

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

Кафедра: «СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА И СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ
СООРУЖЕНИЙ»

**Сборник заданий по курсу
«СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА»**

ТАШКЕНТ – 2009

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ О ПОРЯДКИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ (РГР)

Количество расчетно-графических работ для студентов устанавливается учебным планом в зависимости от специальности.

Для направлений ИК и ПК число работ 3.

Исходные данных для решения задач выбираются студентом из таблиц 1-3 в соответствии с его учебным шифром.

Каждая расчетно-графическая работа выполняется в тетради или на листах миллиметровой бумаги. Перед решением задачи необходимо вычертить заданную схему и указать на ней все размеры и нагрузки. Решение задачи должно сопровождаться краткими последовательными пояснениями, четкими схемами со всеми размерами. На эпюрах и линиях влияния должны быть проставлены значения всех характерных ординат и размерности. На обложке тетради указывается фамилия и инициалы студента, факультет, специальность, номер учебного шифра.

На обложке тетради указывается: фамилия и инициалы студента, специальность, номер и название расчетно-графических работ.

Получив расчетно-графических работ, после проверки преподавателя, студент обязан выполнить все указанные преподавателем исправления и дополнения даже если работа зачтена. В случае незачета работы, необходимо вести требуемые исправления на том же листе, если позволяет место, или на отдельном листе и представить все работу целиком на повторную проверки. Нельзя стирать или заклеивать отмеченные рецензентом ошибки работы, выполнение не по шифру и не в соответствии с таблицами 1-3, не зачитываются и возвращаются без рассмотрения.

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1 **Расчет статически определимой многопролетной балки.**

Задание. Для балки (рис. 1) с размерами и нагрузкой, выбранной по шифру из табл. 1, требуется:

- 1) Построить эпюры M и Q аналитически;
- 2) Построить линии влияния M и Q для заданного сечения, а также линию влияния одной опорной реакции по выбору студента;
- 3) Определить по линиям в линия значения M , Q и R от заданной нагрузки и сравнить их со значениями, полученными аналитически.

Методические указания

Для выполнения работы необходимо предварительно изучить материалы следующих тем: кинематический анализ сооружений, основные методы расчета статически определимых систем, построение линий в линия в балках, определение усилий по линиями влияния.

Помимо этого, для выполнения РГР потребуется повторение правил построения и проверки эпюр изгибающих моментов M и поперечных сил Q для простых балок, известных из курса сопротивления материалов.

Выполнение РГР следует начинать с построения «поэтажной» схемы, представляющей собой схематическое изображение условий взаимодействия основной балки, имеющей три опорные связи и второстепенных, либо полностью опирающихся на основную балку, либо опирающихся на основные балки одним концом; при этом второй опорной связью служит имеющаяся наземная опора.

Аналитический расчет следующий начинается с расчета выше расположенных второстепенных балок на заданную внешнюю нагрузку.

Затем нужно переходить к расчету нижерасположенных балок, рассматривая реакции опор вышележащих балок как усилия взаимодействия, т.е. в качестве нагрузки на нижележащие балки. При этом каждая отдельная балка вычерчивается отдельно, а эпюры M и Q можно ставить на общей опорной прямой под «поэтажной» схемой балки.

Правила построения и проверки эпюр M и Q остаются такими же, как и в курсе сопротивления материалов.

Построение линий влияния нужно начинать с той балки, где задано сечение. Построив для заданного сечения простой балки требуемые линии влияния, продолжают их построения в сторону вышележащих балок.

Все эти построения осуществляется на отдельном чертеже, где вычерчивается схема балки, ее «поэтажная» схема и линии влияния усилий.

Для вычисления усилий по линиям влияния нужно каждую из построенных линий влияния загрузить заданной внешней нагрузкой и определить усилие по формуле:

$$S_k = \sum (P_i \cdot y_i + q_i \cdot \omega_i + M \cdot \operatorname{tg} \alpha_i)$$

С соблюдением соответствующих правил знаков. При этом на линиях влияния следует проставить значения ординат y_i , выписать значения вычисленных площадей ω_i и тангенсов углов наклона α_i .

Табл. 1

Первая цифра шифра	ℓ_1 , м	q , кН/м	v , м	Вторая цифра шифра	ℓ_2 , м	P , кН	№ сечения	Последняя цифра шифра (№ схема)	a , м	c , м	M , кН·м
1	10	1,2	1,0	1	8	3	1	1	1	1	2,0
2	14	2,0	0,8	2	7	2,5	2	2	1,2	2,2	2,2
3	8	1,8	1,9	3	9	6	3	3	2,0	1,4	2,7
4	12	3,0	1,4	4	6	2,8	4	4	2,2	1,6	2,4
5	9	1,5	1,6	5	11	7	1	5	1,3	1,8	2,5
6	11	2,5	2,1	6	10	3,3	2	6	2,1	2,0	1,1
7	7	1,4	1,2	7	12	5	3	7	1,4	1,1	2,6
8	6	0,8	1,8	8	15	8	4	8	1,9	1,3	3,0
9	5	1,0	1,5	9	14	4	1	9	1,5	1,5	2,8
0	13	2,2	2,0	0	14	3,2	3	0	0,8	1,7	1,5

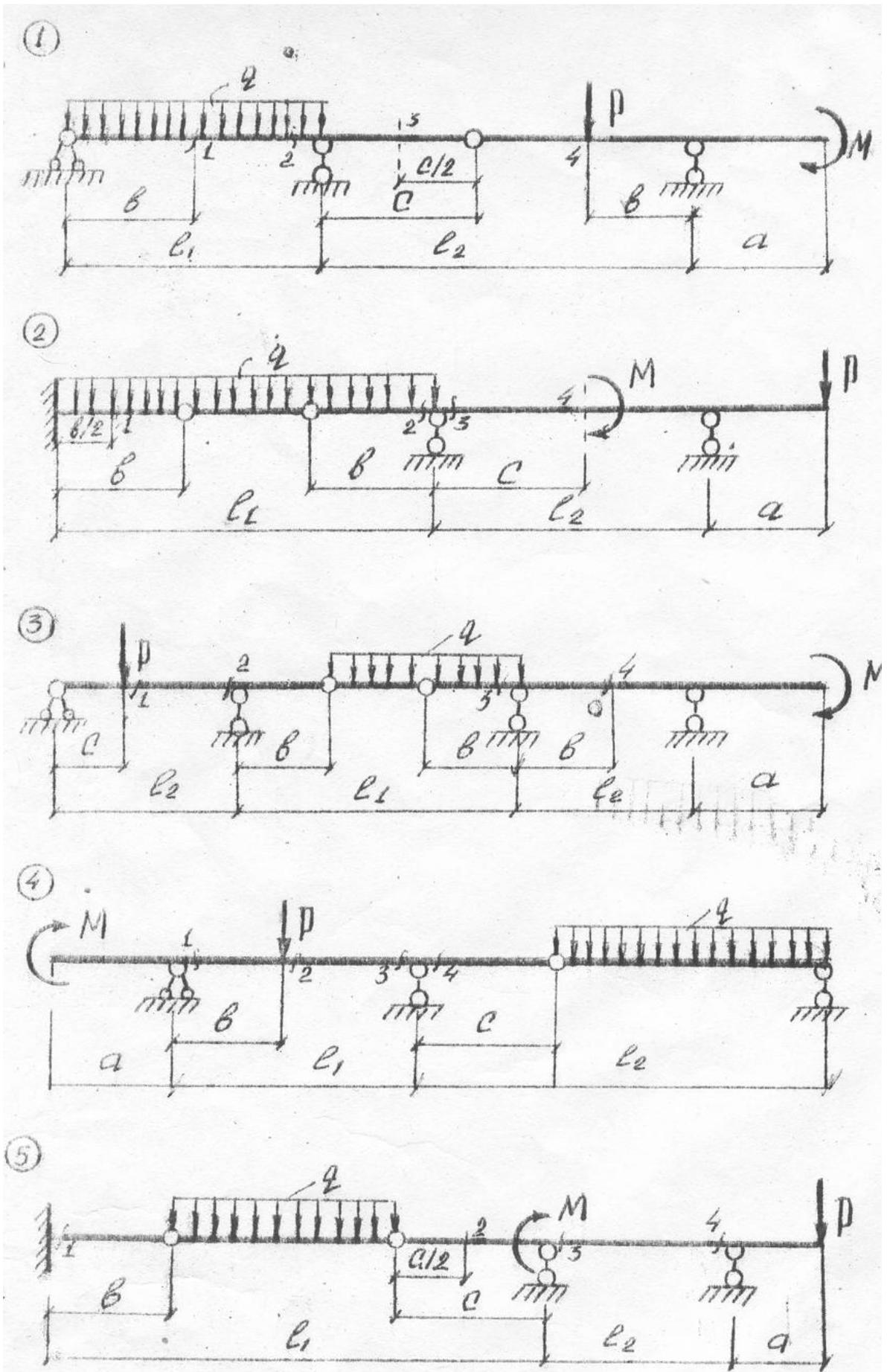
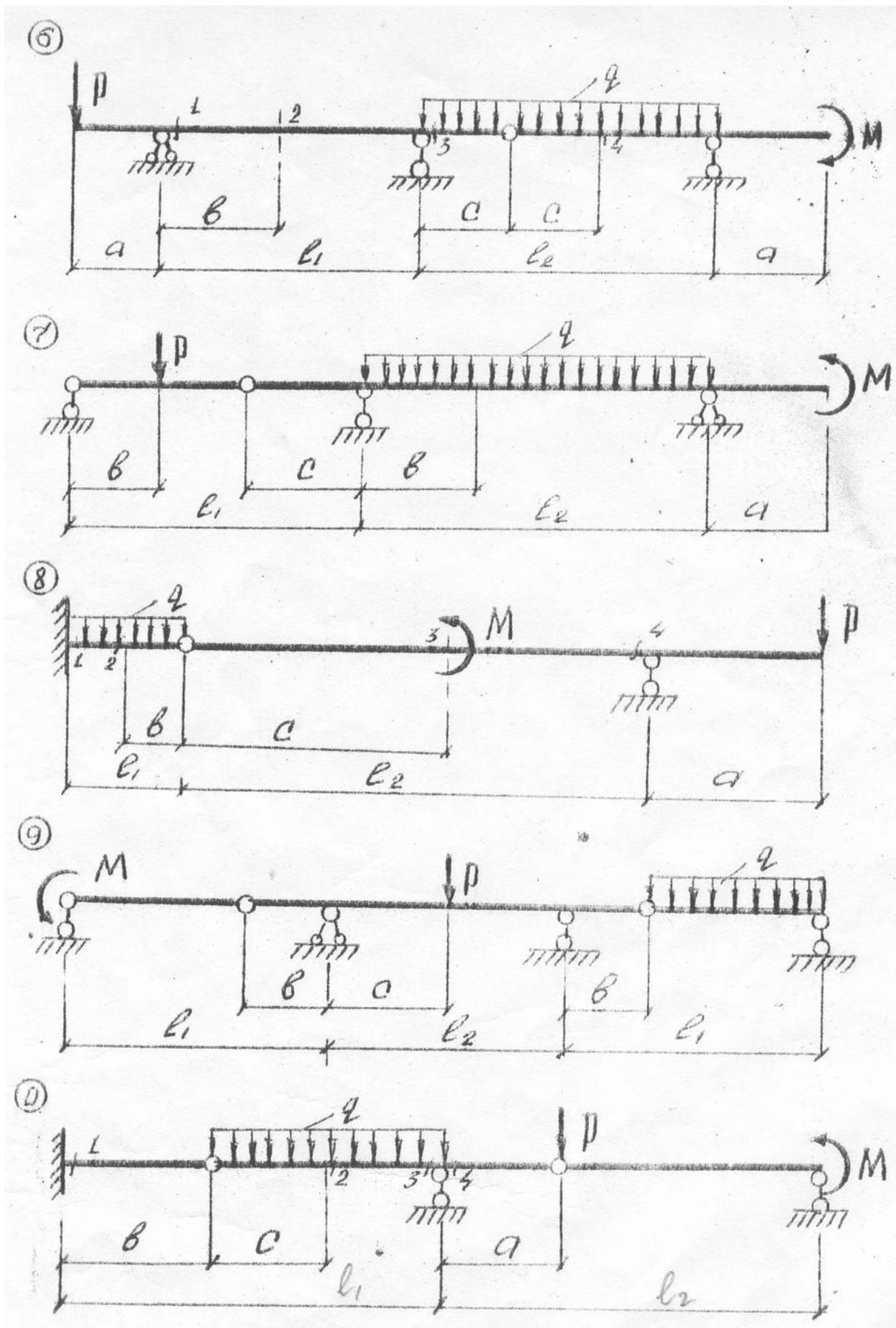


Рис. 1.



Продолжение рис. 1.

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Расчет простой статически определимой плоской фермы.

Задание: Для фермы (рис. 2) с выбранными по шифру из табл.2 размерами и нагрузкой требуется:

- 1) Определить аналитически усилия в стержнях заданной панели;
- 2) Построить линии в линиях усилий в тех же стержнях.

По линии влияния подсчитать значения усилий от заданной нагрузки и сравнить их со значениями, полученными аналитически. Всего должно быть определено не менее 4-х усилий.

Таблица – 2

Первая цифра шифра	ℓ , м	P, кН	Вторая цифра шифра	№ панели (считая слева)	Последняя цифра шифра (№ схемы)	h, м
1	30	1,8	1	2	1	3
2	28	1,5	2	3	2	5,5
3	27	1,2	3	4	3	3,5
4	24	1,0	4	5	4	4
5	21	1,9	5	2	5	6
6	18	2,0	6	3	6	4,2
7	32	1,1	7	4	7	4,6
8	33	1,3	8	5	8	4,5
9	22	1,4	9	2	9	5
0	23	1,6	10	3	10	4,4

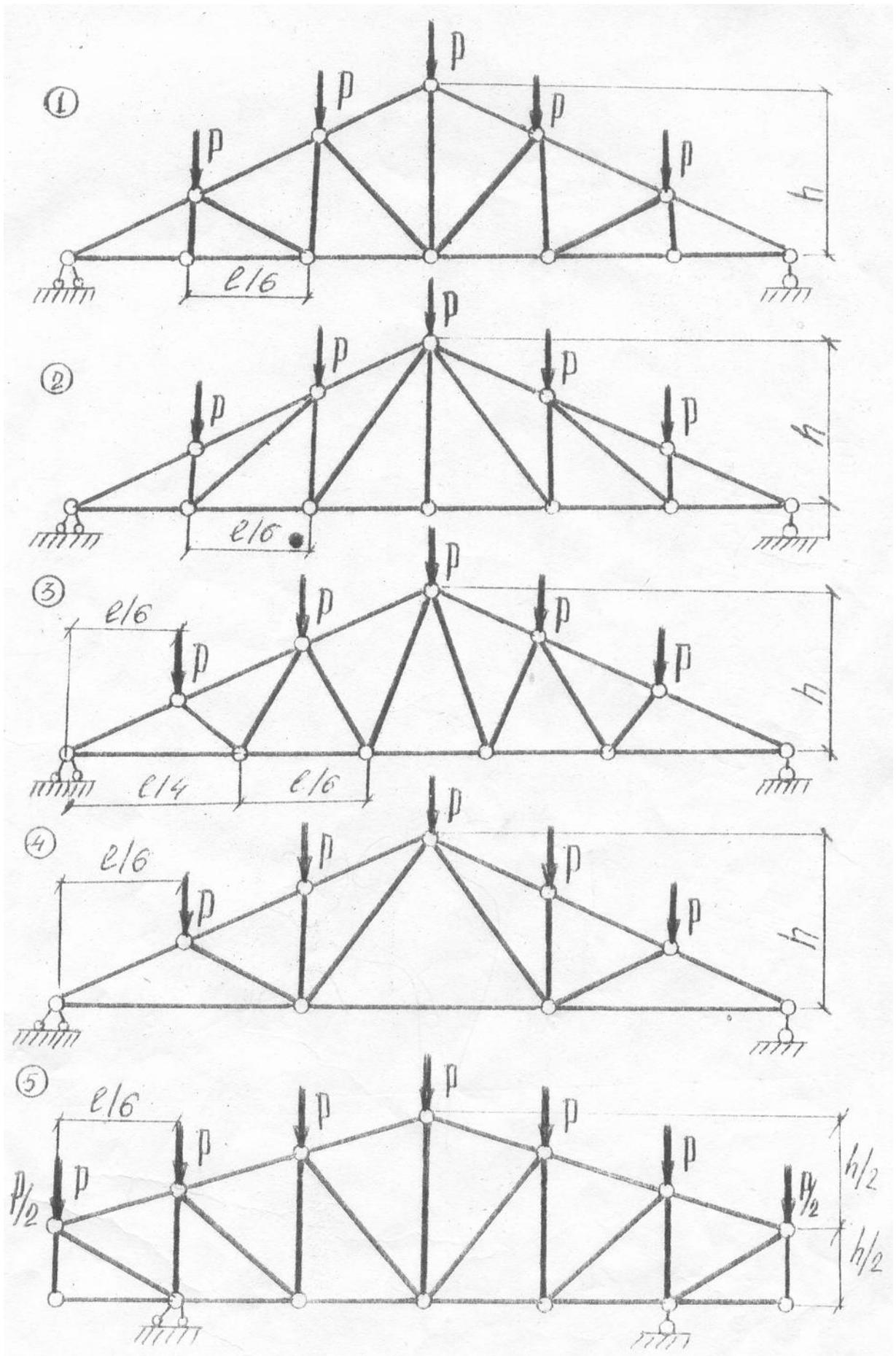
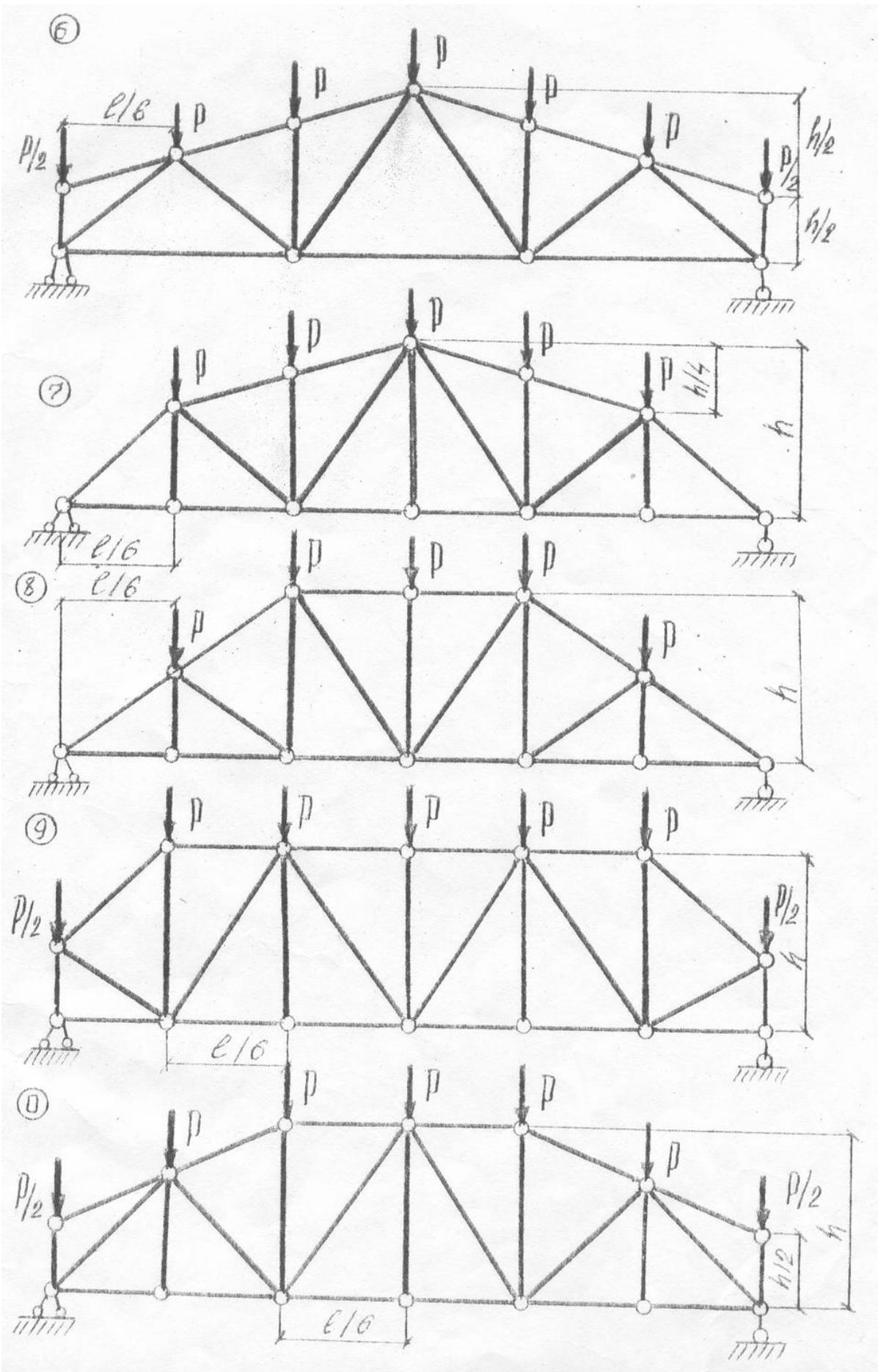


Рис. 2.



Продолжение рис. 2.

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Расчет трехшарнирной арки или рамы.

Задание: Для сплошной трех шарнирной арки или рамы (рис. 3) с размерами и нагрузкой, выбранными по шифру из табл. 3 требуется:

- 1) Определить аналитически опорные реакции, изгибающий момент, поперечную и продольную силы в сечении от действия нагрузки;
- 2) Построить линии влияния M , Q и N для сечения K и по ним найти значения M , Q и N от той же заданной нагрузки;
- 3) Сравнит величины M , Q и N в сечении K полученные по линиям влияния и аналитическим способом.

Методические указания.

Выполнения задания следует начинать с вычерчивания оси арки, определив по её уравнению достаточное (не менее пяти) число точек. Для арок ординаты точек оси и угла наклона касательной определяется по формуле:

При очертании оси по параболе:

$$y = \frac{4f}{\ell^2} \cdot x(\ell - x), \quad \operatorname{tg} \varphi = y' = \frac{4f}{\ell^2} (\ell - 2x).$$

При очертании оси по окружности:

$$y = \sqrt{R^2 - \left(\frac{\ell}{2} - x\right)^2} - R + f,$$

Где
$$R = \frac{f}{2} + \frac{\ell^2}{8f},$$

$$\sin \varphi = \frac{\ell - 2x}{2R}; \quad \cos \varphi = \frac{y + R - f}{R}.$$

Внутренние усилия в сечениях арки определяются по формулам:

$$M_k = M_k^0 - H \cdot y_k$$

$$Q_k = Q_k^0 \cdot \cos \varphi_k - H \cdot \sin \varphi_k$$

$$N_k = (Q_k^0 \cdot \sin \varphi_k + H \cdot \cos \varphi_k)$$

Где, M_k^0 и Q_k^0 - значения балочного изгибающего момента и балочной поперечной силы; φ_k - угол наклона касательной в рассматриваемом сечении.

Распор определяется выражением

$$H = \frac{M_c^0}{f}.$$

Где M_c^0 - балочный изгибающий момент в промежуточном шарнире.

Для построения линий влияния внутренних усилий целесообразно использовать способ нулевой точки.

Причем положение нулевой точки определить либо графически, либо аналитически. При графическом способе особое внимание следует обращать на тщательность соблюдения масштаба при построении очертания оси арочной системы. При аналитическом способе положения нулевой точки определяется по формулам.

$$U_m = \frac{2 \cdot f \cdot l}{l \frac{Y_k}{X_k} + 2f}; \quad U_Q = \frac{2f \cdot l}{l \cdot \operatorname{tg} \varphi_k + 2f}; \quad U_N = \frac{l}{\frac{l}{2} \cdot \operatorname{ctg} \varphi_k - 1}.$$

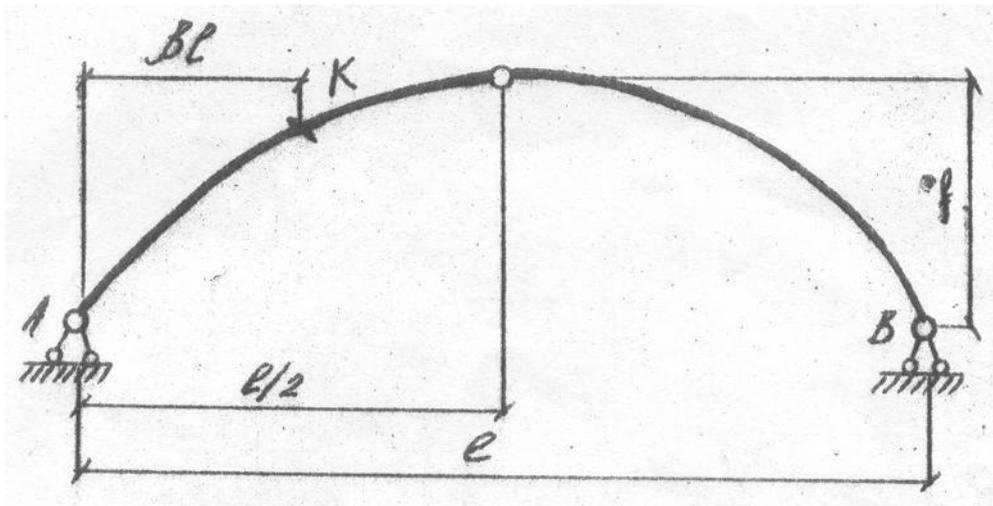


Схема нагрузки

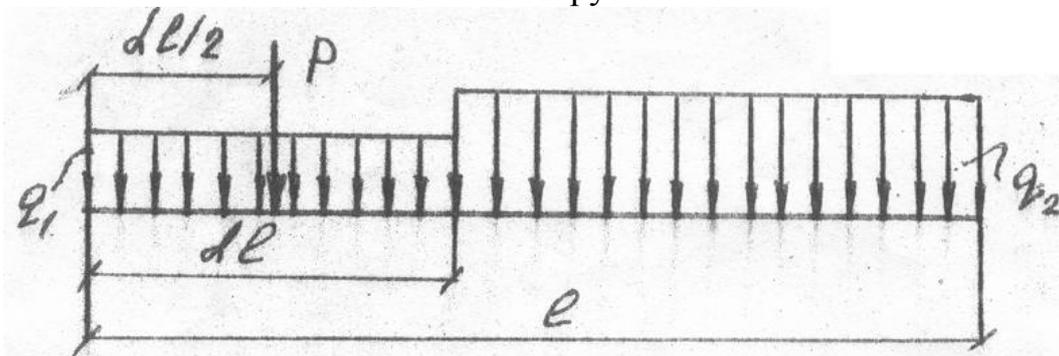


Рис. 3.

Таблица – 3

Первая цифра шифра	ℓ м	α	β	Вторая цифра шифра	q_1 кН/м	q_2 кН/м	Последняя цифра шифра	Очертание оси арки	f/ℓ	P кН
1	26	0,20	0,20	1	0	4	1	Парабола	0,34	4
2	36	0,50	0,30	2	4	0	2	Окружность	0,35	3
3	18	0,30	0,22	3	0	5	3	Парабола	0,39	5
4	28	0,60	0,25	4	5	0	4	Окружность	0,40	6
5	20	0,40	0,15	5	0	6	5	Парабола	0,32	7
6	32	0,70	0,40	6	6	0	6	Окружность	0,36	8
7	22	0,80	0,35	7	7	0	7	Парабола	0,38	2
8	34	0,25	0,12	8	0	7	8	Окружность	0,33	5
9	24	0,35	0,33	9	8	0	9	Парабола	0,30	8
10	30	0,45	0,45	10	0	8	10	Окружность	0,31	4

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Расчет статически неопределимой рамы методом сил.

Задание. Для рамы (Рис. 4), с выбранными по шифру из табл. 4 размерами и нагрузкой требуется:

- 1) установить число лишних неизвестных и выбрать основную систему;
- 2) построить единичные эпюры моментов от лишних неизвестных и грузовую эпюру;
- 3) определить коэффициенты и свободные члены системы канонических уравнений;
- 4) построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил и проверить правильность их построения.

Методические указания

Выполнение данной работы должно предшествовать изучению двух тем «Определение перемещений в упругих системах» и «Расчет статически неопределимых систем методом сил»

Для определения числа лишних неизвестных можно пользоваться основной формулой кинематического анализа сооружений.

При выборе основной системы метода сил, следует учитывать возможность снижения трудоёмкости расчета, связанную с использованием симметричной основной системы с симметричными и кососимметричными неизвестными. С этой же целью можно использовать и способ группировки неизвестных.

Основная система должна быть показана на отдельном чертеже. Далее, тоже на отдельных чертежах, должны быть показаны единичные эпюры, эпюры изгибающих моментов от единичных значений лишних неизвестных и грузовая эпюра, от действия внешней нагрузки. Все эти эпюры, как это принято, должны строиться со стороны растянутых волокон с вынесением значений всех ординат, требуемых для дальнейшего расчета.

Затем следует построить суммарную одиночную эпюру \bar{M}_s как алгебраическую сумму единичных эпюр

$$\bar{M}_s = \bar{M}_1 + \bar{M}_2 + \bar{M}_3 + \dots + \bar{M}_n$$

Коэффициенты δ_{is} и свободные члены Δ_{ip} системы канонических уравнений методом сил следует вычислять по формуле Мора и использованием правила Верещагина или формулы Симпсона.

После вычисления коэффициентов и свободных членов нужно обязательно проверить правильность вычисления их, используя проверки

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \delta_{ik} = \sum \frac{\bar{M}_s \cdot dx}{EJ} = \bar{M}_s \times \bar{M}_s$$

$$\sum_{i=1}^n \Delta_{ip} = \sum \int \frac{M_p \cdot \bar{M}_s}{EJ} dx = M_p \times \bar{M}_s$$

Относительная погрешность не должна превышать 1%.

Определив значения неизвестных X_i из решения системы канонических уравнений, рекомендуется построить использованные единичные эпюры путем умножения ординат каждой единичной эпюры на соответствующие значения личных неизвестных

$$M_i = \bar{M}_i \cdot X_i$$

Окончательная эпюра изгибающих моментов строится как алгебраическая сумма грузовой эпюры и всех исправленных эпюр

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n$$

После построения окончательной эпюры необходимо произвести деформационную проверку

$$\sum \int \frac{M \cdot \bar{M}_s}{EJ} dx = M_x \cdot \bar{M}_s ;$$

Относительная тоже не должна превышать 1% .

Эпюра поперечных сил Q_x строится по проверенной окончательной эпюре M_x с учетом принятого правила знаков и изображается на отдельном чертеже. Затем строится эпюра продольных сил. После построения всех эпюр необходимо произвести полную поверку, рассмотрев равновесию рамы в целом.

Табл. 4

Первая цифра шифра	P ₁	P ₂	P ₃	ℓ, м	Вторая цифра шифра	Q ₁	Q ₂	Q ₃	h, м	Последняя цифра шифра (№ схемы)	J ₁ : J ₂
	кН					кН/м					
1	4	0	0	8	1	0	2	0	10	1	1:2
2	0	5	0	12	2	0	0	2	8	2	2:3
3	0	0	6	9	3	0	0	4	6	3	1:3
4	5	0	0	10	4	4	0	0	9	4	1:3
5	0	6	0	7	5	0	2	0	4	5	2:3
6	0	0	4	6	6	0	0	1	5	6	1:3
7	6	0	0	5	7	2	0	0	7	7	2:3
8	0	4	0	11	8	0	1	0	11	8	3:2
9	0	0	5	4	9	0	4	0	12	9	3:4
0	4	0	0	13	0	1	0	0	13	0	1:2

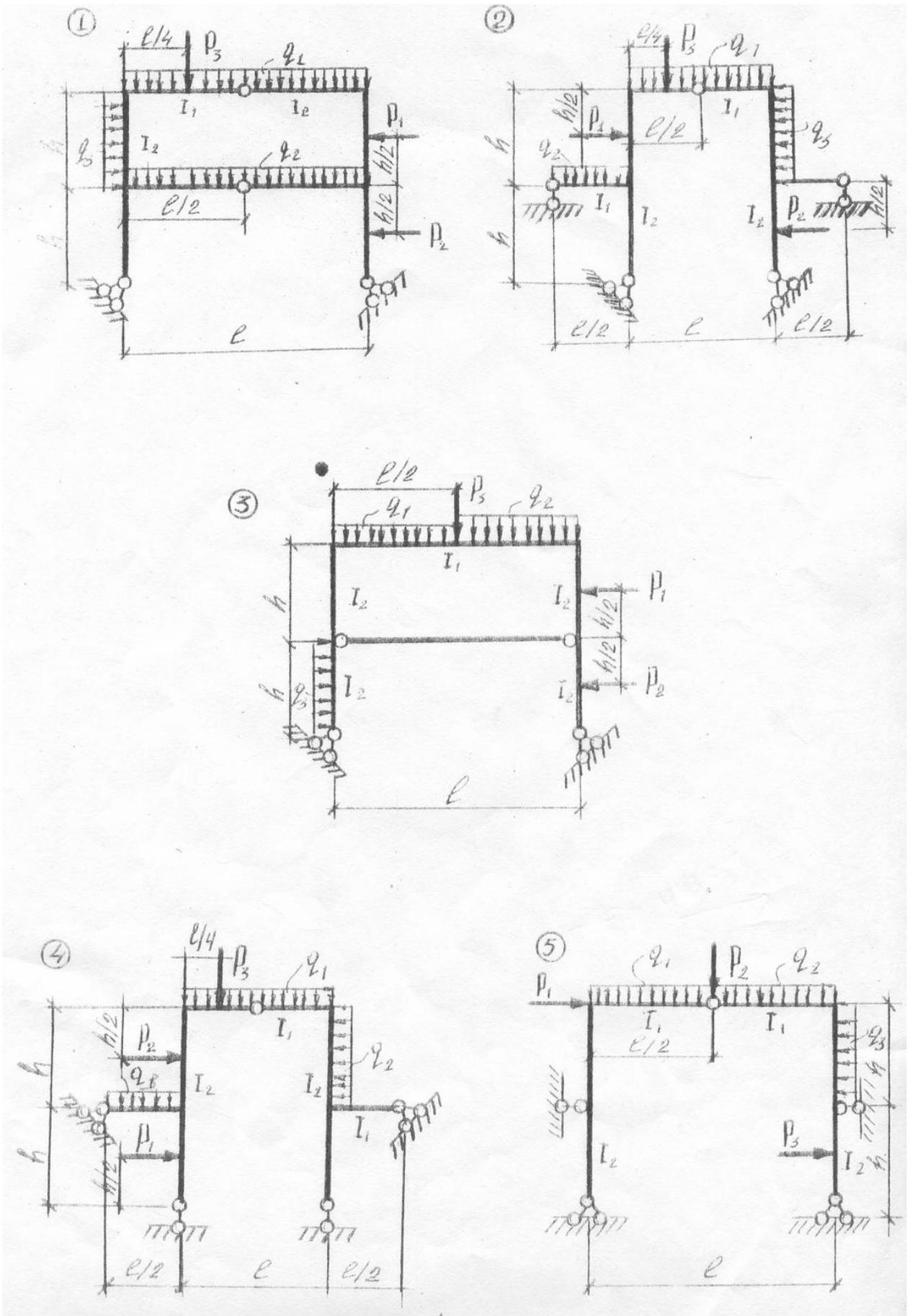
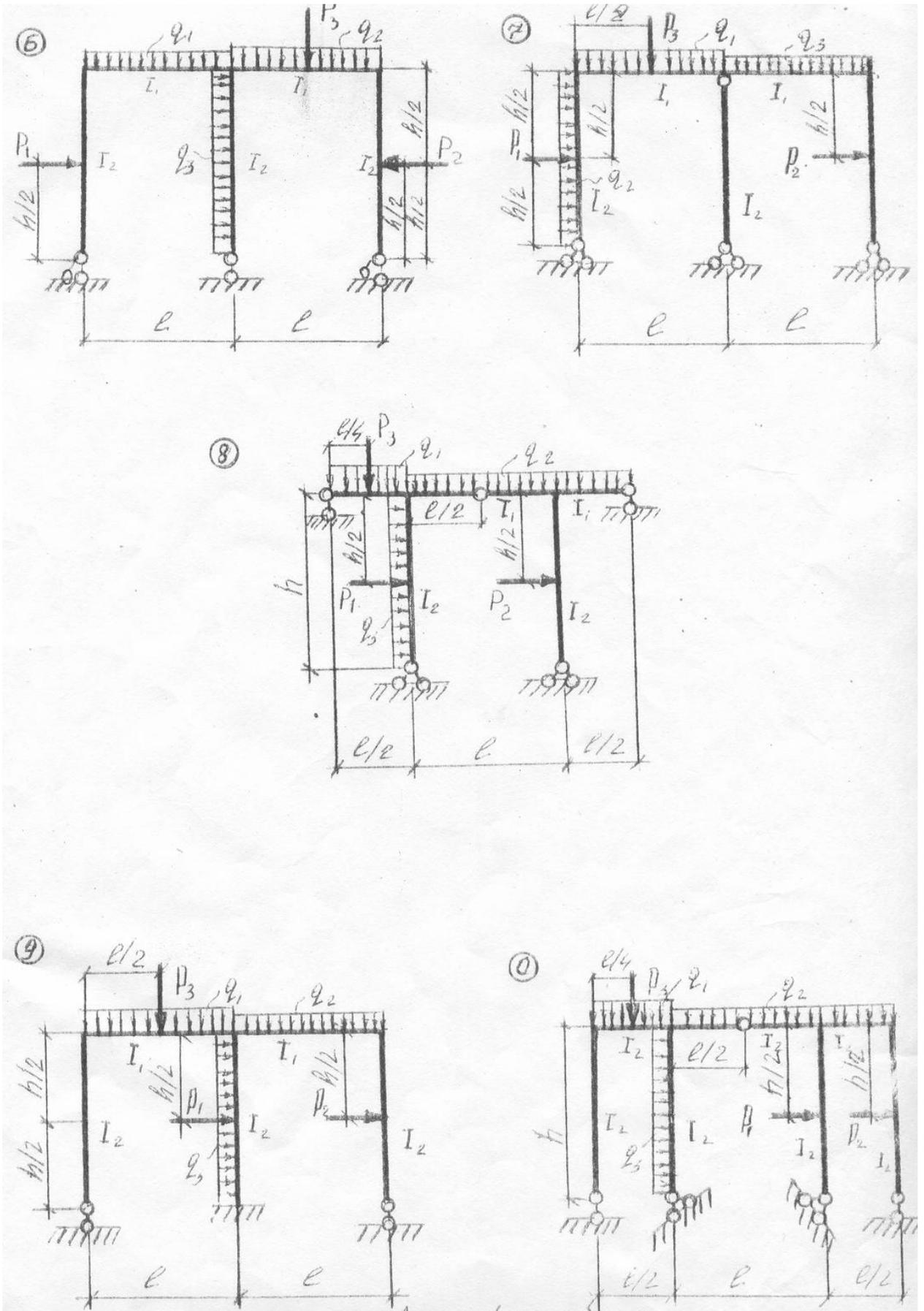


Рис. 4.



Продолжение рис. 4.

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

Расчет неразрезной балки.

Задание. Для неразрезной балки (рис. 6) с выбранными по шифру из табл. 6 размерами и нагрузкой требуется:

1. С помощью уравнения трех моментов найти опорные моменты и построить эпюры M и Q от постоянной нагрузки.
2. Найти моменты фокусные отношения и построить эпюры моментов от последовательного нагружения каждого пролета (и консоли) той же постоянной нагрузкой.
3. Произвести сравнение двух полученных эпюр.

Методические указания.

Для расчета неразрезной балки способом трех моментов необходимо по чертежам заданной балки показать основную систему и грузовую эпюру. На чертеже грузовой эпюры рекомендуется показать предварительно вычисленные значения фиктивных опорных реакций. Фиктивные опорные реакции следует определять по следующим формулам.

$$A^{\phi} = \frac{P \cdot c}{6} (l - c)(2l - c),$$
$$B^{\phi} = \frac{P \cdot c}{6} (l^2 - c^2),$$
$$A^{\phi} = B^{\phi} = \frac{q l^3}{24}.$$

Последовательно рассматривая по два соседних пролета, можно составить систему уравнений, записывая каждое из них в виде

$$M_{n-1} \cdot l_n + 2M_n (l_n + l_{n+1}) + M_{n+1} \cdot l_{n+1} = -6(A_n^{\phi} + B_n^{\phi}).$$

После решения системы уравнений и определения значений неизвестных опорных моментов, следует построить суммарную эпюру M_s , откладывая на каждой опоре полученных значения опорных моментов и соединяя их правыми линиями. Окончательная эпюра изгибающих моментов в неразрезной балке получается путем алгебраического суммирования эпюры M_s с грузовой эпюрой M_p .

По эпюре M строится эпюра поперечных сил Q и производится её статическая проверка.

Расчет неразрезной балки способом моментных фокусных отношений производится с определения для каждого пролета значения левых и правых фокусных отношения по формулам:

$$K_n = \left[2 + \frac{l_{n-1}}{l_n} \left(2 - \frac{1}{K_{n-1}} \right) \right];$$

$$K_n^1 = \left[2 + \frac{l_{n+1}}{l_n} \left(2 - \frac{1}{K_n^1 + 1} \right) \right].$$

Левые фокусные отношения определяются последовательно по пролетам, начиная с левого конца, а правые фокусные отношения, начиная с правого конца. Для случая, когда конец балки зашпелен, начальное значения фокусного отношения принимается равным двум, а для случая шарнирного опирания - равным бесконечности.

Затем строится эпюры изгибающих моментов от загрузки постоянной нагрузкой каждого из пролетов (консоли). Моменты по концам загруженного пролета определяются по формулам:

$$M_{n-1} = -\frac{6}{l_n} \cdot \frac{A_n^\phi \cdot K_n^1 - B_n^\phi}{K_n K_n^1 - 1};$$

$$M_n = \frac{6}{l_n} \cdot \frac{B_n^\phi \cdot K_n^1 - A_n^\phi}{K_n K_n^1 - 1}.$$

Остальные значения опорных моментов вычисляются путём последовательного умножения этих значений. На значения левых фокусных отношения (взяты с обратным знаком).

При движении влево и на значения правых фокусных отношения (взяты с обратным знаком) при движении вправо. Эпюры от пролетного загрузки следует строить последовательно одна под другой. На всех эпюрах должны быть указаны значения моментов на каждой опоре.

Окончательная эпюра изгибающих моментов в неразрезной балке получается путем алгебраического суммирования эпюр изгибающих моментов от пролетного загрузки постоянной нагрузкой.

Таблица – 5

Первая цифра шифра	ℓ_1 м	в м	q_1 кН/м	Вторая цифра шифра	ℓ_2 м	P_1 кН	с м	q_2 кН/м	Последняя цифра шифра (№ схема)	ℓ_3 м	P_2 кН
1	6	2	1,0	1	5	4	1	1,1	1	7	0
2	7	3	1,2	2	6	8	2	1,3	2	9	0
3	8	4	1,4	3	9	5	2	0,8	3	10	12
4	9	3	1,6	4	10	9	2	1,7	4	0	0
5	10	2	1,8	5	8	7	1	1,8	5	0	0
6	11	3	1,7	6	7	6	1	1,2	6	8	14
7	5	4	1,1	7	11	10	2	0,9	7	11	11
8	12	3	1,3	8	12	3	3	1,4	8	12	9
9	7,5	2	1,5	9	13	11	3	1,0	9	0	0
0	13	3	1,9	0	7,5	12	2	1,5	0	0	8

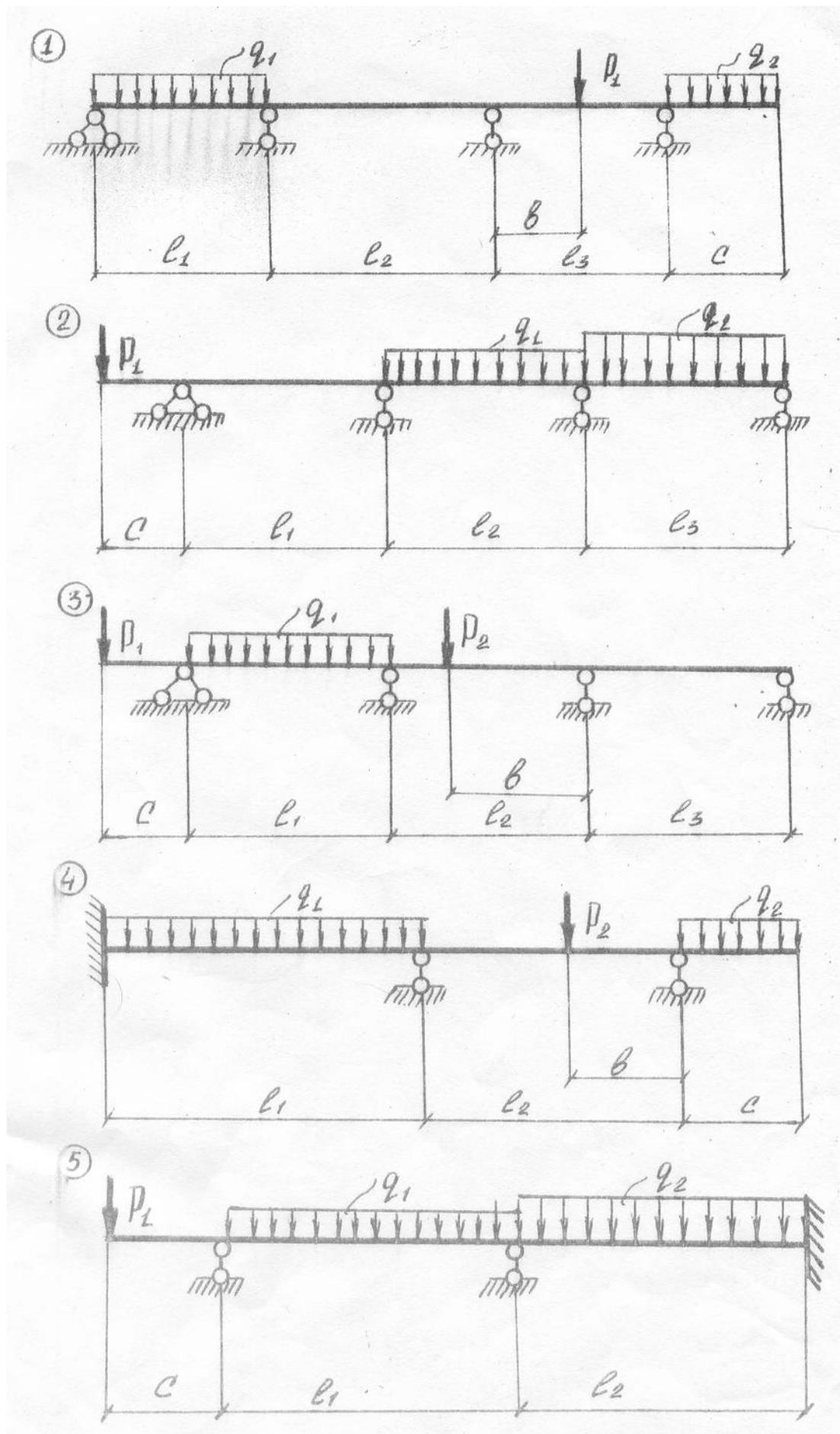


Рис. 6.

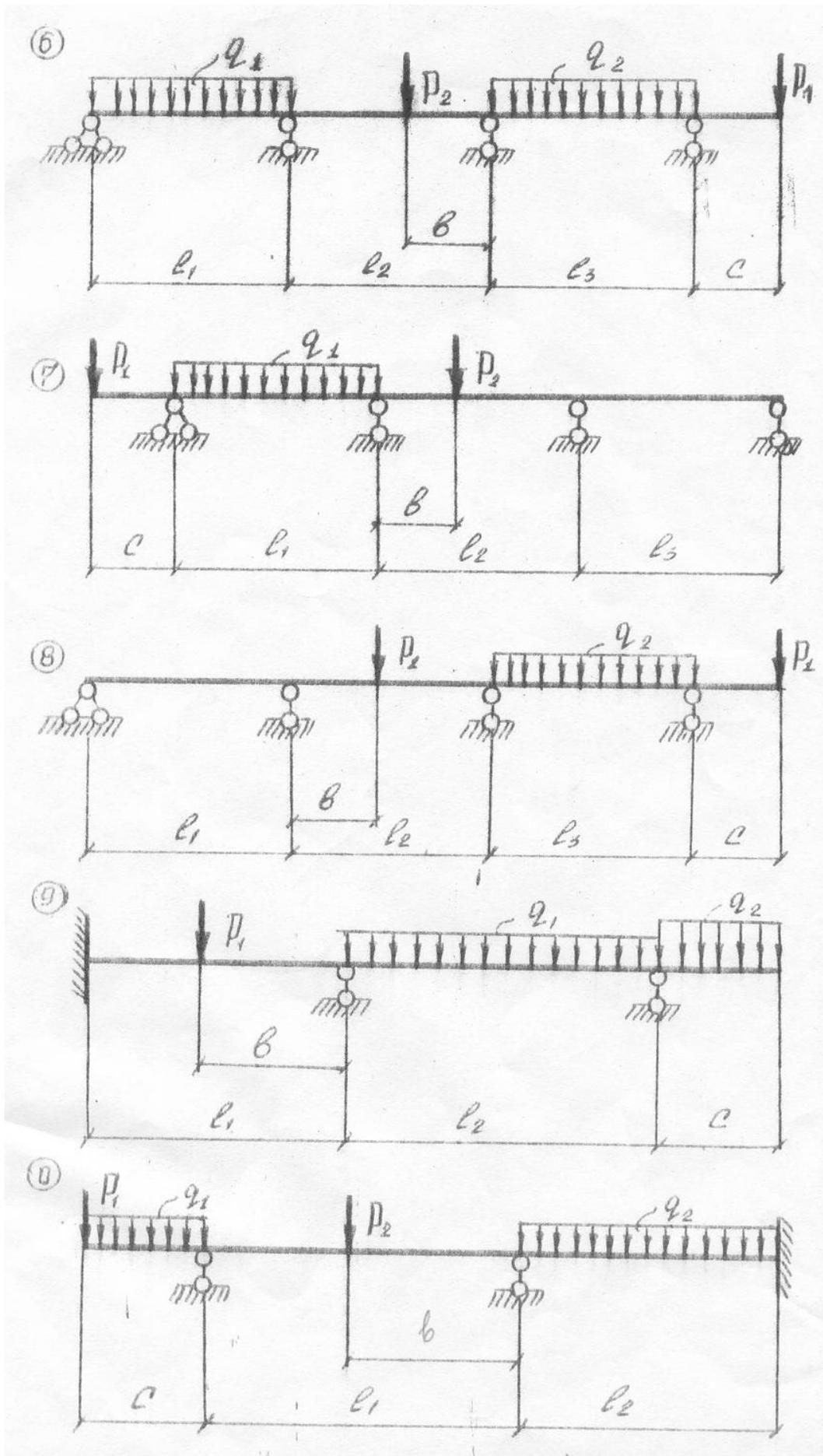


Рис. 6. (продолжение)

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

Расчет статически неопределимой рамы методом перемещений.

Задание. Для рамы (рис. 5) с выбранными по шифру из табл. 5 размерами и нагрузкой требуется:

1. Установить число неизвестных и выбрать основную систему метода перемещений;
2. Построить единичные и грузовую эпюры моментов;
3. Определить коэффициенты и свободные члены системы канонических уравнений;
4. Построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил и проверить правильность построения.

Методические указания.

Число неизвестных метода перемещения определяется путем суммирования числа возможных углов поворота (жестких узлов) и числа возможных линейных смещений. Основная система метода перемещения изображается на отдельном чертеже с нанесением значения погонных жесткостей на каждом стержне. Погонная жесткость стержня определяется как отношение жесткости стержня к его длине.

Построение эпюр изгибающих моментов от единичных значений неизвестных метода перемещений (единичные эпюры) и от заданной внешней нагрузки (грузовая эпюра) осуществляется с помощью таблиц, приводимых в учебниках. Вычисление коэффициентов и свободных членов системы канонических уравнений рекомендуется производить статическим способом, путем составления уравнений равновесия вырезаемых узлов рамы (для реактивных моментов в введенных закрепления узлов) или отдельных элементов рамы (для реакции в введенных связях).

При этом направления искомых реакции принимаются такими же как и направления лишних неизвестных в основной системе методе перемещений.

После составления и решения системы канонических уравнений дальнейшая методика расчета полностью совпадает с методикой расчета рам по методу сил.

Окончательная эпюра изгибающих моментов должна удовлетворять как статической проверке, так и деформационной. Для проведения деформационной проверки следует построить какую – либо единичную эпюру в основной системе метода сил, которую нужно затем «умножить» на окончательную эпюру моментов, проверяя удовлетворения результата равенству нулю. Относительная погрешность пропускается в пределах 1%.

Построение эпюр поперечных сил Q и продольных сил N производится так же, как и при расчете методом сил.

Таблица – 5

Первая цифра шифра	ℓ_1 м	ℓ_2 м	Вторая цифра шифра	h_1 м	P_1	P_2	P_3	Третья цифра шифра (№ схема)	h_2 м	$J_1 : J_2$
					кН					
1	4	6	1	3	4	0	0	1	0	1:2
2	5	5	2	4	0	4	0	2	0	2:1
3	6	4	3	5	0	0	4	3	5	2:3
4	3	3	4	9	5	0	0	4	6	3:2
5	7	8	5	6	0	5	0	5	0	1:3
6	8	7	6	7	0	0	5	6	0	3:1
7	9	10	7	8	6	0	0	7	9	3:4
8	10	9	8	2	0	6	0	8	10	4:3
9	12	2	9	12	0	0	6	9	0	4:1
0	2	12	0	10	7	0	0	0	0	1:4

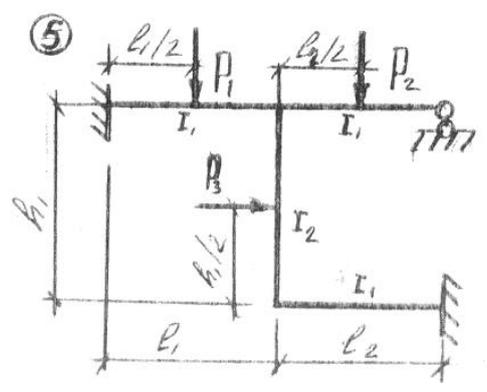
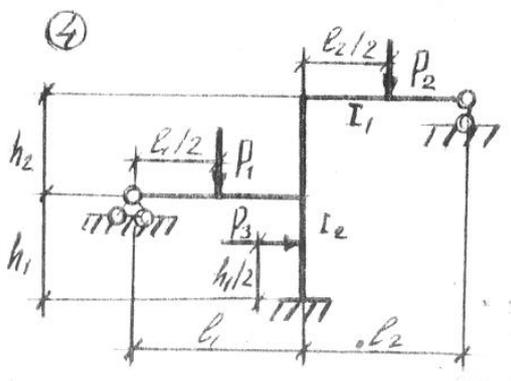
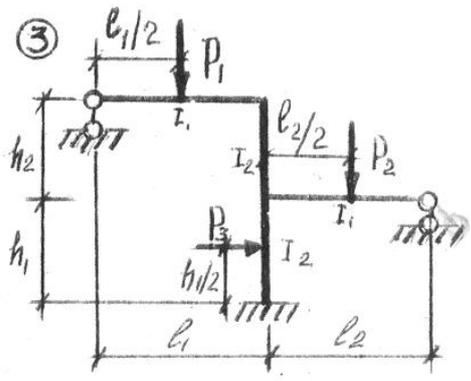
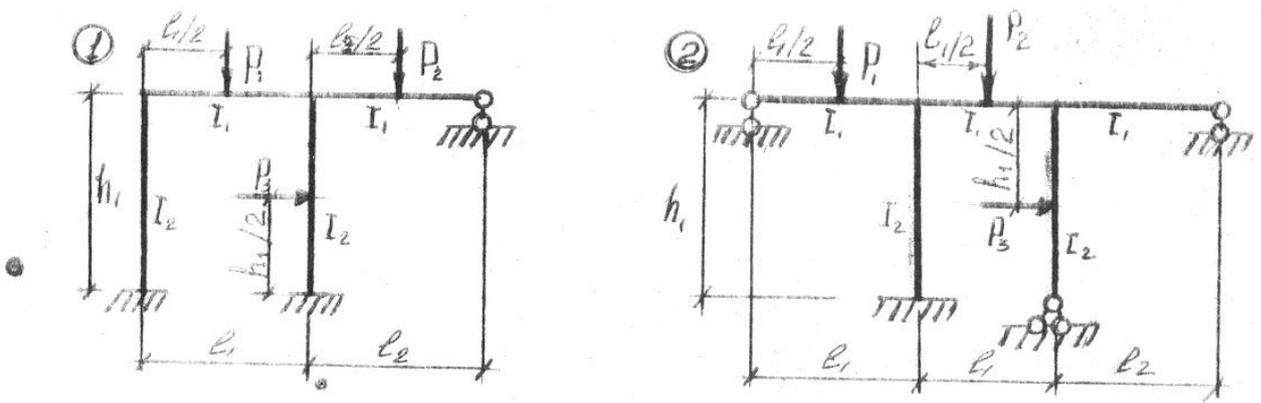


Рис. 5.

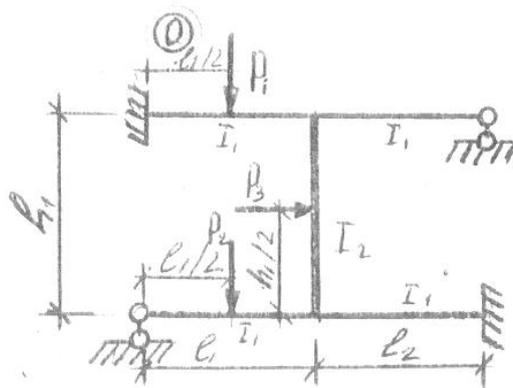
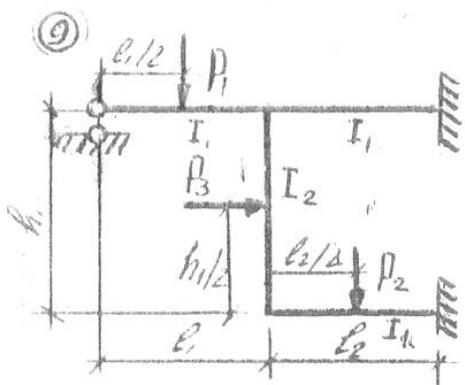
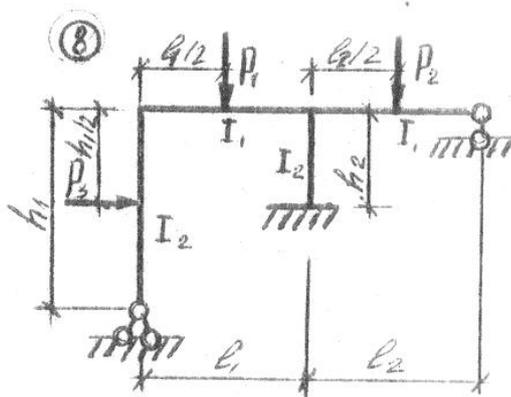
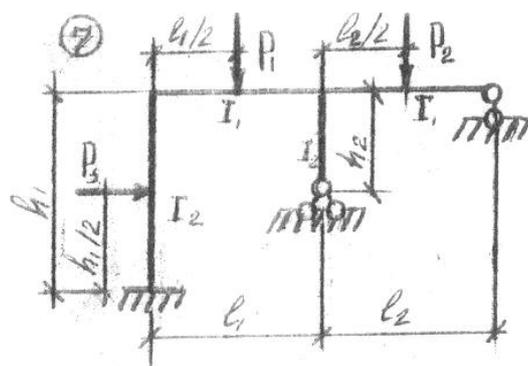
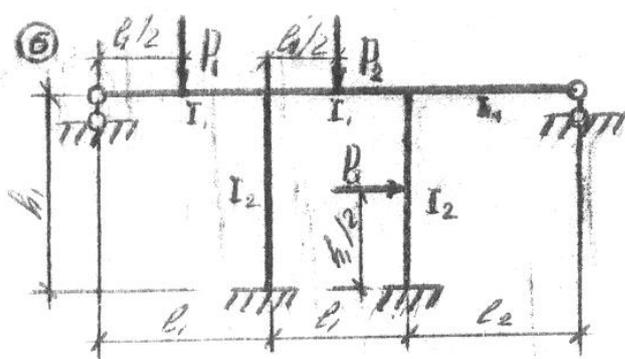


Рис. 5. (продолжение)

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев В.А. *Строительная механика*. М.: Стройиздат, 1976.
2. Смирнов А.Ф. и др. *Строительная механика*. М.: Стройиздат, 1984.
3. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. *Строительная механика*. М.: Высшая школа, 1986.
4. Киселев В.А. *Строительная механика. Специальный курс (динамика и устойчивость сооружений)*. М.: Стройиздат, 1984.
5. Смирнов А.Ф. и др. *Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений*. М.: Стройиздат, 1984.
6. Дарков А.В. и др. *Строительная механика*. М.: Высшая школа, 1976.
7. Снитко Н.К. *Строительная механика*. М.: Высшая школа, 1976.
8. Клейн Г.К. и др. *Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики (статически определимые и статически неопределимые системы)*. М.: Высшая школа, 1973.
9. Одилхужаев Э., Гуломов Т., Абдукаримов Т. *Курилиш механикаси дан мисол ва масалалар*. Тошкент, 1974.
10. Абдурашидов К.С., Тукаев С.А. *Курилиш механикаси. Курилиш мутахассислиги бийича сиртдан укийдиган талабалар учун назорат ишлари*. Тошкент, 1992.