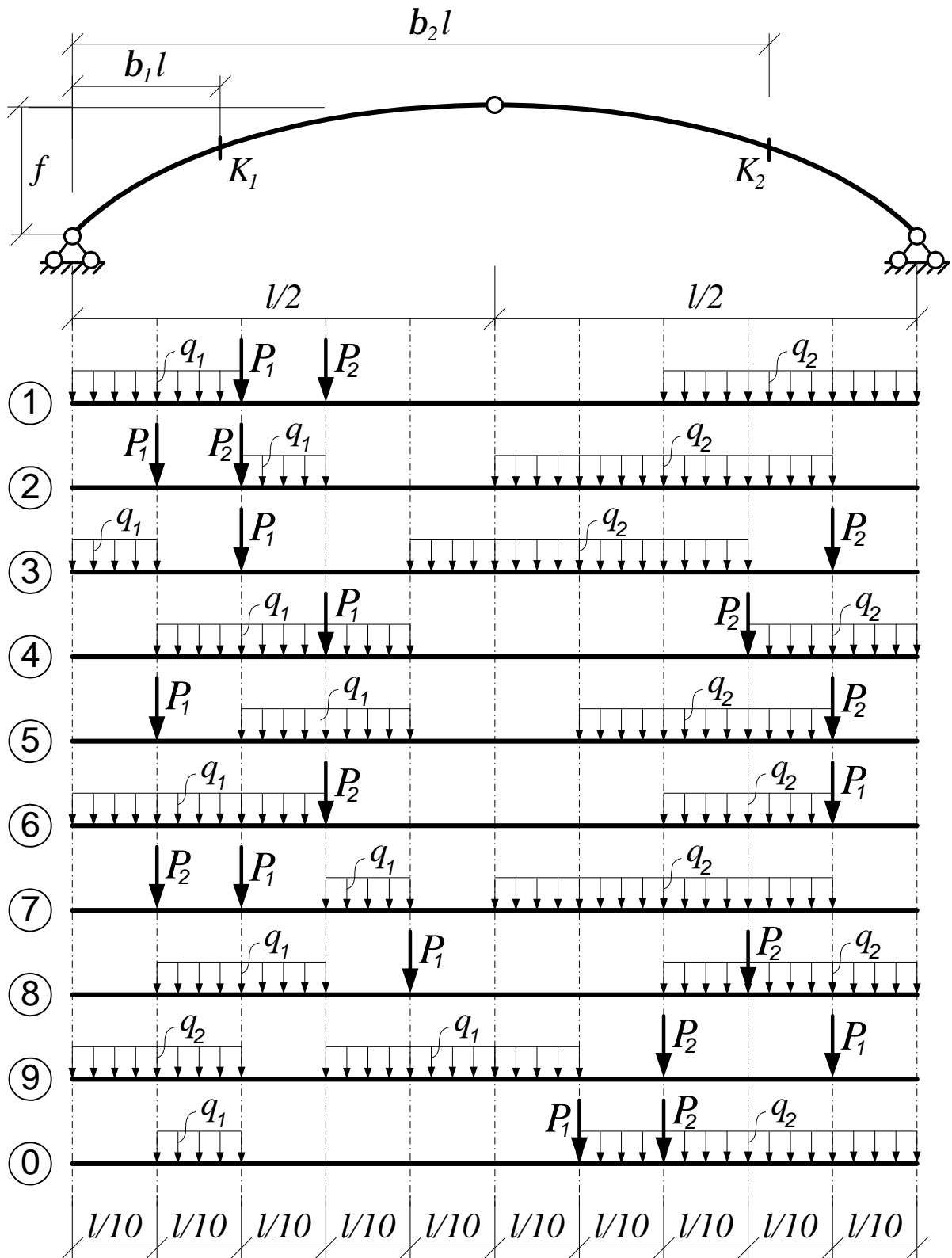


Рис.3

б) при очертании оси по окружности:

$$y = \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2} - x\right)^2} - R + f; \quad \sin j = \frac{l - 2x}{2R}; \quad \cos j = \frac{y + R - f}{R}, \quad \text{где } R = \frac{4f^2 + l^2}{8f}.$$

Следует помнить, что для правой половины арки синус угла наклона касательной к оси отрицателен.

Вычисление значений опорных реакций, изгибающих моментов, поперечных и продольных сил в заданных точках нужно иллюстрировать необходимыми формулами.

#### Задача № 4. Расчёт трёхшарнирной рамы

**Задание:** Для трёхшарнирной рамы (рис. 4) с выбранными по шифру из табл. 4 данными – требуется:

- выполнив необходимые расчёты, построить в раме от заданной внешней нагрузки эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил и произвести их проверки;
- от действия этой же внешней нагрузки определить горизонтальное либо вертикальное линейное перемещение или угол поворота заданного сечения.

Таблица 4

Первая цифра шифра	$l_1$ , м	Индекс нагрузки $P, q, t$	$P$ , кН	Вторая цифра шифра	$l_2$ , м	Вид перемещения	$q$ , $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	Третья цифра шифра	$h$ , м	№ сечения	$t$ , кН·м	Четвёртая цифра шифра (№ схемы)
1	7	1	8	1	6,5	гориз.	2	1	7	1	6	1
2	7,5	2	9	2	6	верт.	2,5	2	3,0	2	8	2
3	8	1	10	3	5,5	угол поворота	3	3	8	3	10	3
4	3,5	2	11	4	5	гориз.	3,5	4	3,5	1	12	4
5	4	1	12	5	4,5	верт.	4	5	4	2	14	5
6	4,5	2	14	6	4	угол поворота	4,5	6	4,5	3	16	6
7	5	1	15	7	3,5	гориз.	6	7	5	1	18	7
8	5,5	2	16	8	8	верт.	2,2	8	5,5	2	20	8
9	6	1	18	9	7,5	угол поворота	2,8	9	6	3	22	9
0	6,5	2	20	0	7	гориз.	3,2	0	6,5	1	24	0

**Примечание:** На раму может действовать только одна из двух связанных между собой комбинаций нагрузок (либо –  $P_1, q_1, t_1$ , либо –  $P_2, q_2, t_2$ ), индекс которой, отвечающий комбинации этих нагрузок, определяется по первой цифре шифра в 3-ем столбце таблицы.

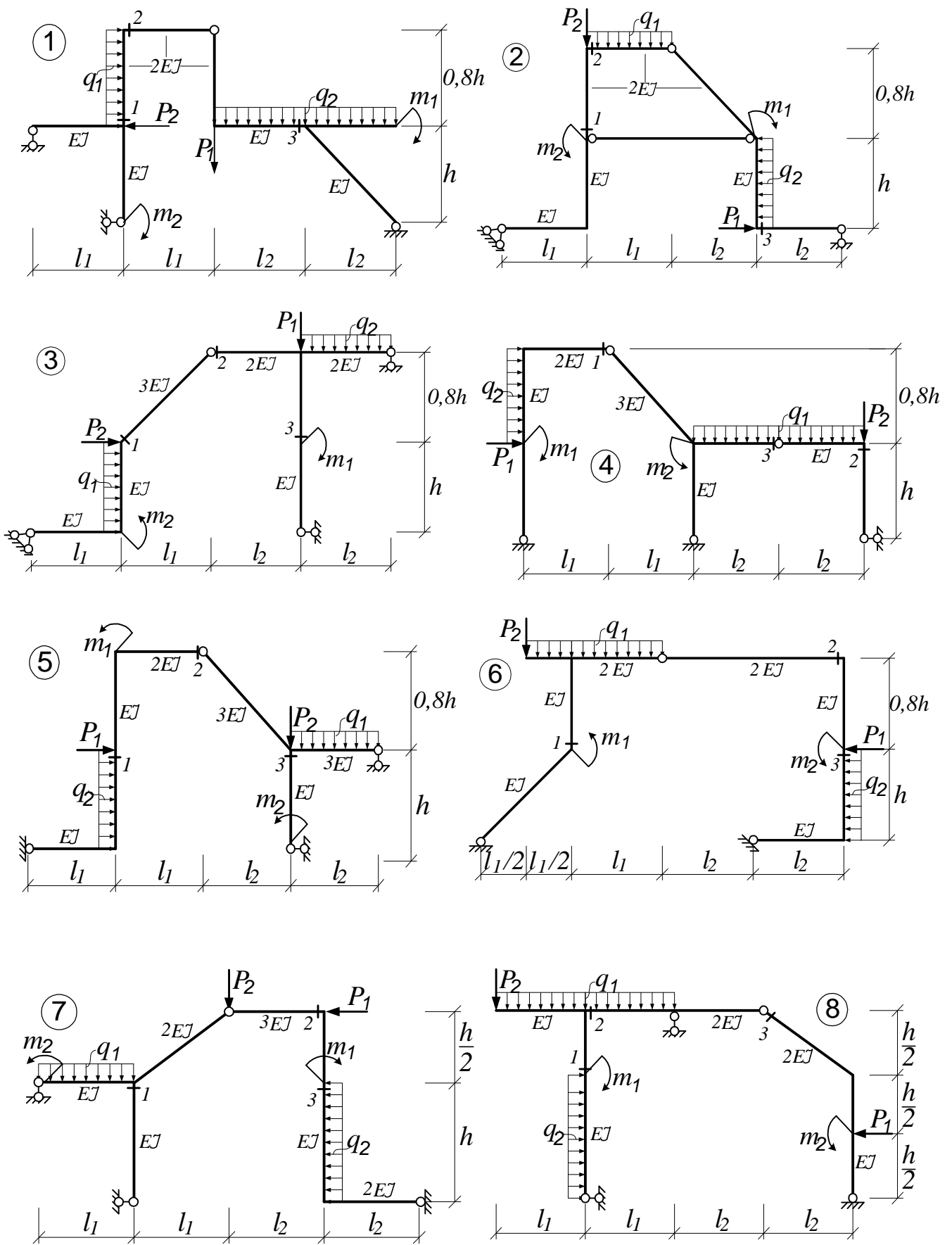


Рис. 4

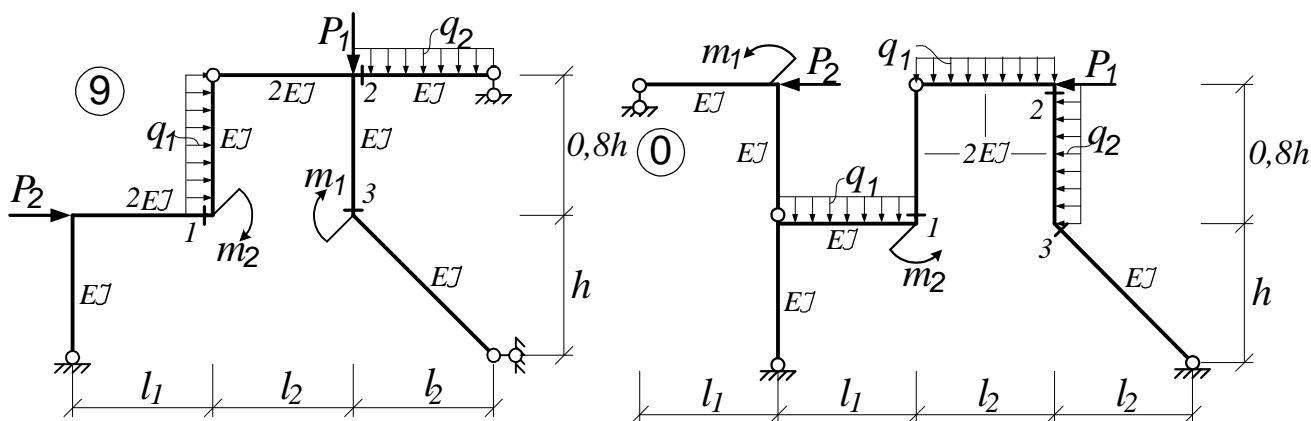


Рис. 4

### Методические указания

Решению задачи должно предшествовать изучение тем “Определение внутренних усилий и построение их эпюр в трёхшарнирных рамах” и “Определение перемещений в статически определимых системах”.

Схемы рам и эпюры усилий при оформлении работы необходимо вычерчивать с соблюдением соответствующих масштабов с указанием числовых значений всех размеров, нагрузок и ординат эпюр.

Прежде, чем строить эпюры, нужно определить опорные реакции. Следует иметь в виду, что трёхшарнирные рамы – распорные системы, и даже при действии только вертикальной нагрузки в них возникают как вертикальные, так и горизонтальные опорные реакции.

Вначале нужно построить “грузовые” эпюры  $M_p$ ,  $Q_p$ ,  $N_p$  от заданной внешней нагрузки и проверить равновесие узлов.

Для определения линейного перемещения необходимо в сечении, перемещение которого отыскивается, в направлении искомого перемещения приложить силу  $P=1$  (если определяется угол поворота сечения, то прикладывается сосредоточенный момент  $m=1$ ) и построить “единичную” эпюру изгибающих моментов  $M_1$ .

Перемещения определяются по формуле Мора с использованием способа “перемножения” эпюр по правилу Верещагина, формуле Симпсона или формуле трапеций. При этом эпюры изгибающих моментов разбиваются на участки, на которых и грузовая и единичная эпюры описываются одними по длине участка законами изменения этих эпюр, не имеют скачков и изломов. Сложные эпюры при их перемножении по правилу Верещагина рекомендуется делить на простые фигуры таким образом, чтобы можно было определить площади этих фигур и положение их центров тяжести.

Поскольку в данной задаче жёсткости отдельных стержней не заданы числовыми значениями, искомые перемещения выражаются через  $EJ$ .



## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №3

### Задача № 5. Расчёт плоской статически определимой фермы

**Задание:** Для фермы в соответствии с выбранными по шифру из табл. 5 схемой фермы, нагрузкой (рис. 5) и размерами требуется:

- а) определить аналитически усилия в шести стержнях заданной панели (для схем 1 – 5, 8, 9, 0 – в стержнях верхнего и нижнего пояса, в левой стойке (если она нулевая, то в правой стойке) и в трёх раскосах; для схем 6, 7 – в стержнях верхнего и нижнего пояса, в обеих левых стойках и в двух раскосах);
- б) построить линии влияния усилий в тех же стержнях;
- в) определить усилия в этих же стержнях от действия заданной нагрузки с помощью линий влияния и сравнить их с вычисленными аналитически в пункте а.

### Методические указания

Решению задачи должно предшествовать изучение темы “Расчёт статически определимых ферм”.

Нагрузки по одному из вариантов 1– 6 (рис. 5) приложены для схем ферм 1– 6 в узлах верхнего пояса, для схем ферм 7– 9, 0 – в узлах нижнего пояса.

Следует иметь в виду, что на расчётных схемах ферм все узлы соединения стержней принимаются шарнирными, а внешние нагрузки на ферме должны передаваться только в узлах. Поэтому распределённые нагрузки при расчётах ферм следует заменять сосредоточенными силами, приложенными в узлах ферм. При этом во всех стержнях ферм будут возникать только продольные усилия.

Панелью фермы считается расстояние между узлами основной решётки, обозначенное на схемах буквой  $d$ .

Усилие в каждом стержне следует стремиться определить непосредственно через нагрузку и опорные реакции, а не через другие уже найденные усилия (если это, конечно, возможно).

Для заданных шпренгельных ферм (схемы 1–5, 8, 9, 0) усилия в большинстве стержней можно определить, рассматривая непосредственно заданную ферму, то есть для этих стержней удаётся провести сечение, пересекающее в ферме не более трёх стержней. Для определения усилий в остальных стержнях необходимо шпренгельную ферму расчленить на основную решетку и шпрен-

### Схемы ферм

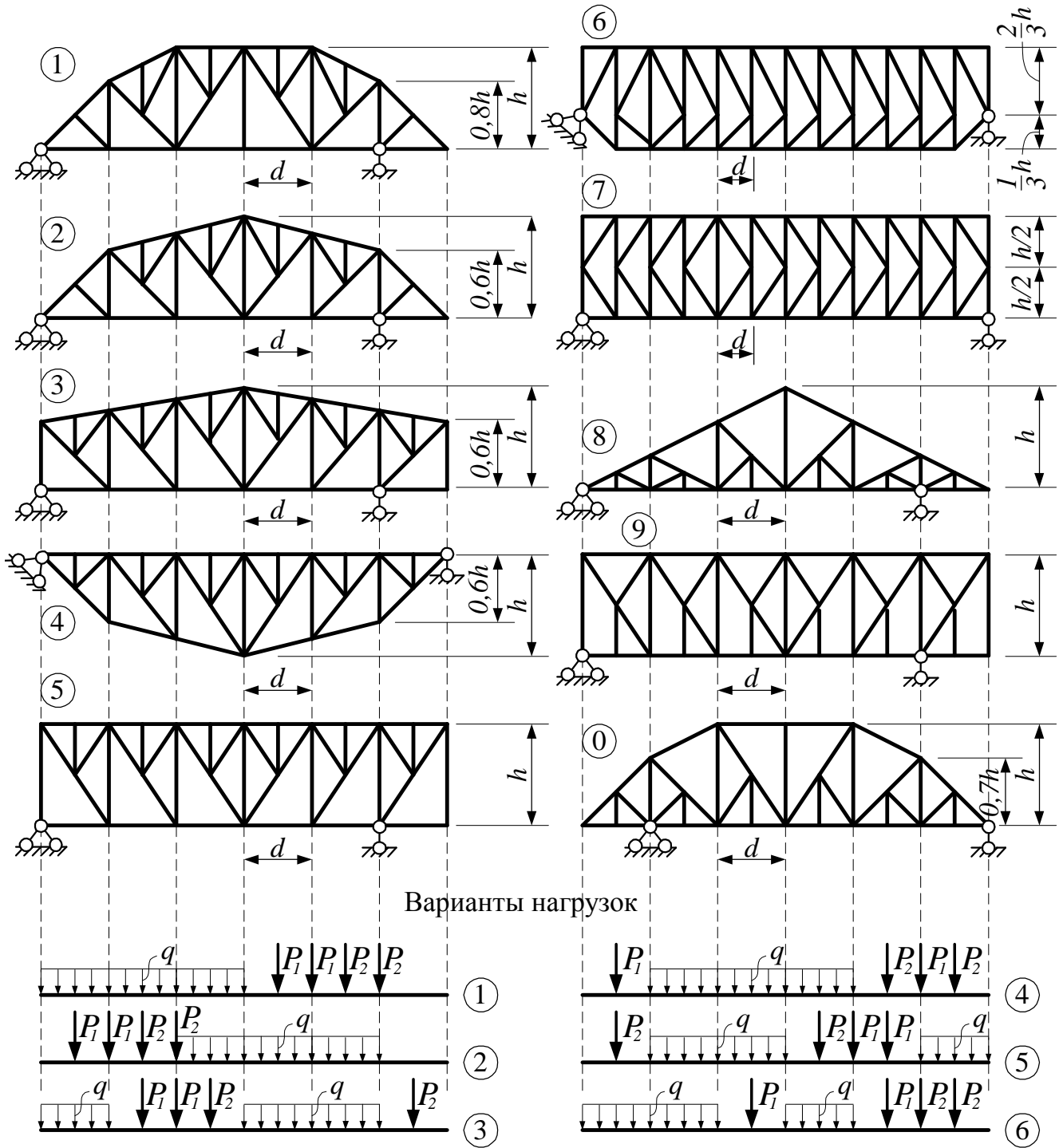


Рис. 5

гели, и затем определить усилия из рассмотрения либо только основной решётки, либо только шпренгелей. При этом нужно чётко представлять схему взаимодействия шпренгеля с основной решёткой и следует обязательно приводить схемы отдельно шпренгеля и основной решётки с указанием узловой нагрузки, полученной в результате передачи местной нагрузки от шпренгеля на узлы ос-

новой решётки.

Следует различать и виды шпренгелей. Так, ферма 9 содержит двухъярусные шпренгели, передающие нагрузку с одного пояса на другой, что нужно учитывать в расчетах усилий и при построении их линий влияния.

Таблица 5

Первая цифра шифра	Вариант нагрузки	$h$ , м	Вторая цифра шифра	$d$ , м	$P_1$ , кН	Третья цифра шифра	$q$ , $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	№ панели (считая слева)	$P_2$ , кН	Четвёртая цифра шифра (№ схемы)
1	1	1,5	1	1,5	6	1	1,0	2	2	1
2	2	1,8	2	1,8	8	2	1,5	3	3	2
3	3	2,0	3	2,0	10	3	2,0	4	5	3
4	4	2,2	4	2,2	12	4	2,5	5	4	4
5	5	2,5	5	2,5	14	5	3,0	2	7	5
6	6	2,8	6	2,8	16	6	3,4	3	8	6
7	1	3,0	7	3,0	18	7	3,6	4	10	7
8	2	3,2	8	3,2	20	8	4,0	5	12	8
9	4	2,4	9	2,4	22	9	4,5	3	11	9
0	6	1,6	0	1,6	24	0	5,0	4	9	0

Выполняя определение усилий, необходимо приводить все схемы и расчеты, указывая все размеры и нагрузки. Геометрические характеристики (плечи, углы и т.д.) должны быть определены аналитически, а не по масштабу.

При построении линии влияния схемы фермы (основная решётка и шпренгель) должны быть вычерчены заново. Должны быть приведены все сечения и расчеты, а на построенных линиях влияния усилий должны быть проставлены числовые значения ординат под каждым узлом фермы. Следует иметь в виду, что для ферм с двухъярусными шпренгелями имеется особенность при построении линий влияния усилий в стойках, на которые передается нагрузка от таких шпренгелей. Для таких стоек сначала необходимо построить линии влияния усилия при движении груза отдельно по нижнему и отдельно по верхнему поясу, а затем из анализа работы шпренгелей и фермы выяснить, какая из линий влияния будет действительной при движении груза по тому или иному участку фермы, в соответствии с чем окончательно определить вид линии влияния усилия.

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4

### Задача № 6. Расчёт плоской статически неопределимой рамы методом сил

**Задание:** Для рамы с выбранными по шифру размерами и нагрузками (рис. 6, табл. 6) требуется:

- а) построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил;
- б) проверить правильность построенных эпюр.

#### Методические указания

Решению задачи должно предшествовать изучение темы «Расчет статически неопределимых рам методом сил».

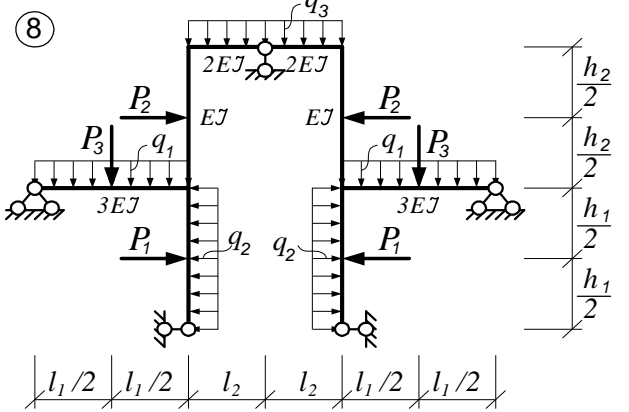
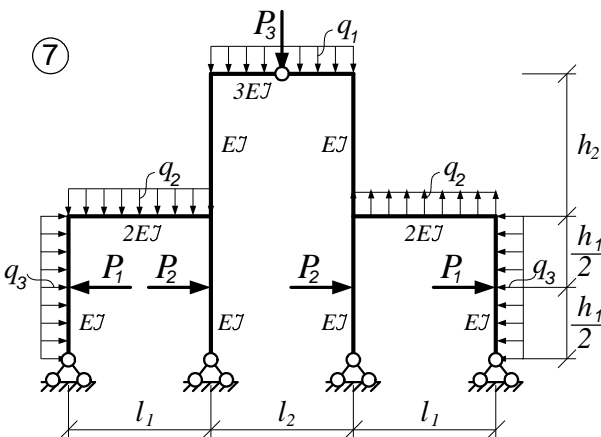
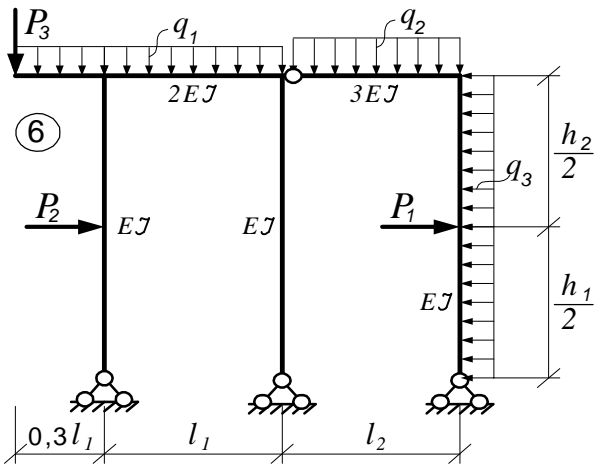
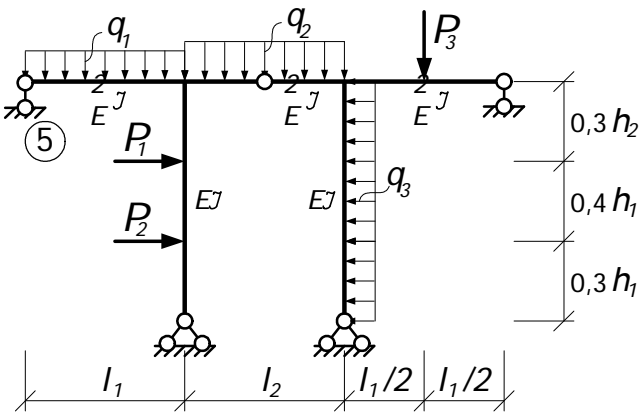
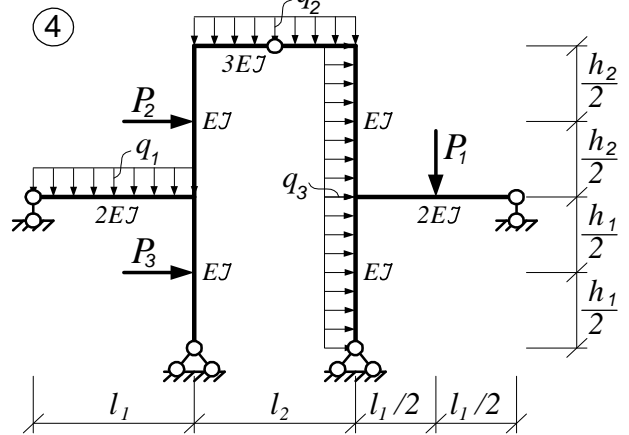
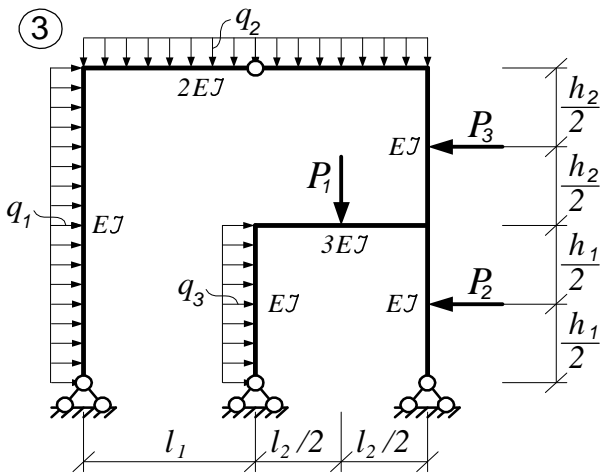
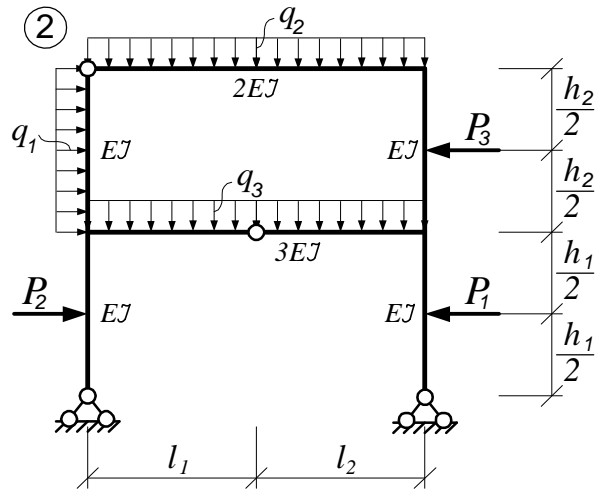
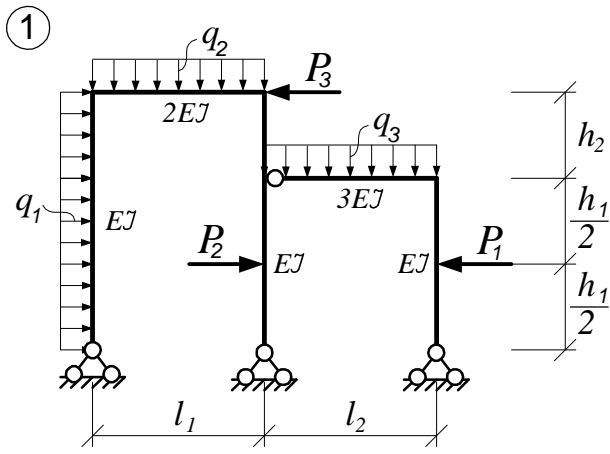
Следует обратить особое внимание на выбор основной системы, в качестве которой принимается статически определимая и геометрически неизменяемая система. Обязательно следует использовать упрощения, связанные с симметрией рамы и внешних нагрузок.

Единичные и грузовая эпюры изгибающих моментов должны быть построены на растянутых волокнах. При «перемножении» эпюр используются способ Верещагина, формула трапеций или формула Симпсона. Для проверки правильности вычисления коэффициентов канонических уравнений следует построить «суммарную» единичную эпюру  $M_s$ , результат «перемножения», которой саму на себя должен равняться сумме всех коэффициентов при неизвестных. Результат «перемножения» эпюры  $M_s$  на эпюру  $M_p$  должен быть равен сумме свободных членов канонических уравнений.

Обычно после определения неизвестных строят эпюры моментов от найденных значений  $X_i$ , умножая ординаты единичных эпюр на соответствующее значение неизвестного. Тогда окончательные моменты в любой точке рамы можно определить по формуле

$$M=M_1X_1+M_2X_2+\dots+M_nX_n+M_p.$$

Окончательную эпюру изгибающих моментов нужно проверить путем «умножения» ее на суммарную эпюру  $M_s$ . Результат «умножения» должен быть равен нулю (или быть близким к нулю). Эпюра поперечных сил строится по эпюре моментов. На участках рамы с прямолинейной эпюрой  $M$  поперечная сила определяется как тангенс угла наклона эпюры  $M$  к оси стержня.



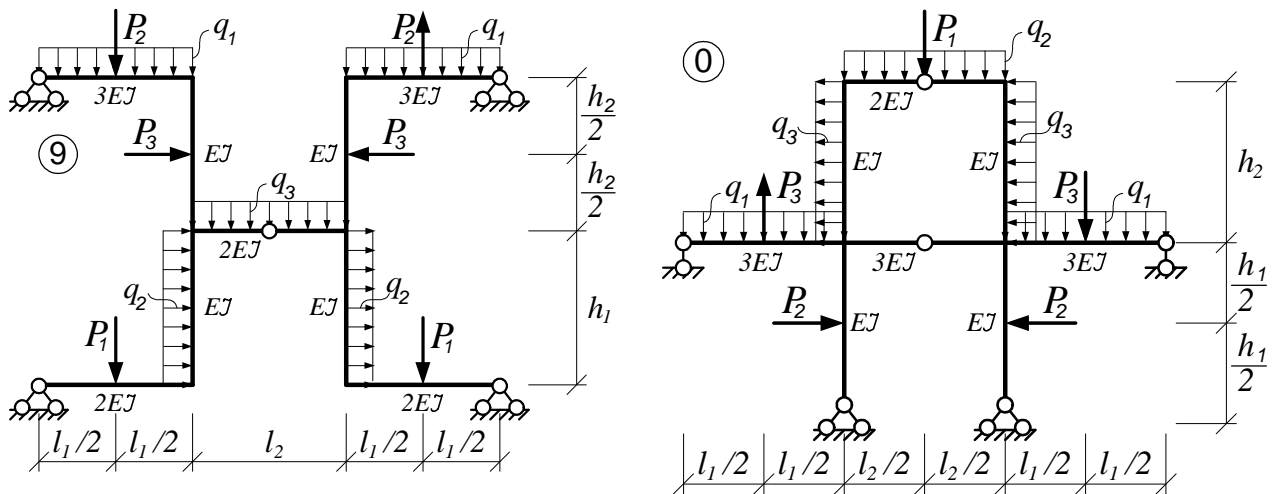


Рис. 6

Таблица 6

Первая цифра шифра	Индекс нагрузки	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$l_1$ , м	Вторая цифра шифра	$q_1$ , $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	$h_1$ , м	$l_2$ , м	Третья цифра шифра	$q_2$ , $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	$q_3$ , $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	$h_2$ , м	Четвёртая цифра шифра (№ схемы)	$P_3$ , кН
1	1	6	5	6,2	1	2	4,4	6,0	1	2	2,6	3,0	1	5
2	2	7	6	6,4	2	2,5	4,8	6,4	2	2,4	3,0	3,2	2	6
3	3	8	7	6,6	3	3	5,0	6,8	3	2,8	3,4	3,4	3	7
4	1	9	8	6,8	4	3,5	5,2	7,2	4	3,2	3,8	3,6	4	8
5	2	10	9	7,0	5	4	5,4	7,6	5	3,6	4,2	3,8	5	9
6	3	11	10	7,2	6	4,5	5,6	8,0	6	4,0	4,6	4,0	6	10
7	1	12	11	7,4	7	5	5,8	8,4	7	4,4	5,0	4,2	7	11
8	2	13	12	7,6	8	5,5	6,0	5,6	8	4,8	5,4	4,4	8	12
9	3	14	13	7,8	9	6	6,2	5,2	9	5,2	5,8	4,6	9	13
0	1	15	14	8,0	0	6,5	6,4	4,8	0	5,6	6,2	4,8	0	14

**Примечание.** На раму может действовать только одна из трёх комбинаций нагрузок ( $P_1$ ,  $q_1$ ), ( $P_2$ ,  $q_2$ ) или ( $P_3$ ,  $q_3$ ), номер которой, соответствующий индексу этих нагрузок, определяется по первой цифре шифра во 2-ом столбце таблицы.

На участках с криволинейной эпюрой  $M$  (под равномерно распределенной нагрузкой) определение ординат эпюр  $Q$  следует проводить по формуле

$$Q_x = Q_x^0 + \frac{M_{np} - M_{лев}}{l}.$$

Здесь  $Q_x^0$  – «балочная» поперечная сила, найденная для данного сечения в простой двухопорной балке, длина которой равна длине рассматриваемого участка, с заданной равномерно распределенной нагрузкой. Для концевых сечений участка –  $Q_{лев}^0 = +ql/2$ ,  $Q_{np}^0 = -ql/2$ .  $M_{np}$  и  $M_{лев}$  – соответственно правое и левое значения момента на концах данного участка. При этом участок рассматривается таким образом, чтобы распределенная нагрузка действовала сверху вниз, при этом ординаты моментов, расположенные на эпюре сверху от оси, считаются отрицательными, снизу – положительными.

Эпюра продольных сил  $N$  строится по эпюре  $Q$  путем вырезания и уравнивания узлов, начиная с узла, в котором количество неизвестных продольных сил не превышает двух. При вырезании каждого узла необходимо помнить, что положительная поперечная сила вращает вокруг центра узла по ходу часовой стрелки.

После построения эпюр следует произвести статическую проверку равновесия рамы целиком.

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 5

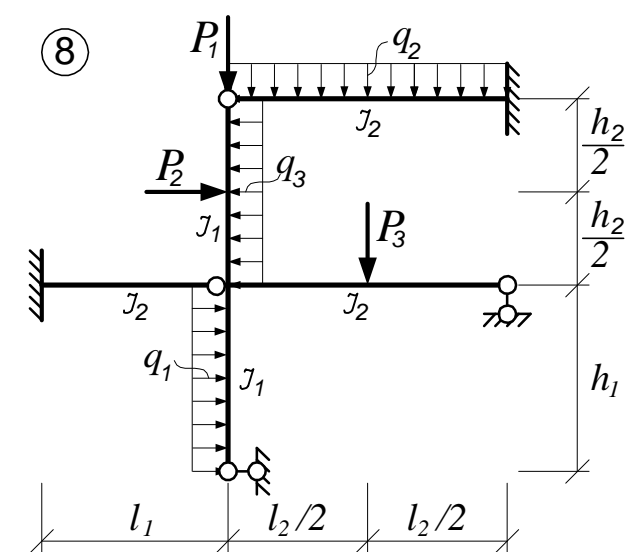
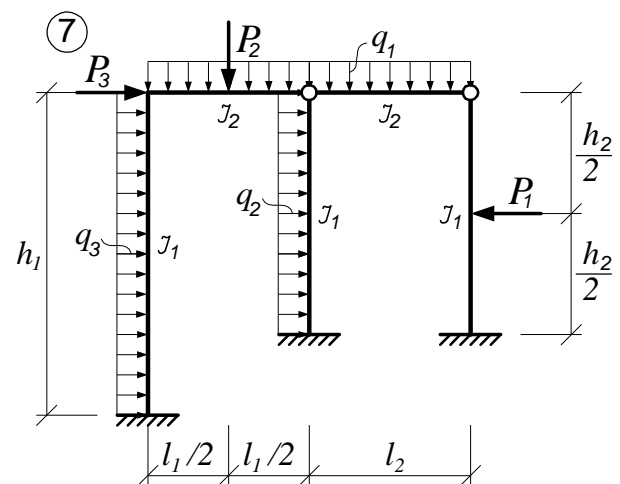
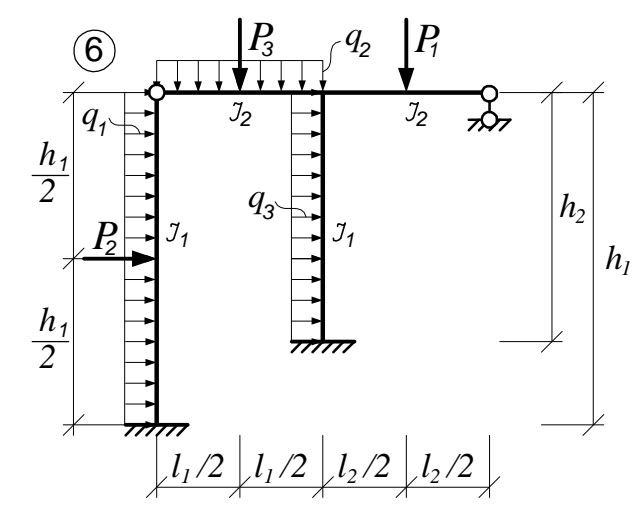
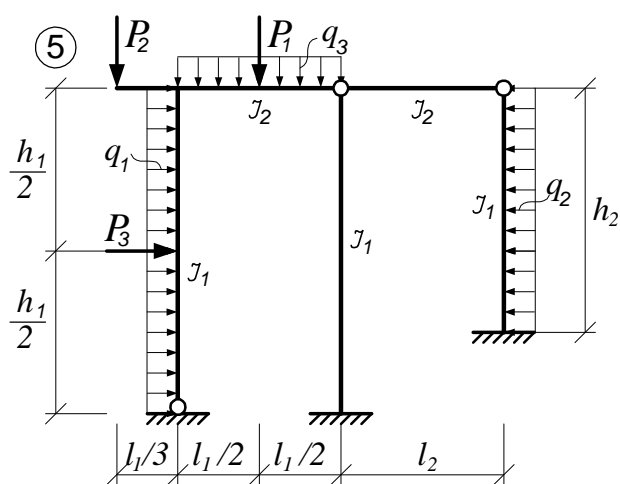
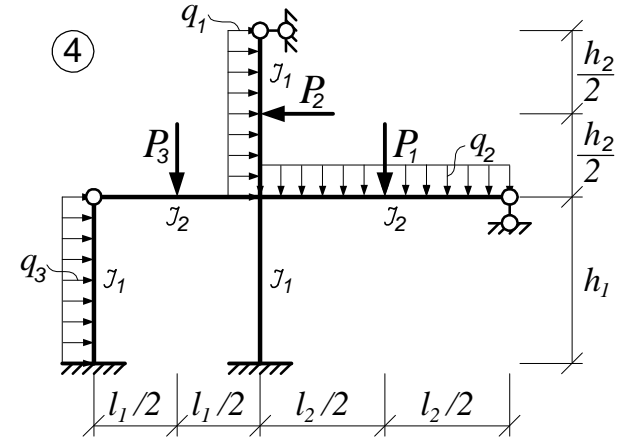
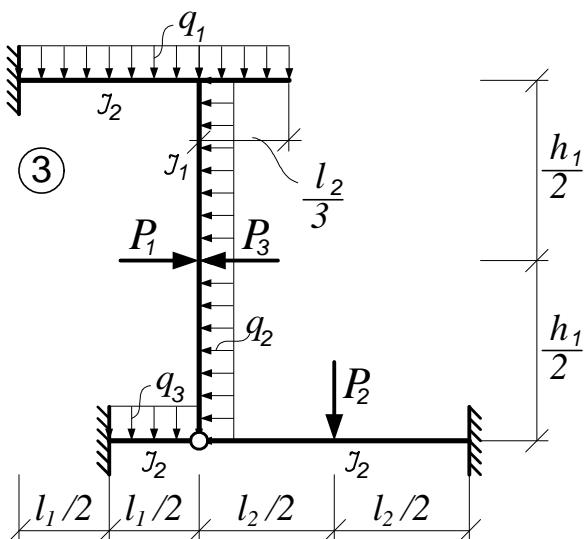
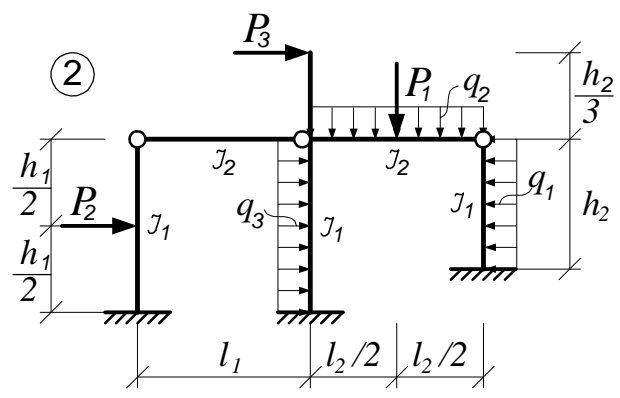
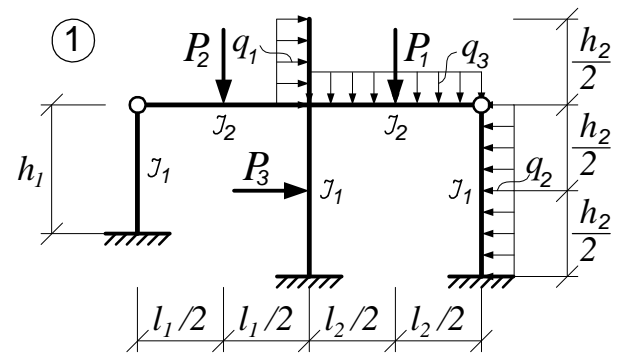
### Задача № 7. Расчёт статически неопределимой рамы методом перемещений

**Задание:** Для заданной статически неопределимой рамы (рис. 7) с выбранными по шифру из табл. 7 размерами и нагрузкой требуется построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил и выполнить их проверку.

### Методические указания

Решению задачи должно предшествовать изучение темы «Расчет статически неопределимых рам методом перемещений».

Основная система метода перемещений получается путём постановки дополнительных связей, закрепляющих узлы от их возможных угловых и линейных смещений.







Прежде чем строить в основной системе единичные и грузовую эпюры изгибающих моментов и определять коэффициенты канонических уравнений, целесообразно определить для всех участков рамы погонные жесткости ( $i_{yc} = EJ_{yc} / l_{yc}$ ) и выразить их через некоторый общий для всех участков параметр жесткости  $i$ . При определении коэффициентов следует внимательно следить за их знаками, для проверки расчетов использовать теорему о взаимности реакций. Не следует забывать выполнять проверку решения системы канонических уравнений.

После определения значений неизвестных окончательная эпюра изгибающих моментов строится по формуле  $M = \bar{M}_1 Z_1 + \bar{M}_2 Z_2 + \dots + \bar{M}_n Z_n + M_p$ , для чего рекомендуется отдельно построить все исправленные единичные эпюры моментов ( $\bar{M}_i \cdot Z_i$ ). Суммирование эпюр рекомендуется производить по характерным точкам.

Эпюры поперечных и продольных сил строятся по эпюре моментов так же, как и в контрольной работе № 4.

В качестве проверок окончательных эпюр надо выполнять:

– проверку равновесия узлов по изгибающим моментам и по поперечным и продольным силам;

– деформационную (кинематическую) проверку; для ее выполнения для заданной рамы необходимо определить степень статической неопределимости, выбрать основную систему метода сил и построить в ней хотя бы одну единичную эпюру изгибающих моментов  $\bar{M}_i^{м.сил.}$ ; после этого деформационную проверку выполняют по формуле Мора

$$\sum \int \frac{M \cdot \bar{M}_i^{м.сил.}}{EJ} dx = 0;$$

– статическую проверку равновесия рамы в целом.

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 6

### УСТОЙЧИВОСТЬ И ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПЛОСКОЙ РАМЫ

#### Задача № 8. Расчет плоской рамы на устойчивость

**Задание:** Для статически неопределимой рамы (рис. 8) с выбранными по шифру из табл. 8 размерами и нагрузкой требуется определить значения критических сил, используя метод перемещений.

## Методические указания

Решению задачи должно предшествовать изучение темы "Устойчивость плоских стержневых систем".

Все предлагаемые рамы целесообразно рассчитывать методом перемещений. Так как внешние нагрузки действуют вдоль стоек, то грузовых эпюр в основной системе не будет и свободные члены канонических уравнений будут нулевыми.

При построении единичных эпюр для сжатых стержней следует использовать специальные табличные эпюры, в которых учитывается влияние на внутренние усилия сжимающих сил (эти таблицы можно найти в [1, 3, 6, 12, 13]), а для остальных стержней – обычные таблицы метода перемещений.

Коэффициенты канонических уравнений в результате будут включать в себя некоторые функции  $j_i(u_k)$ ,  $h_i(u_k)$ , где  $u_k$  – параметр устойчивости  $k$ -го

сжатого стержня, определяемый для него выражением:  $u_k = l_k \sqrt{\frac{N_k}{EI_k}}$ . Здесь:

$l_k$ ,  $EJ_k$  – длина и жёсткость  $k$ -го стержня;  $N_k$  – величина продольной силы в  $k$ -ом стержне. Продольные сжимающие силы в стержнях определяются через внешние нагрузки  $P_1$  и  $P_2$ . Следует учитывать, что для ряда стержней рам на рис. 8 продольные силы будут определяться от совместного действия обеих нагрузок  $P_1$  и  $P_2$ . Например, для рамы на схеме № 4 продольная сила в нижней левой стойке будет равна  $N=P_1+P_2$ , и параметр устойчивости определится выражением:

$$u_k = h_1 \sqrt{\frac{P_1 + P_2}{EI_1}}.$$

Так как нагрузки  $P_1$  и  $P_2$  связаны между собой (посредством коэффициента  $a$ ), то и параметры устойчивости  $u$  для стержней следует выразить друг через друга.

Для определения  $P_{кр}$  составляется уравнение устойчивости, из решения которого определяются критические параметры  $u_{к кр}$ . Определение этих параметров необходимо выполнить путём подбора, методика которого изложена, например, в [6, 8, 12, 13]. После этого по найденным параметрам  $u_{к кр}$  определяются значения критических сил. При этом для стоек, в которых продольные силы определяются суммой внешних сил  $P_1$  и  $P_2$ , сначала определяется критическая продольная сила  $N_{кр} = u_{кр}^2 EJ / l^2$ , а затем критическая нагрузка:

$$P_{2 кр} = N_{кр} - P_{1 кр}.$$

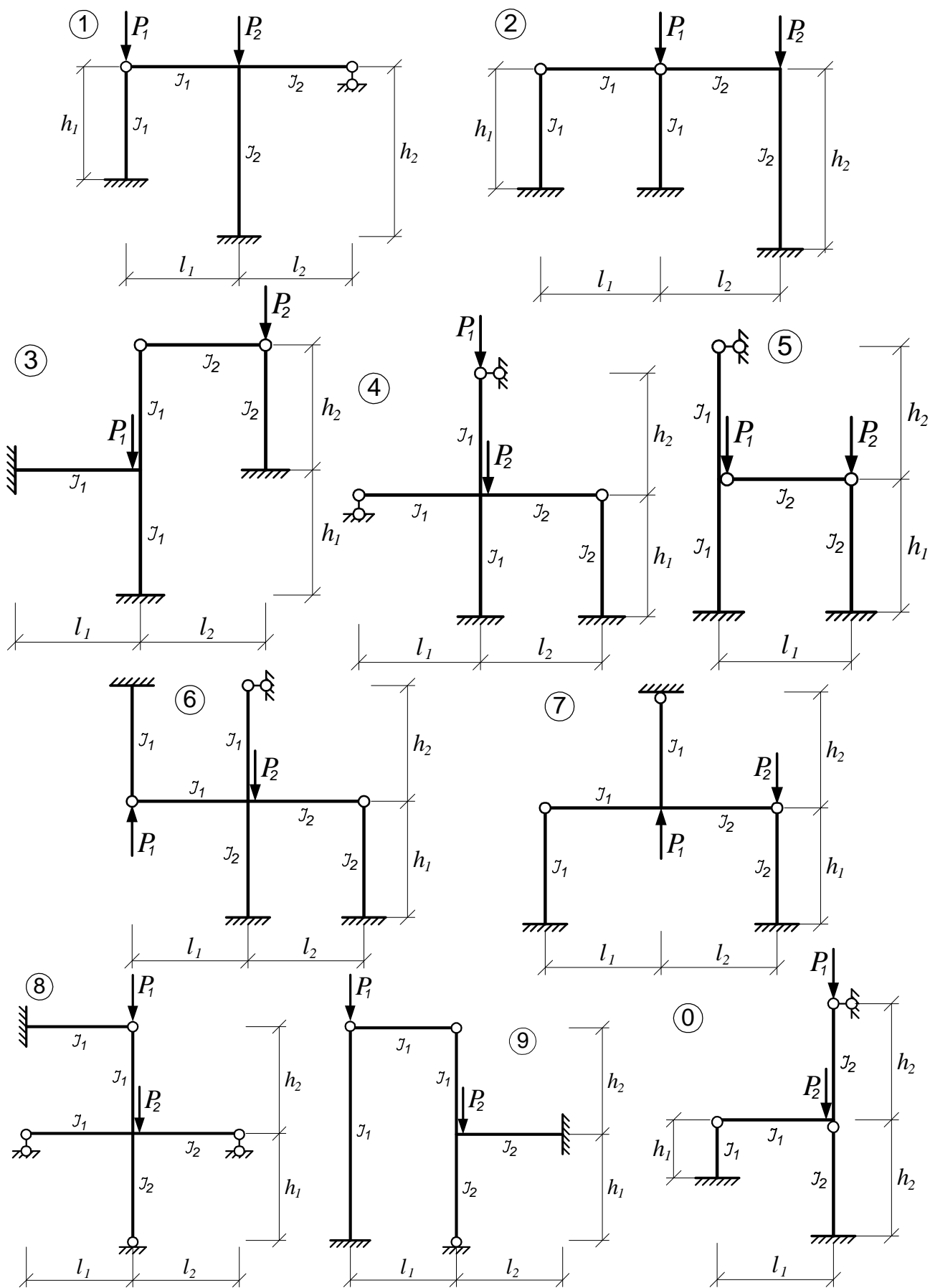


Рис.8

Таблица 8

Первая цифра шифра	$l_1,$ м	$h_2,$ м	Вторая цифра шифра	$l_2,$ м	$\frac{J_1}{J_2}$	Третья цифра шифра	$h_1,$ м	$a = \frac{P_1}{P_2}$	Четвёртая цифра шифра (№ схемы рамы)
1	4	4	1	4	1/3	1	4	1/3	1
2	5	5	2	5	0,4	2	5	0,4	2
3	6	6	3	6	0,5	3	6	0,5	3
4	7	7	4	7	0,8	4	7	0,8	4
5	8	8	5	8	1	5	8	1	5
6	9	9	6	9	1,2	6	9	1,2	6
7	10	10	7	10	1,5	7	10	1,5	7
8	11	11	8	11	2	8	11	2	8
9	12	12	9	12	2,5	9	12	2,5	9
0	13	13	0	13	3	0	13	3	0

### Задача № 9. Динамический расчёт плоской системы

**Задание:** Для плоской рамы (рис. 9) с выбранными по шифру из табл. 9 размерами и нагрузками требуется:

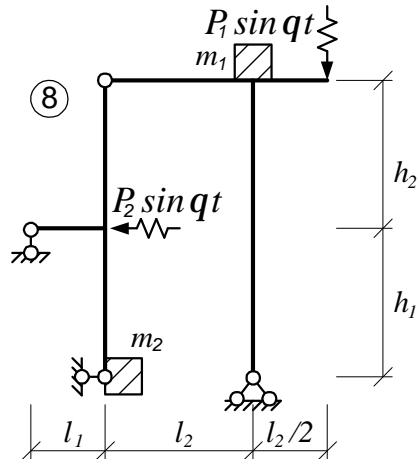
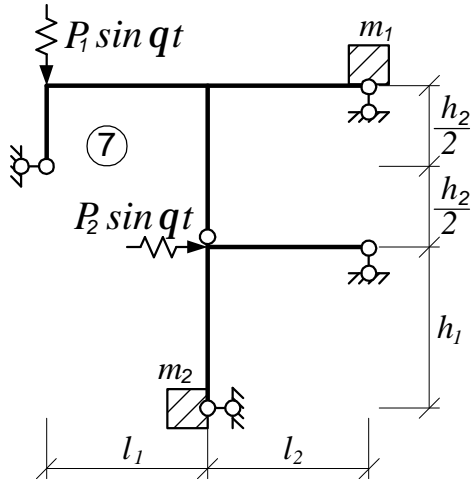
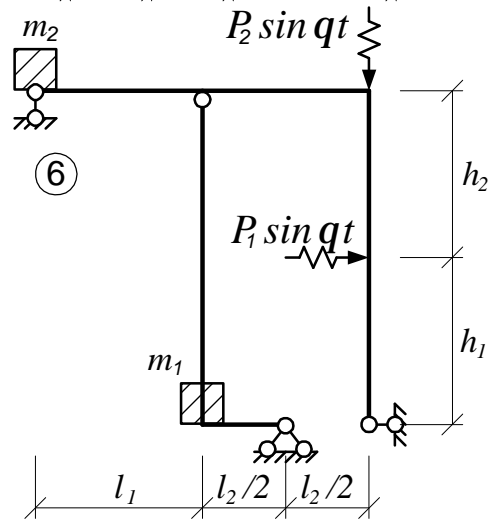
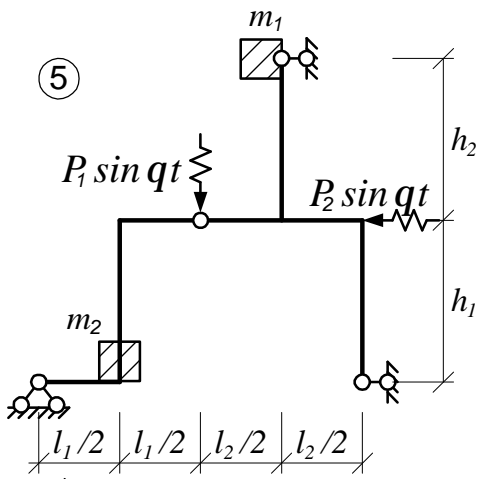
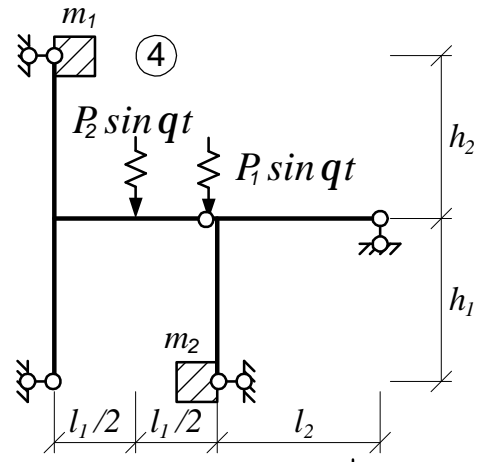
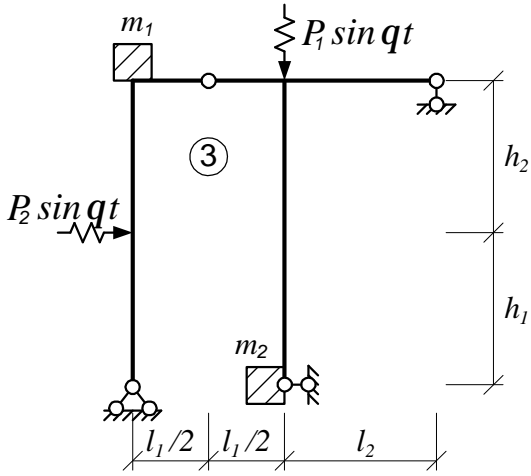
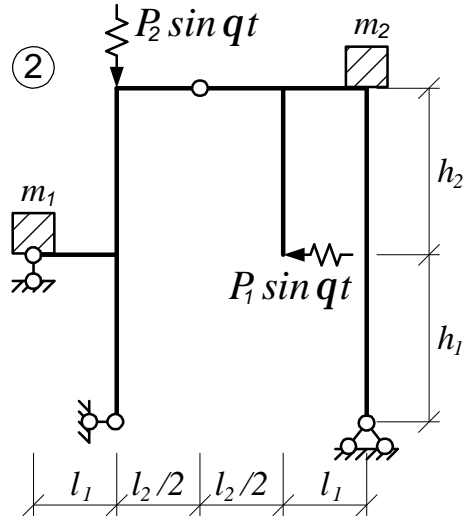
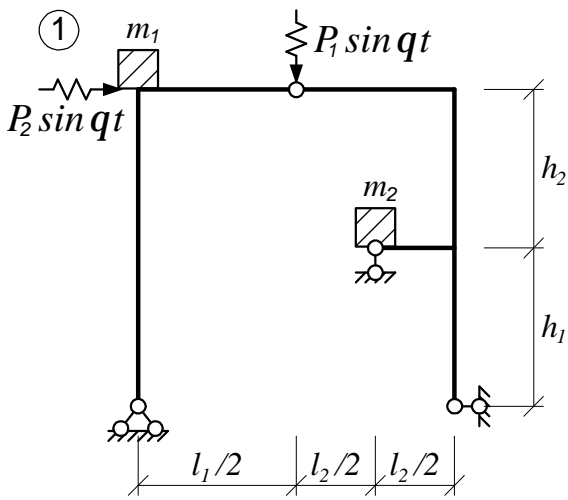
- определить круговую частоту свободных колебаний системы (без учёта собственного веса рамы);
- определить максимальную инерционную силу, соответствующую действующей на систему вынуждающей нагрузке;
- построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил с учётом динамического действия нагрузки  $P$ .

### Методические указания

Решению задачи должно предшествовать изучение раздела “Динамика сооружений”.

Для систем с одной степенью свободы круговая частота свободных колебаний определяется по формуле

$$w = \sqrt{\frac{1}{m \cdot d_{11}}}.$$



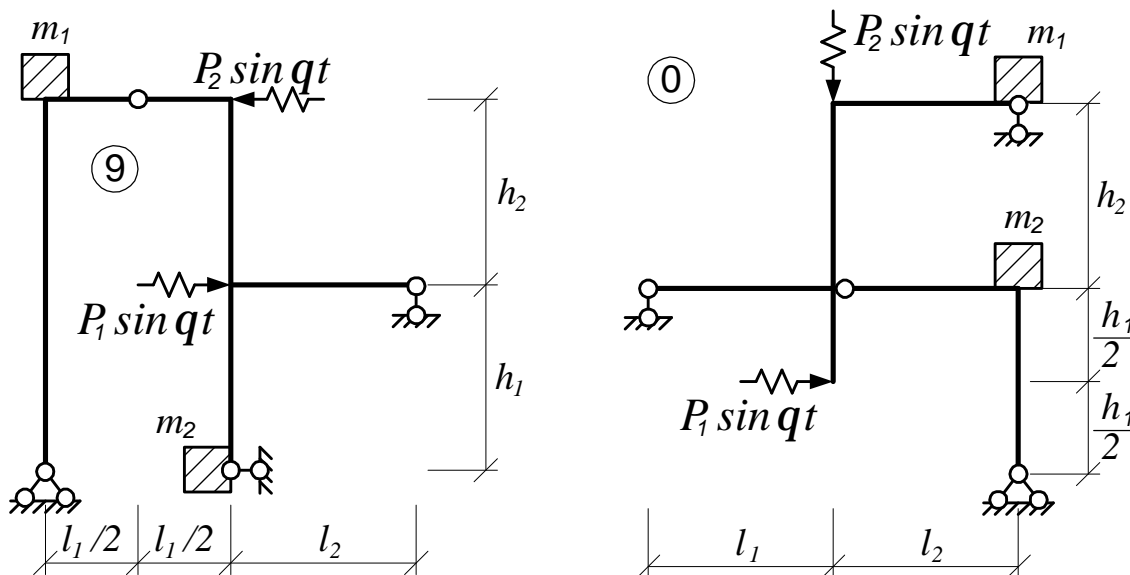


Рис. 9

Таблица 9

Первая цифра шифра	$l_1$ , м	$h_1$ , м	Индекс Р и m	Вторая цифра шифра	$l_2$ , м	$m$ , $\frac{\text{кН} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$	Третья цифра шифра	P, кН	$h_2$ , м	Четвёртая цифра шифра (№ схемы)	EJ, $\text{кН} \cdot \text{м}^2$
1	3,2	2,8	1	1	5,0	1,6	1	3,5	4,8	1	20000
2	3,4	3,0	2	2	4,8	1,8	2	4,0	4,4	2	21000
3	3,6	3,2	1	3	4,6	2,0	3	4,5	4,6	3	22000
4	3,8	3,4	2	4	4,4	2,2	4	5,0	4,2	4	23000
5	4,0	3,6	1	5	4,2	2,4	5	5,5	4,0	5	24000
6	4,2	3,8	2	6	4,0	2,6	6	5,2	3,8	6	25000
7	4,4	4,0	1	7	3,8	2,8	7	5,1	3,6	7	26000
8	4,6	4,2	2	8	3,6	3,0	8	4,8	3,4	8	27000
9	4,8	4,4	1	9	3,4	3,2	9	4,4	3,2	9	28000
0	5,0	4,6	2	0	3,2	3,4	0	4,2	3,0	0	29000

**Примечание:** на раме может находиться только одна масса ( $m_1$  или  $m_2$ ), величина которой равна  $m$ , и действовать только одна из возмущающих нагрузок ( $P_1$  или  $P_2$ ), величина которой равна  $P$ . Индекс массы и силы принимается по первой цифре шифра в столбце 4 таблицы 9.

где  $d_{11}$  – перемещение точки приложения сосредоточенной массы в направлении её возможных свободных колебаний от действия единичной силы, приложенной в том же направлении.

Частоту колебаний возмущающей силы следует принять равной  $q = 0,7\omega$ .

Максимальное значение инерционной силы находят из решения канонического уравнения

$$Z_1 \cdot \left( d_{11} - \frac{1}{m \cdot q^2} \right) + \Delta_{1P} = 0,$$

где  $D_{1P}$  – перемещение точки приложения сосредоточенной массы по направлению её возможных колебаний от статического действия максимального значения вынуждающей нагрузки  $P$ ;  $Z_1$  – максимальное значение силы инерции.

Эпюра динамических моментов строится по формуле

$$M_{\partial} = M_1 \cdot Z_1 + M_P.$$

Эпюра поперечных сил строится по эпюре изгибающих моментов обычными методами, а эпюра продольных сил по эпюре поперечных сил способом вырезания узлов.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Общие методические указания . . . . .	3
Общие указания о порядке выполнения контрольных работ . . . . .	4
Контрольная работа № 1 . . . . .	6
Контрольная работа № 2 . . . . .	11
Контрольная работа № 3 . . . . .	17
Контрольная работа № 4 . . . . .	20
Контрольная работа № 5 . . . . .	23
Контрольная работа № 6 . . . . .	26



Учебное издание

Составители: Игнатюк Валерий Иванович  
Сыроквашко Иван Степанович

**КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по дисциплине “Строительная механика”  
для студентов строительных специальностей  
заочной формы обучения

Ответственный за выпуск Игнатюк В.И.

Редактор Строкач Т.В.

Технический редактор Никитчик А.Д.

---

Подписано к печати 09.06.2004 г. Формат 60×84/16. Бумага Снегурочка. Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 180 экз. Заказ № 548. Отпечатано на ризографе Учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, Брест, ул. Московская, 267.