

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТЮМЕНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ



Кафедра строительной механики

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО
СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ – ЗАОЧНИКОВ
СТРОИТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

ВВЕДЕНИЕ.

Строительная механика – наука о расчете сооружений на прочность, устойчивость и жесткость.

Цель строительной механики – вооружить будущего инженера – строителя знаниями, необходимыми для проектирования сооружений промышленного и гражданского строительства. Обеспечение прочности и надежности сооружений в сочетании с высокой экономичностью возможно при высокой квалификации инженера, владеющего современными методами строительной механики, опирающимися на широкое использование ЭВМ.

Изучение курса строительной механики следует начинать с проработки теории по учебнику, после этого рекомендуется перейти к разбору решения задач, используя рекомендуемые пособия и затем приступить к самостоятельному решению задач и выполнению контрольных работ.

Рекомендуемая литература:

1. Дарков А. В., Шапошников Н.Н., Строительная механика. М. 1986 г.
2. Киселев В. А., Строительная механика. Спецкурс. М., 1980 г.
3. Методические указания по выполнению расчетно – проектировочных заданий по строительной механике. Часть 1. Статически определимые системы. Метод сил. Кафедра строительной механики Тюм ГАСА, 1998 г.
4. Методические указания по выполнению расчетно – проектировочных работ по строительной механике. Расчет статически неопределимых систем. Динамика. Расчет на устойчивость. Кафедра строительной механики Тюм ГАСА, 1998 г.
5. Ржаницын А. Р., Строительная механика. М., 1982 г.
6. Руководство к практическим заданиям по курсу строительной механики под редакцией Клейна Г. К. М., 1973 г.
7. Смирнов А. Ф., Устойчивость и колебания сооружений. М., 1978 г.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ.

Общие указания о порядке выполнения контрольных работ.

Количество контрольных работ для студентов различных специальностей установлено рабочим планом.

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ ПГС – 4 курс.

1 часть строительной механики.

Контрольная работа 1 – задачи 1,2 Контрольная работа 2 – задача 3
Контрольная работа 3 – задача 6 Контрольная работа 4 – задача 7

2 часть строительной механики.

Контрольная работа 5 – задача 8 Контрольная работа 6 – задача 9 или 11
Контрольная работа 7 – задача 10 Контрольная работа 8 – задачи 12,13

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ ПГС – ускоренное обучение.

1 часть строительной механики. 2 часть строительной механики.
Контрольная работа 1 – задачи 1,2 Контрольная работа 4 – задача 8
Контрольная работа 2 – задача 3 Контрольная работа 5 – задача 10
Контрольная работа 3 – задача 7 Контрольная работа 6 – задачи 12,13

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ АД.

Контрольная работа 1 – задачи 1,2
 Контрольная работа 2 – задачи 3,4
 Контрольная работа 3 – задача 7
 Контрольная работа 4 – задача 8

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ АД– ускоренное обучение.

Контрольная работа 1 – задачи 1,4
 Контрольная работа 2 – задача 7
 Контрольная работа 3 – задача 8

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ ВкВ.

Контрольная работа 1 – задачи 1,3
 Контрольная работа 2 – задача 7,5

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ ВкВ– ускоренное обучение.

Контрольная работа 1 – задачи 1,3
 Контрольная работа 2 – задача 7

Исходные данные для решения задач выбираются студентом из таблиц вариантов задач в соответствии с личным учебным шифром студента – номером зачетной книжки.

Шифром считаются 3 последние цифры, например, если номер зачетной книжки 98 С – 7465, то учебным шифром будет 465, если номер зачетной книжки двузначный, например 32, то 32 следует повторить дважды 3232 и взять три последние цифры 232. Для получения исходных данных надо выписать из таблицы соответствующей задачи три строчки: одну, отвечающую первой цифре шифра, вторую – отвечающую второй цифре шифра, третью – отвечающую последней третьей цифре шифра.

Например, для номера зачетной книжки 98 С – 7465, которой соответствует шифр 465 для задачи 1 получим следующие данные: $l = 12 \text{ м}$, $g = 3 \text{ кН/м}$, $l_2 = 10 \text{ м}$, $p = 3,3 \text{ кН}$, $a = 1,3 \text{ м}$, $c = 1,8 \text{ м}$, $M = 2,5 \text{ м}$.

Контрольные работы выполняются в тетради в клетку или на стандартных листах формата А4, на обложке обязательно указать учебный шифр.

Контрольная работа № 1. Задача 1

1. Расчет статически определимой многопролетной балки.

Задание. Для балки, выбранной согласно рис. 1 – 1, требуется

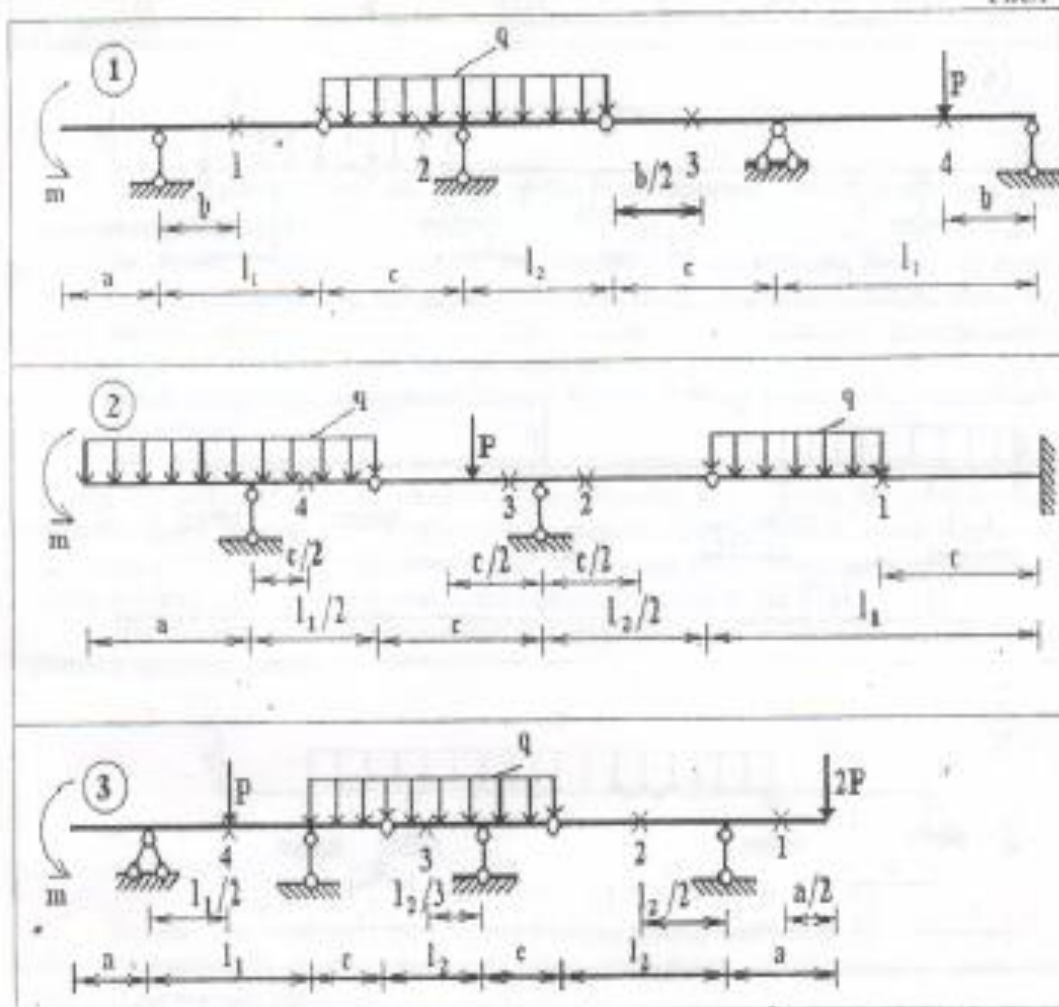
- построить эпюры M , Q , N аналитически;
- построить линию влияния M, Q для заданного сечения, построить линию влияния одной опорной реакции по выбору студента;
- определить по линиям влияния изгибающий момент, поперечную силу и опорную реакцию.

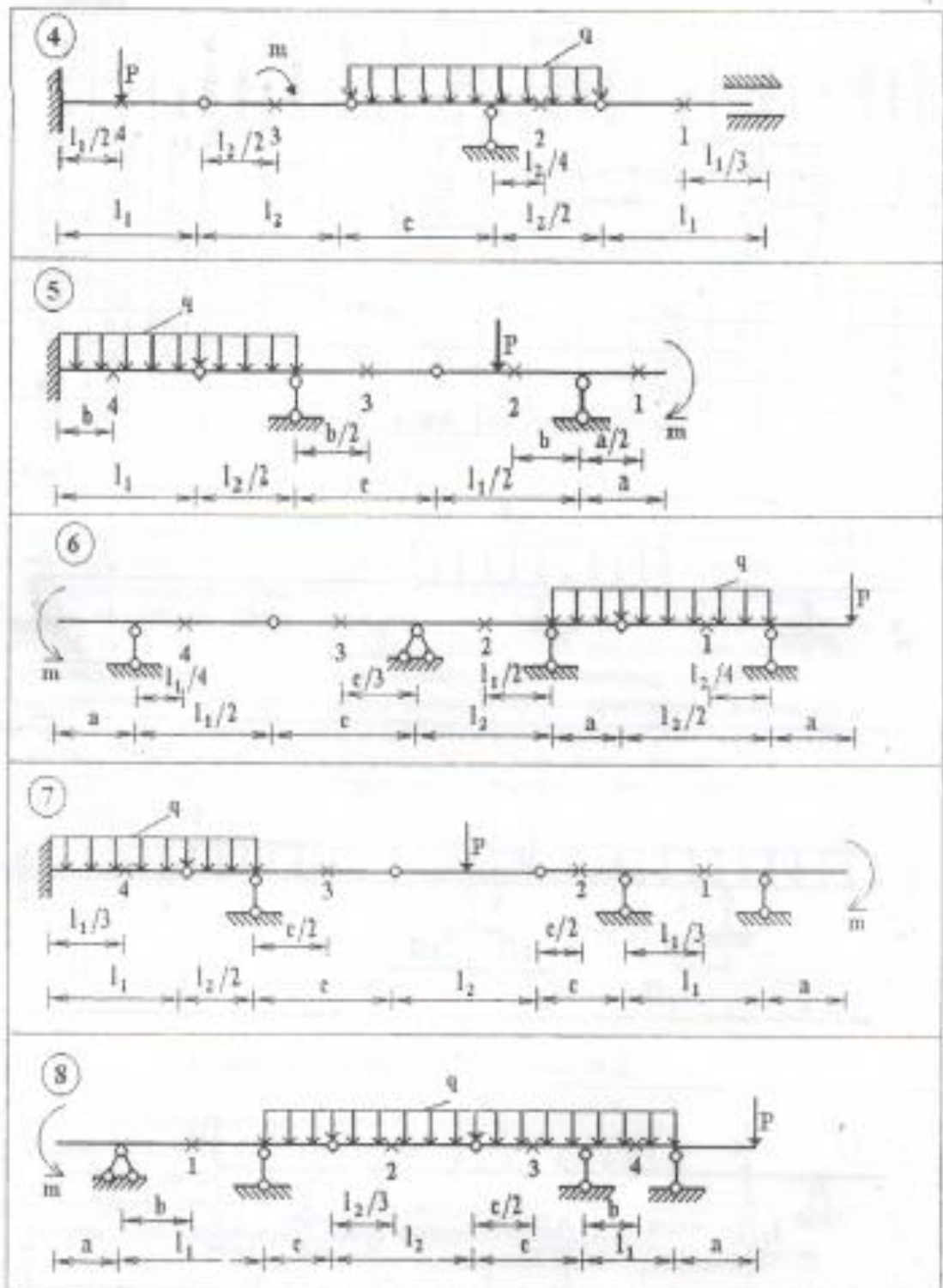
Исходные данные выбираются в соответствии с шифром согласно таблице 1.

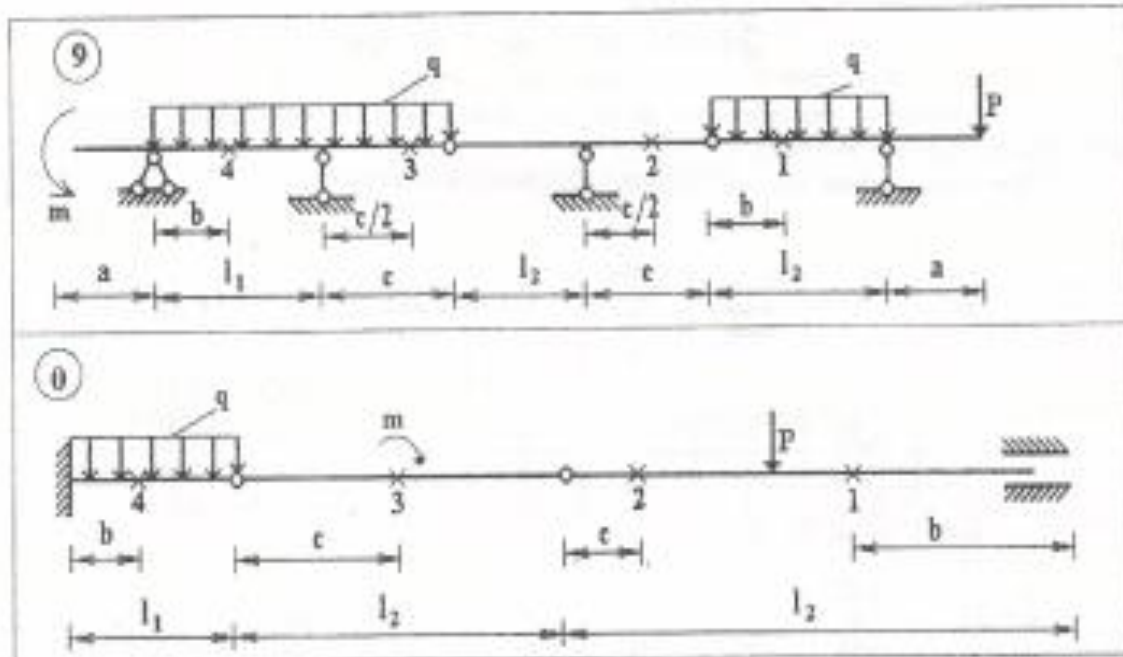
Таблица 1.

Первая шифра шифра	$l_1, м$	$q, кН/м$	$b, м$	Вторая шифра шифра	$l_2, м$	$P, кН$	N сечений	Последняя шифра шифра	схема	$a, м$	$c, м$	$M, кНм$
1	10	1,2	1,0	1	8	3	1	1	1,0	1,0	2,0	
2	14	2,0	1,0	2	7	2,5	2	2	1,0	2,0	2,2	
3	8	1,8	1,0	3	9	6	3	3	2,0	1,0	2,7	
4	12	3,0	1,0	4	6	2,8	4	4	2,0	1,0	2,4	
5	9	1,5	1,0	5	11	7	1	5	1,0	1,0	2,5	
6	11	2,5	2,0	6	10	3,3	2	6	2,0	2,0	1,1	
7	7	1,4	1,0	7	12	5	3	7	1,0	1,0	2,6	
8	6	0,8	1,0	8	15	8	4	8	1,0	1,0	3	
9	5	1,0	1,0	9	14	4	1	9	1,0	1,0	2,8	
0	13	2,2	2,0	0	14	3,2	3	0	1,0	1,0	1,5	

Рис.1







Методические указания.

Для построения эпюр M и Q удобнее пользоваться схемой взаимодействия («позтажной» схемой).

Те балки, которые окажутся способными самостоятельно нести нагрузку (зашемленные или имеющие две наземные опоры), будут основными. Вспомогательные балки имеют только одну наземную опору или не имеют их вовсе. Недостающими опорами для них служат соединительные шарниры.

После построения «позтажной схемы» заданную балку можно рассматривать как ряд простых балок.

Для построения линий влияния следует вычертить еще раз «позтажную схему», но уже без нагрузки. Обычно линии влияния строятся в два этапа. На первом этапе строится линия влияния искомого усилия в пределах той отдельной балки, к которой относится исследуемое сечение (или опора). На втором этапе добавляется продолжение линии влияния, обусловленное взаимодействием отдельных балок.

Все расчеты должны сопровождаться необходимыми расчетными формулами в общем и численном виде.

2. Расчет трехшарнирной арки.

Задание: Для сплошной трехшарнирной арки (рис. 2) требуется:

а) определить аналитически моменты, поперечные и нормальные силы от действия постоянной нагрузки;

Исходные данные, согласно шифру, выбираются по табл. 2.

2 Расчет трехшарнирной арки.

Задание: Для сплошной трехшарнирной арки (рис.2) требуется:

а) определить аналитически моменты, поперечные и нормальные силы от действия постоянной нагрузки;

Исходные данные, согласно шифру, выбираются по табл.2.

Таблица 2.

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

Для ускоренников $\alpha = 0,5$.

Допускается расчет двух любых сечений слева и справа от шарнира **C**

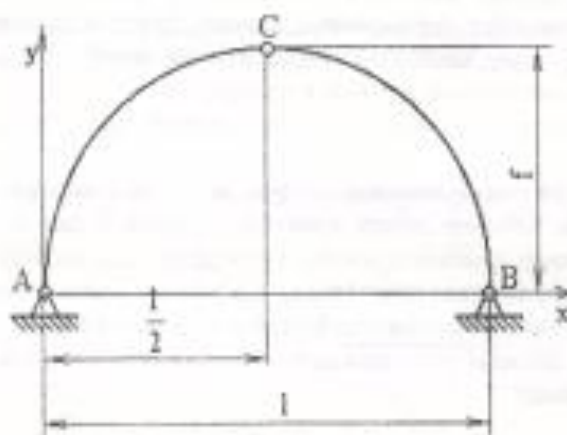
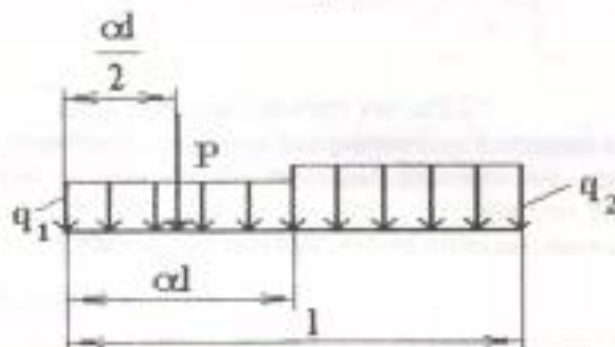


Схема нагрузки.



Разделить пролет арки на 6 – 12 частей и по уравнению оси определить геометрические характеристики рассмотренных сечений (ординату сечения; угол наклона касательной; синусы и косинусы угла наклона касательной к оси арки в данном сечении):

а) при очертании по параболу $y = \frac{4f}{l^2} x(l-x); \operatorname{tg} \varphi = \frac{dy}{dx} = \frac{4f}{l^2} (l-2x);$

б) при очертании по окружности $y = \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2} - x\right)^2} - R + f,$ где

$$R = \frac{f}{2} + \frac{l^2}{8f}; \sin \varphi = \frac{l-2x}{2R}; \cos \varphi = \frac{y+R-f}{R}.$$

В рассмотренных 6 – 12 сечениях определить внутренние усилия и построить эпюры M, Q, N.

3. Расчет простой плоской статически определимой фермы.

Задание: Для фермы (рис. 3) с выбранными по шифру из табл. 3 размерами и нагрузкой требуется:

а) определить (аналитически) усилия в стержнях ПГС- расчет трех панелей

б) построить линии влияния усилий в тех же стержнях;

в) по линиям влияния подсчитать значения усилий Для АД, ...

сравнить их со значениями, полученными аналитически.

Задание б) и в) может быть заменено графическим расчетом фермы.

Таблица 3

Первая цифра шифра	l, м	P ₁ , кН	Вторая цифра шифра	№ панели (считая слева)	Последняя цифра шифра (№ схемы)	h, м
1	30	1,8	1	2	1	3,0
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	4,0
5	21	1,9	5	2	5	6,0
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
0	23	1,6	0	3	0	4,4

Для схем № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 0 $\ell = 6d$; для схем № 7, 8 0 $\ell = 5d$

d – длина панели фермы.

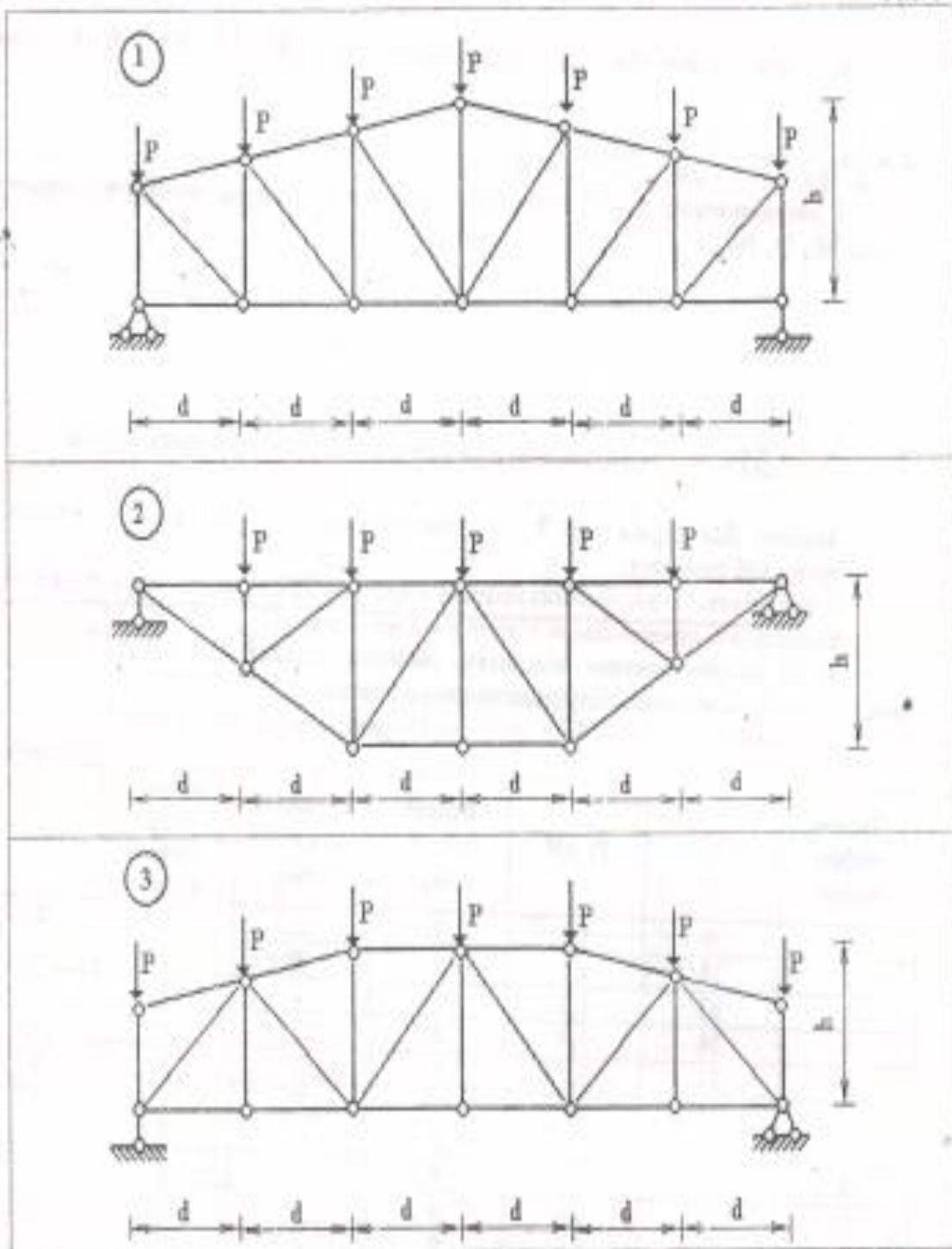
Методические указания.

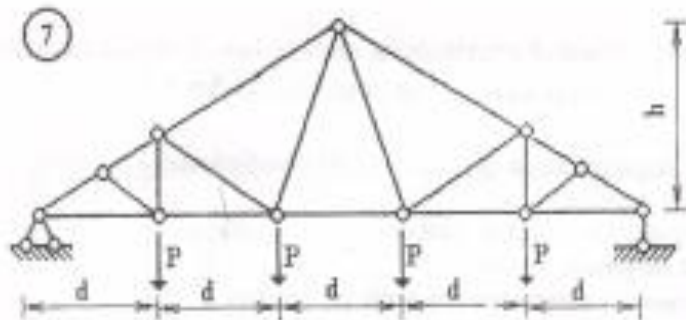
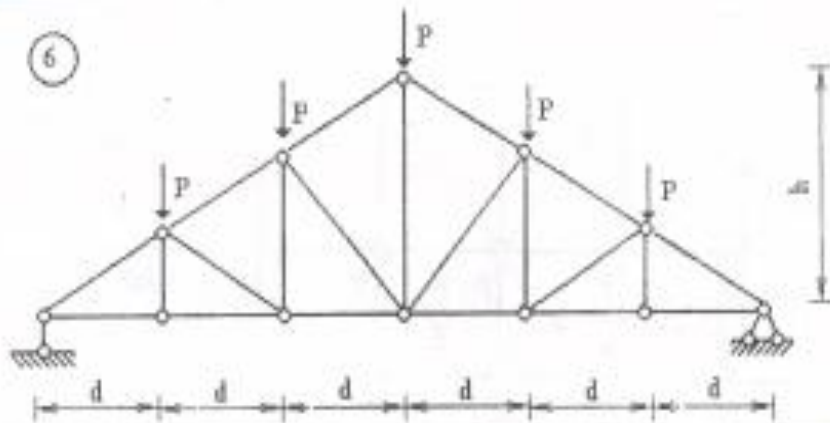
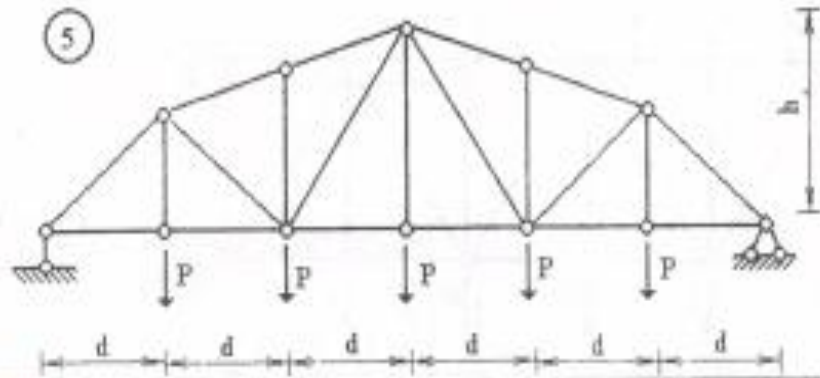
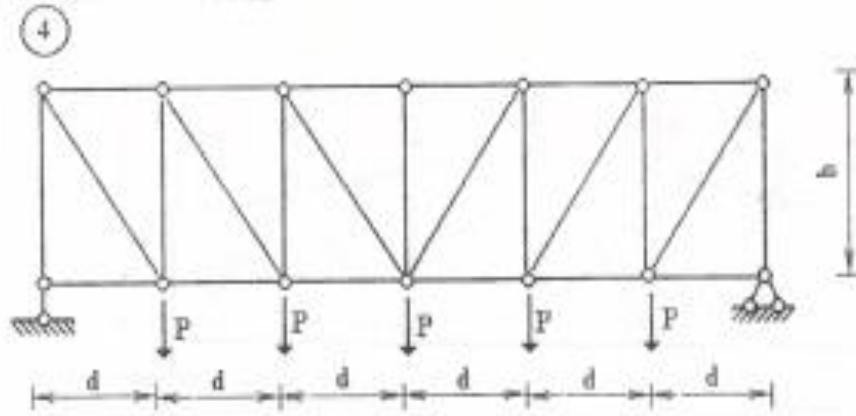
Усилие в каждом стержне следует определять непосредственно через нагрузку опорные реакции, а не одно через другое, т. е. для каждого усилия надо найти свой способ из трех известных (моментной точки; проекций; вырезания узлов).

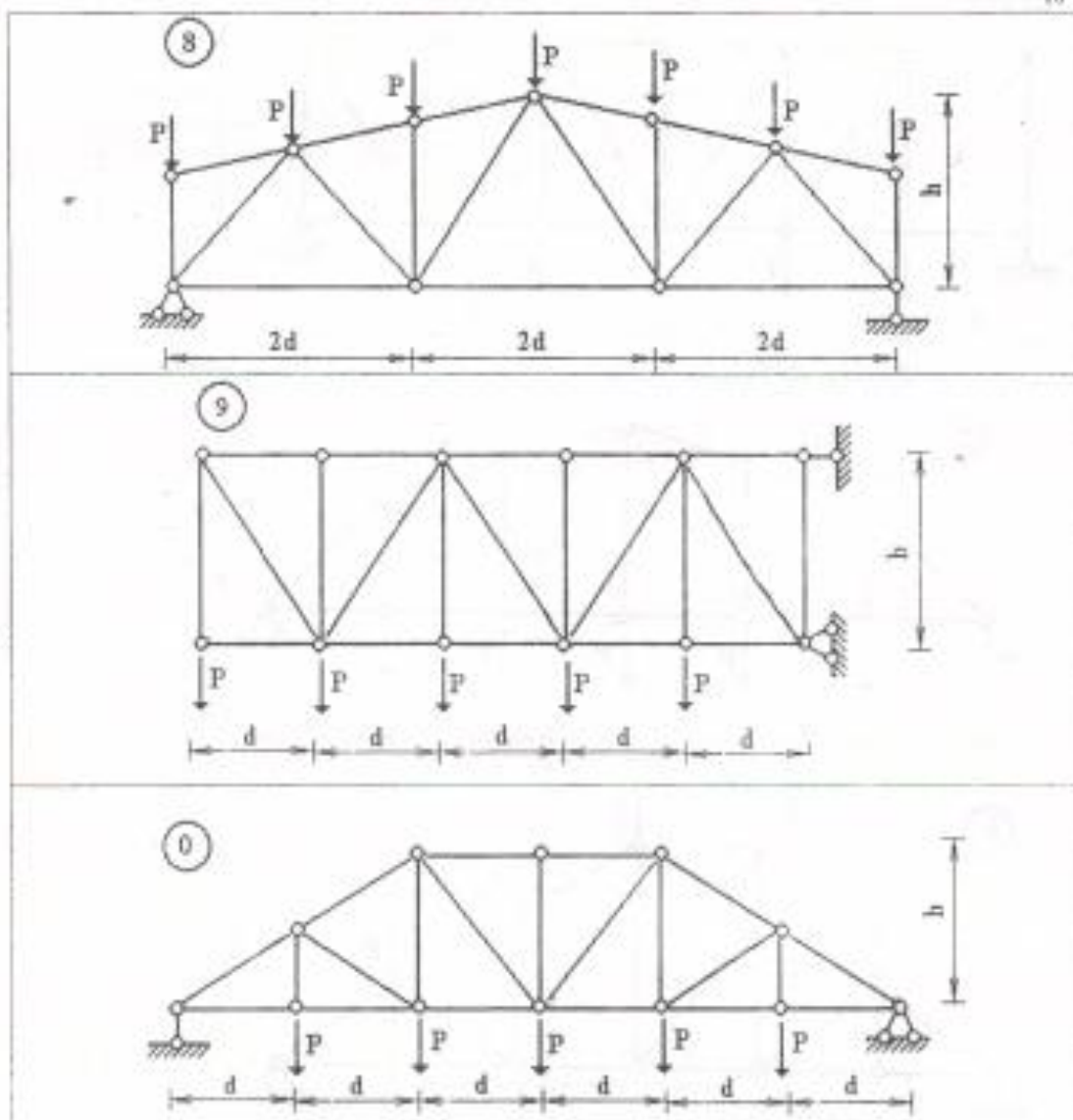
Методические указания.

Усилие в каждом стержне следует определять непосредственно через нагрузку и опорные реакции, а не одно через другое, т. е. для каждого усилия надо найти свой способ из трех известных (моментной точки; проекций; вырезания узлов).

Рис. 3







4. Расчет сложной статически определимой плоской фермы.
(для студентов специальности АД)

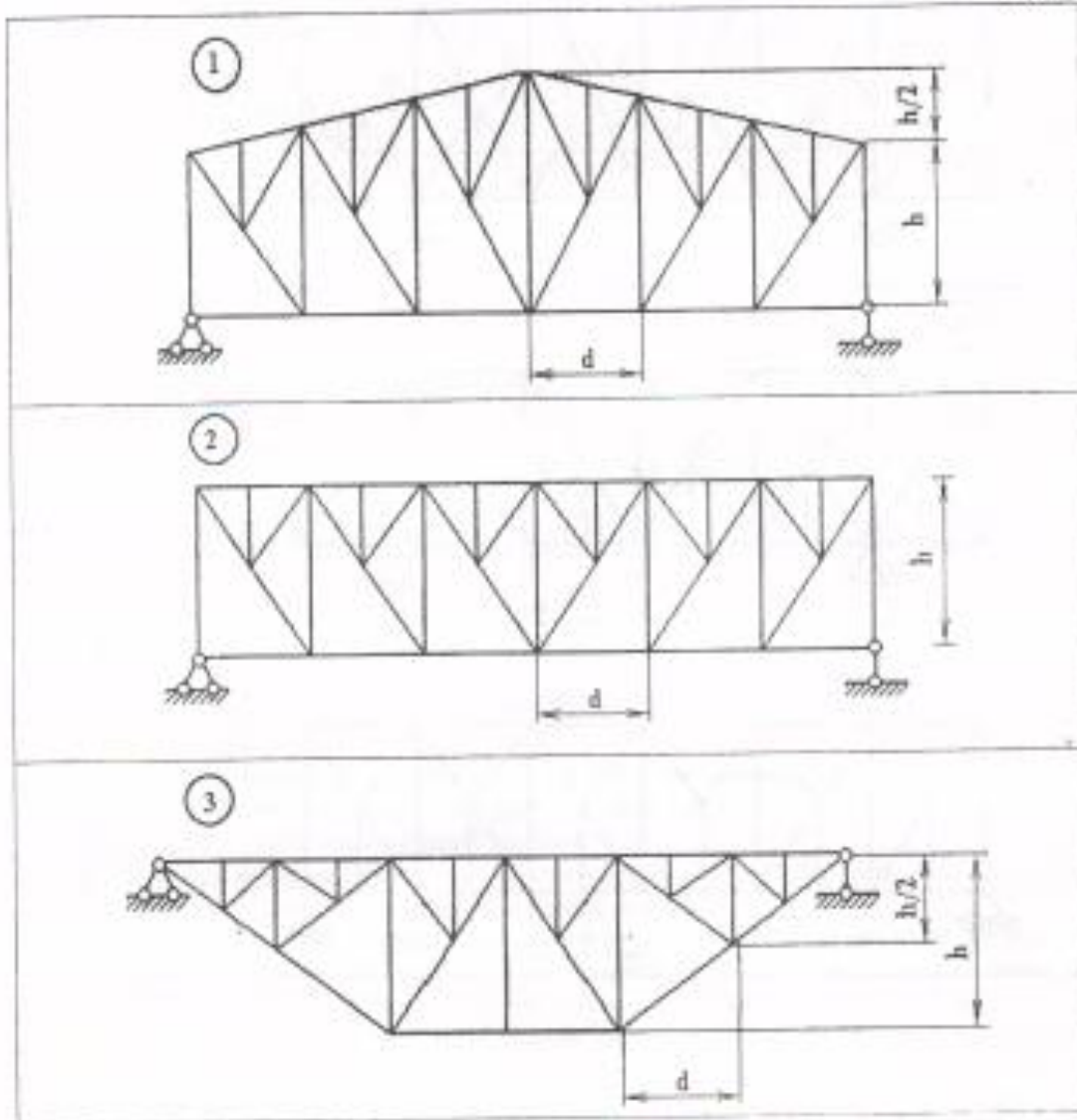
Задание: Для шпренгельной фермы (рис. 4) с выбранными по шифру из табл. 4 размерами и нагрузкой требуется:

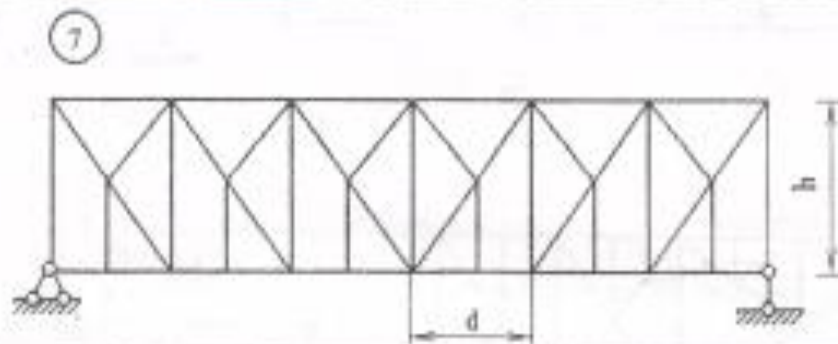
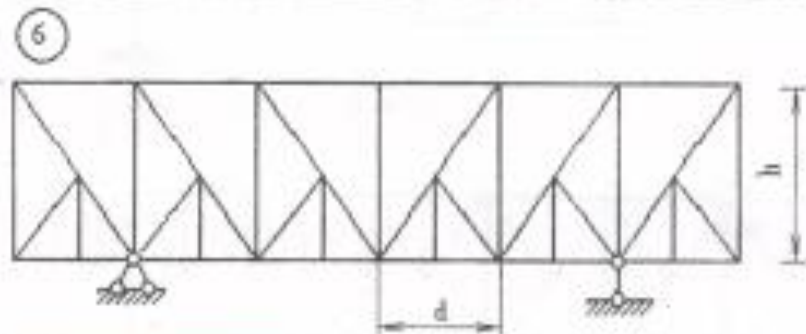
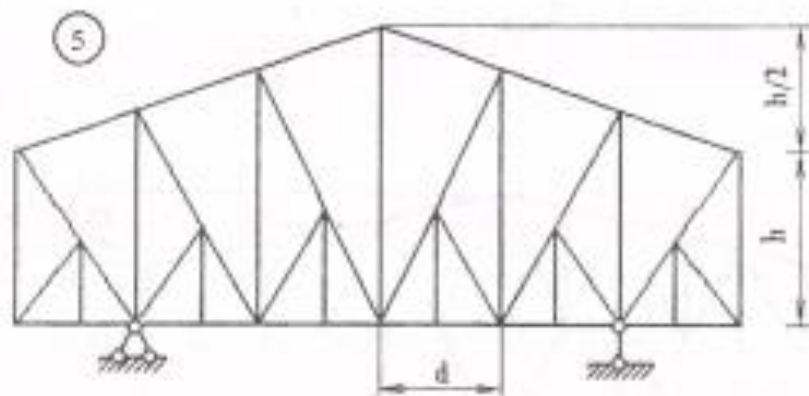
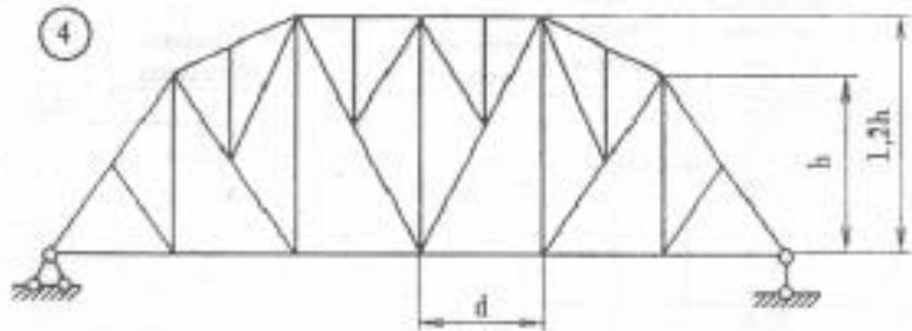
- определить (аналитически) усилия во всех стержнях заданной панели от действия постоянной нагрузки;
- построить линии влияния усилий в тех же стержнях;
- найти величины максимальных и минимальных усилий;
- определить максимальные и минимальные значения расчетных усилий во всех стержнях заданной панели (с учетом постоянной нагрузки).

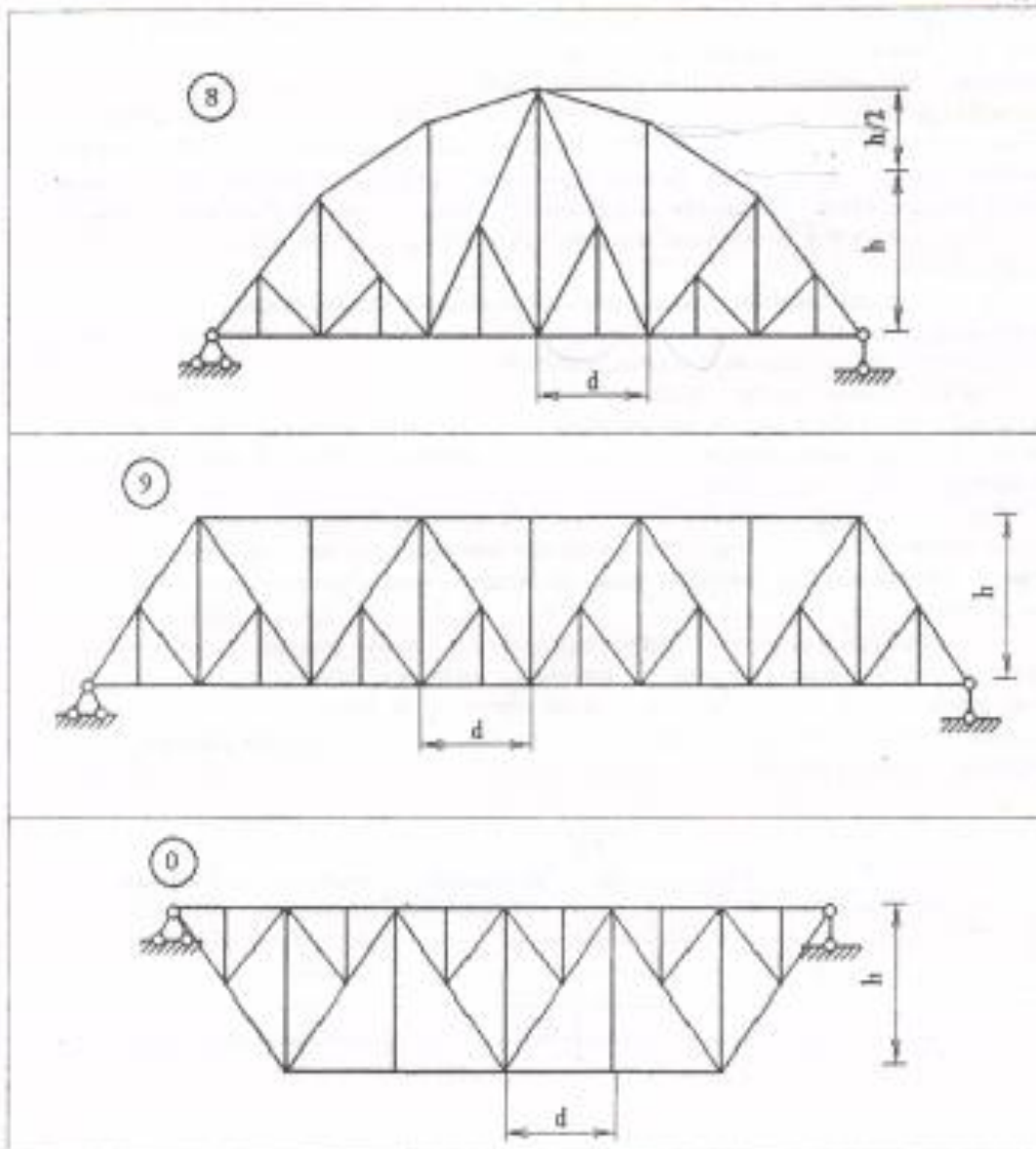
Таблица 4.

Первая цифра шифра	$d, м$	Постоянная нагрузка $P, кН$	Вторая цифра шифра	№ панели (считая слева)	$h, м$	Последняя цифра шифра (№ схемы)	Временная нагрузка $P_w, кН$
1	3,0	12,0	1	2	3,2	1	16,0
2	3,5	12,5	2	3	4,0	2	17,0
3	4,0	13,0	3	4	3,8	3	18,0
4	4,5	13,5	4	5	3,3	4	18,5
5	3,6	11,5	5	2	3,6	5	17,5
6	4,2	11,0	6	3	3,0	6	19,0
7	2,7	20,0	7	4	4,2	7	20,0
8	3,2	19,0	8	5	4,1	8	22,5
9	3,3	18,0	9	2	3,7	9	24,0
0	3,4	17,5	0	3	3,5	0	23,0

Рис.4.







Методические указания.

Решению задачи должно предшествовать изучение темы.

Постоянная и временная нагрузки для схем 5 – 9 приложены в узлах нижнего пояса, а для остальных схем – в узлах верхнего пояса.

Панелью фермы считается расстояние между узлами основной решетки, следовательно, должно быть определено восемь усилий.

Усилие в каждом стержне следует определять непосредственно через нагрузку и опорные реакции, а не через какое – либо другое, уже найденное усилие. Этого не удастся делать лишь в некоторых случаях, например для средних стоек в схемах 1,5.

Особенность расчета шпренгельных ферм является то, что для некоторых стержней нельзя провести удачного сечения (пересекающего более трех стержней). В связи с этим появляется необходимость переходить к схеме взаимодействия шпренгеля с основной решеткой. Для успешного расчленения сложной фермы на основную и шпренгель необходимо твердо усвоить типы шпренгелей.

Следует иметь в виду, что в большинстве случаев (для всех заданных ферм) усилия в элементах, входящих и в шпренгель и в основную решетку, удается определить, рассматривая непосредственно заданную ферму. В связи с этим рекомендуется сначала рассмотреть заданную схему и найти все усилия, для которых возможно провести удачное сечение. Остальные усилия определяются из рассмотрения шпренгеля или только основной фермы. При этом в работе обязательно нужно приводить схемы шпренгеля и основной решетки отдельно с указанием узловой нагрузки, полученной в результате передачи местной нагрузки со шпренгеля в узлы основной решетки.

Производя определение усилий, надо приводить все схемы, разрезы и указывать все величины, входящие в расчетные формулы. Геометрические характеристики (плечи, углы и прочее) должны быть определены аналитически, а не по масштабу.

При построении линий влияния схема фермы (заданная, основная и шпренгель) должны быть вычерчены заново, без нагрузки. Должны быть проведены все сечения и расчеты, а на полученных линиях влияния должны быть проставлены числовые значения ординат под каждым узлом фермы.

Для определения максимального усилия от временной нагрузки надо загрузить все узлы, которым соответствуют положительные значения ординат линии влияния. Для определения минимальных усилий – узлы, соответствующие отрицательным ординатам линии влияния.

Максимальное расчетное усилие определяется суммой усилий от постоянной нагрузки и максимального усилия от временной нагрузки. Минимальное расчетное усилие равно сумме усилия от постоянной нагрузки и минимального усилия от временной нагрузки. Максимальные и минимальные расчетные усилия должны быть определены для всех восьми стержней и сведены в таблицу.

Наименование стержня	Усилие от постоянной нагрузки, кН	Усилия от временной нагрузки, кН		Расчетные усилия, кН	
		Максимальное	минимальное	Максимальное	минимальное
Первый	5,5	8,3	- 0,2	13,8	5,3
Второй	- 6,4	0,4	- 9,2	- 6,0	- 15,6
.
.
.

5. Определение перемещений в статически определимой балке.

Задание: Для балки (рис. 5) с выбранными из табл. 5 по шифру данными определить прогиб или угол поворота одного из сечений.

Таблица 5

Первая шифра шифра	$l, м$	$q, кН/м$	Вторая шифра шифра	$P, кН$	№ сечения	Последняя шифра шифра (№ схемы)	Вид перемещений
1	10,0	1,0	1	4,0	1	1	Прогиб
2	18,0	1,2	2	4,5	2	2	Прогиб
3	9,6	1,6	3	5,0	3	3	Прогиб
4	12,0	2,0	4	3,6	1	4	Прогиб
5	12,4	2,4	5	2,0	2	5	Прогиб
6	13,0	2,8	6	3,2	3	6	Угол поворота
7	14,0	3,0	7	8,0	1	7	Угол поворота
8	15,0	3,6	8	6,0	2	8	Угол поворота
9	16,0	5,0	9	0	3	9	Угол поворота
0	18,0	4,0	0	2,0	1	0	Угол поворота

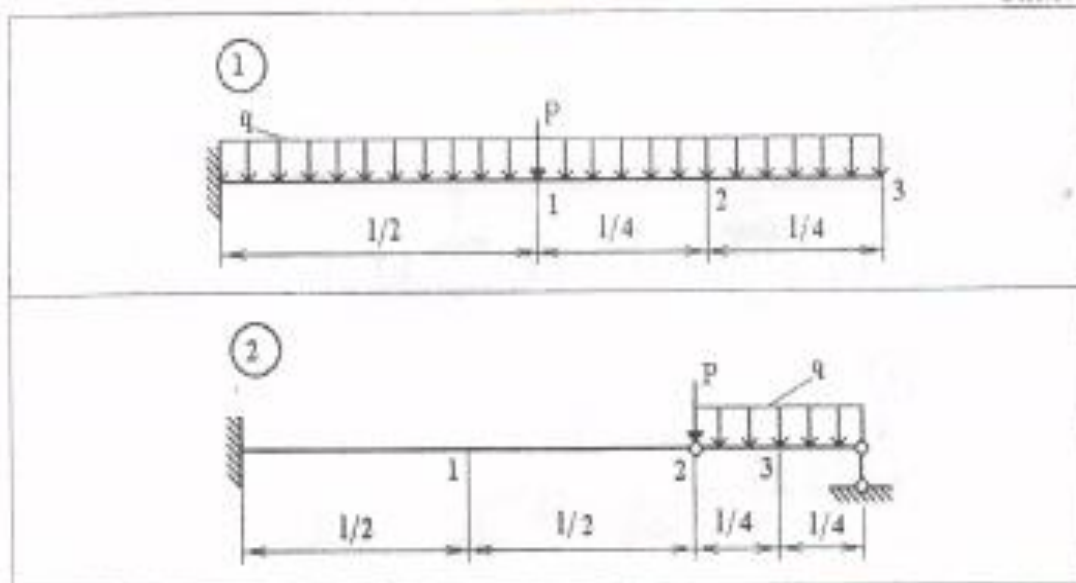
Методические указания.

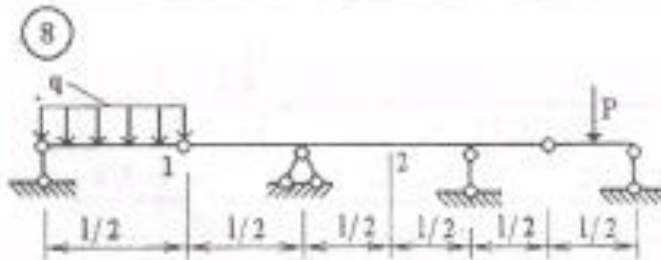
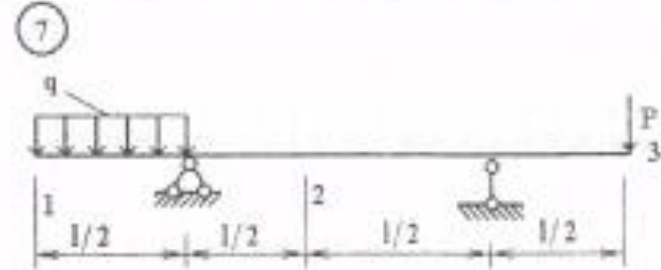
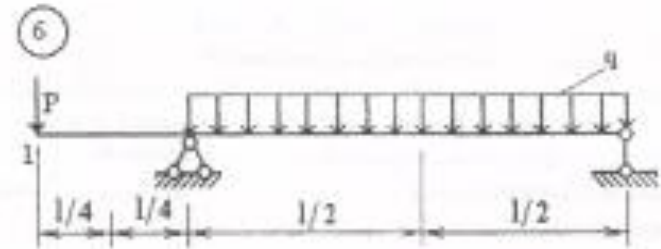
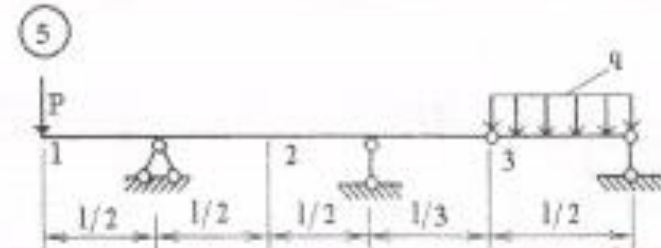
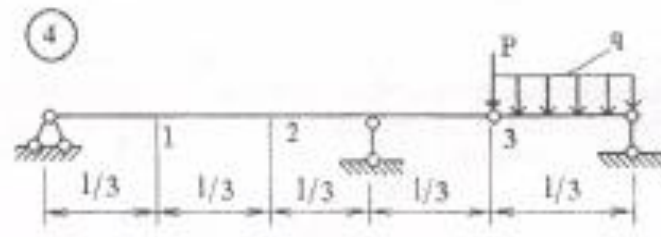
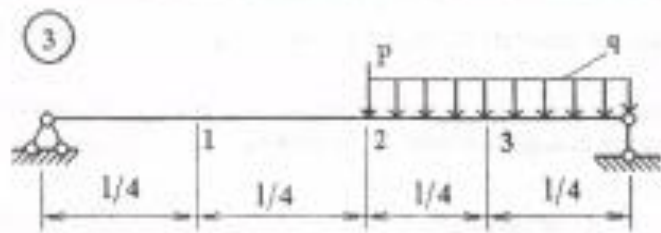
Решению задачи должно предшествовать изучение темы.

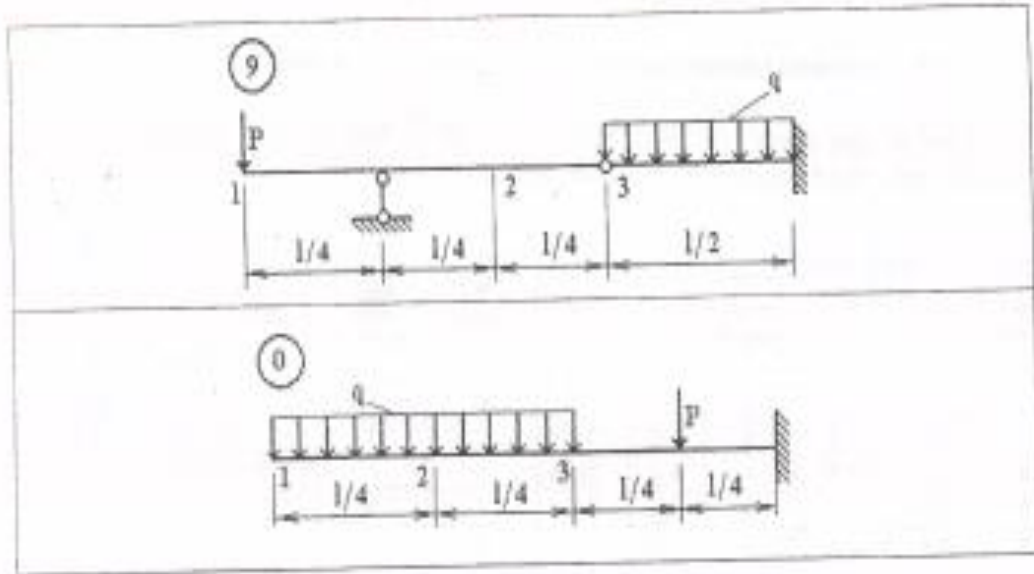
Все перемещения следует определять по формуле Мора с использованием метода Верещагина. Построение эпюр моментов (грузовых и единичных) следует сопроводить расчетами. Сами эпюры надо строить со стороны растянутых волокон.

Можно определять перемещения отдельно от силы и нагрузки с последующим сложением результатов.

Рис. 5.







6. Определение перемещений в статически определимой раме.

Задание: Для рамы (рис. 6) с выбранными по цифру из табл. 6 размерами и нагрузкой требуется определить горизонтальное перемещение или угол поворота одного из сечений.

Таблица 6.

Первая цифра шифра	l, м	q, кН/м	Вторая цифра шифра	P, кН	h, м	№ сечения	Персональный шифр (№ семестра)	Вид перемещений	J_2 / J_1
1	9,0	1,0	1	9,0	6,0	1	1	Угол поворота	1/2
2	9,5	1,2	2	2,0	5,5	2	2	Угол поворота	2/1
3	8,0	1,5	3	5,0	5,0	3	3	Угол поворота	1/3
4	8,5	1,8	4	4,0	9,5	1	4	Угол поворота	3/1
5	5,0	2,0	5	3,0	9,0	2	5	Угол поворота	2/3
6	5,5	2,4	6	10,0	8,5	3	6	Горизонтальное перемещение	3/2
7	6,0	3,0	7	7,0	8,0	1	7	Горизонтальное перемещение	3/5
8	7,5	2,5	8	8,0	6,5	2	8	Горизонтальное перемещение	5/3
9	6,2	3,2	9	1,0	10,0	3	9	Горизонтальное перемещение	3/4
0	6,5	3,5	0	6,0	7,0	1	0	Горизонтальное перемещение	4/3

Методические указания.

Решению задачи должно предшествовать изучение темы.

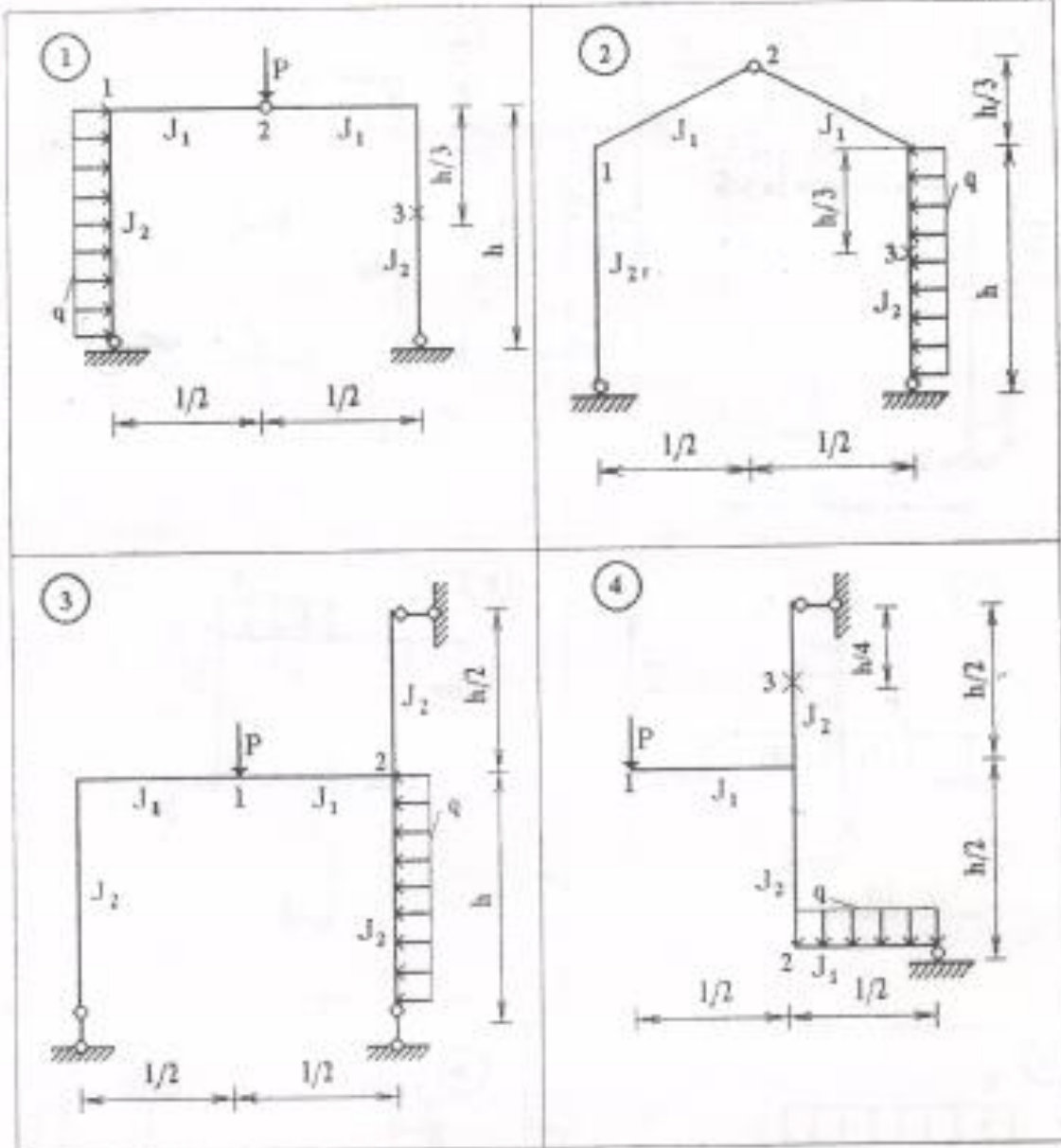
При выполнении данной задачи надо следовать указаниям к задаче 5. Кроме того, поскольку в данной задаче жесткости отдельных стержней различны и заданы только их соотношения, искомые перемещения должны быть выражены через EJ_1 или EJ_2 .

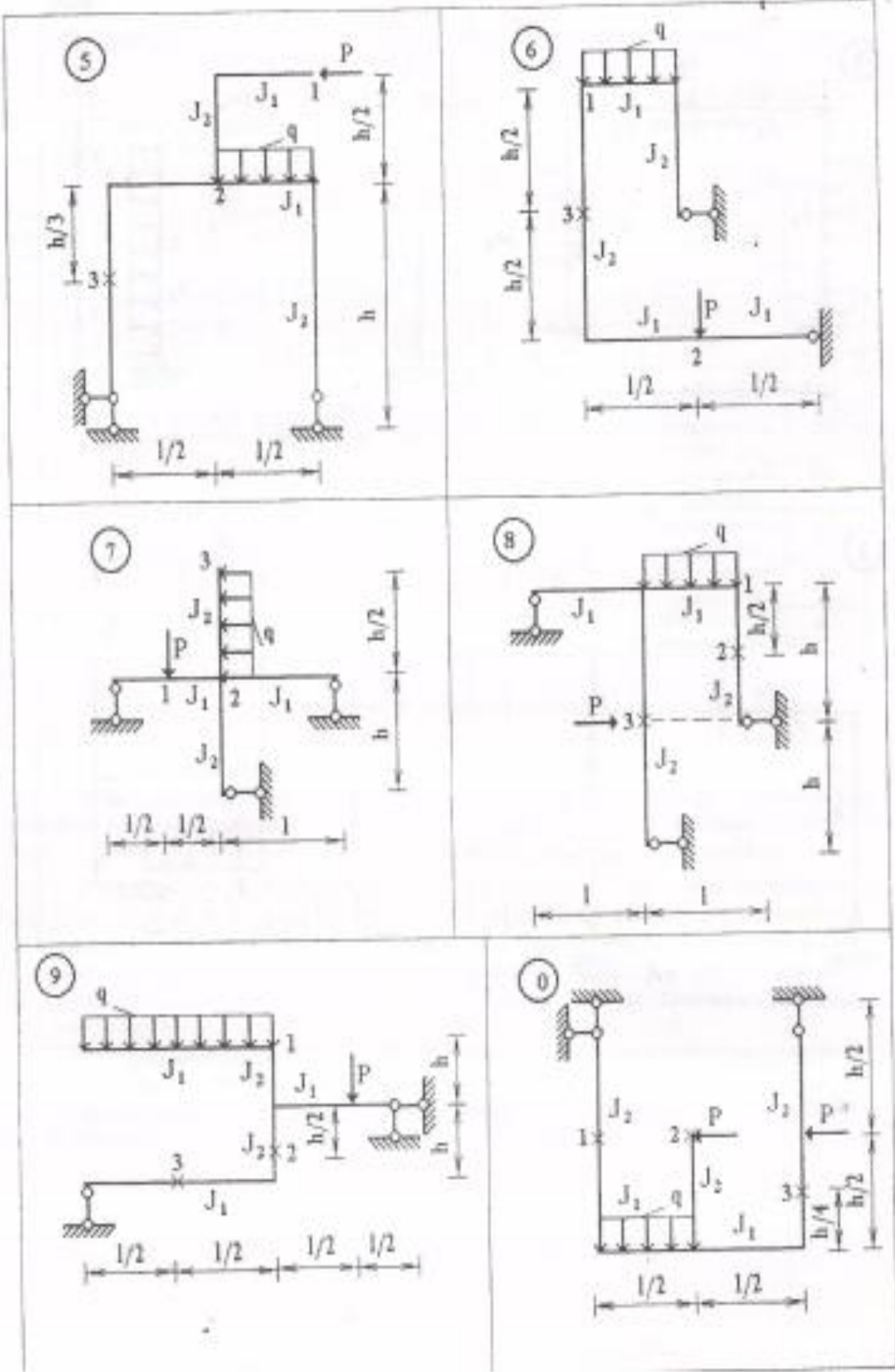
Особое внимание здесь следует обратить на построение эпюр изгибающих моментов, поскольку в курсе сопротивления материалов обычно ограничиваются построениями эпюр в сравнительно простых балках. Прежде чем строить любую эпюру (от нагрузки или единичную), как известно, необходимо определить опорные реакции. При этом надо не забывать о возможности возникновения горизонтальных реакций в соответствующей опоре или в обеих (когда задана трехшарнирная рама).

Если требуется определить угол поворота в сечении 1 для схемы 3, то речь идет о взаимном повороте примыкающих к шарниру сечений.

При решении данной задачи полезно и весьма эффективно применить матричную форму расчета.

Рис.6.





7. Расчет плоской статически неопределимой рамы методом сил.

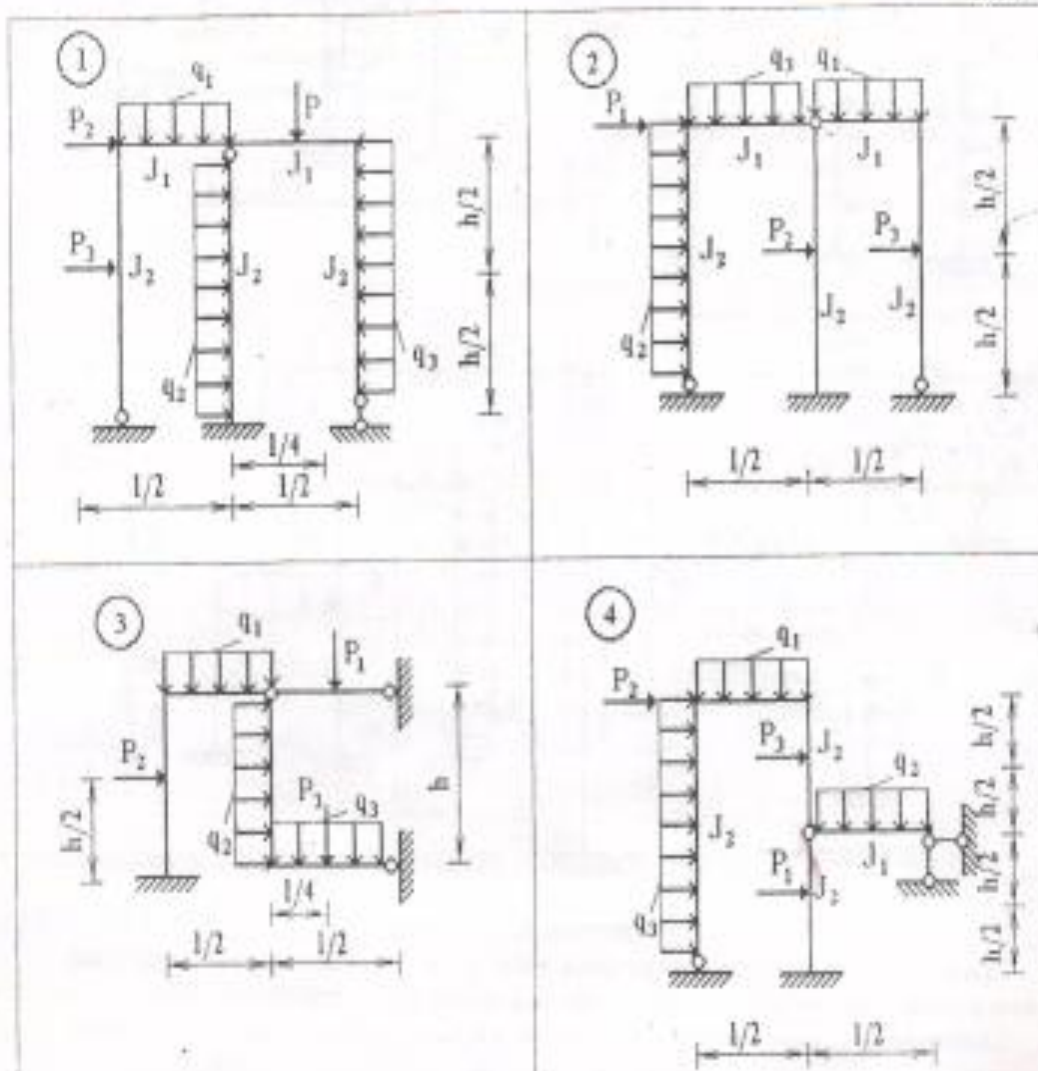
Задание: Для рамы (рис. 7) с выбранными по шифру из табл. 7 размерами и нагрузкой требуется:

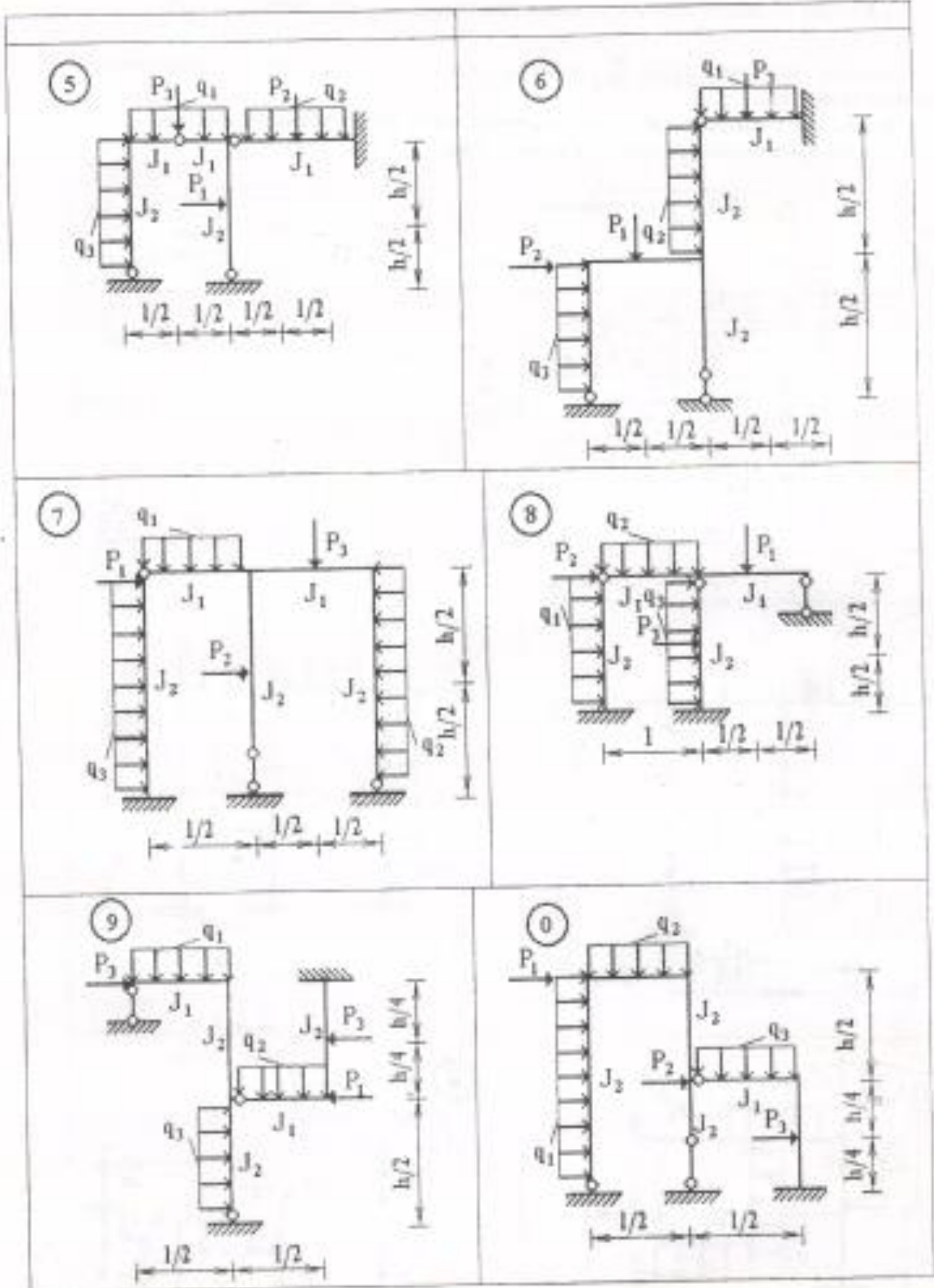
- а) построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил;
- б) проверить правильность построенных эпюр.

Таблица 7.

Первая шифра шифра	P_1	P_2	P_3	$l, м$	Вторая шифра шифра	q_1	q_2	q_3	$h, м$	Последняя шифра шифра (число)	J_2 / J_1
	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	2/1
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.7





Методические указания.

При построении единичных и грузовых эпюр необходимо приводить определение опорных реакций. Эпюры должны быть построены со стороны растянутых волокон.

Окончательную эпюру моментов необходимо проверить путем «умножения» ее на одну из единичных эпюр или на суммарную эпюру \bar{M}_s .

На участках, где эюра M криволинейна (под равномерно распределенной нагрузкой), определение ординат эюры Q удобнее производить по формуле

$$Q_x = Q_x^0 + \frac{M_{\text{пр}} - M_{\text{лев}}}{l}$$

где Q_x^0 - «балочная» поперечная сила (найденная для данного участка как для простой балки на двух опорах);

$M_{\text{пр}}$ - момент на правом конце участка (положительный, если он растягивает нижние волокна);

$M_{\text{лев}}$ - момент на левом конце участка (положительный при растяжении нижних волокон);

l - длина участка.

Эюра N строится по эюре поперечных сил путем вырезания узлов (как принято при расчете ферм), начиная с узла, в котором количество неизвестных продольных сил не превышает двух. При вырезании каждого узла необходимо учитывать, что положительная поперечная сила вращает узел по ходу часовой стрелки, а отрицательная - против.

8. Расчет неразрезной балки.

Задание: Для неразрезной балки (рис. 8) с выбранными по шифру из табл. 8 размерами и нагрузкой требуется:

а) найти с помощью уравнений трех моментов опорные моменты и построить эюры M и Q от постоянной нагрузки (указанной на чертеже);

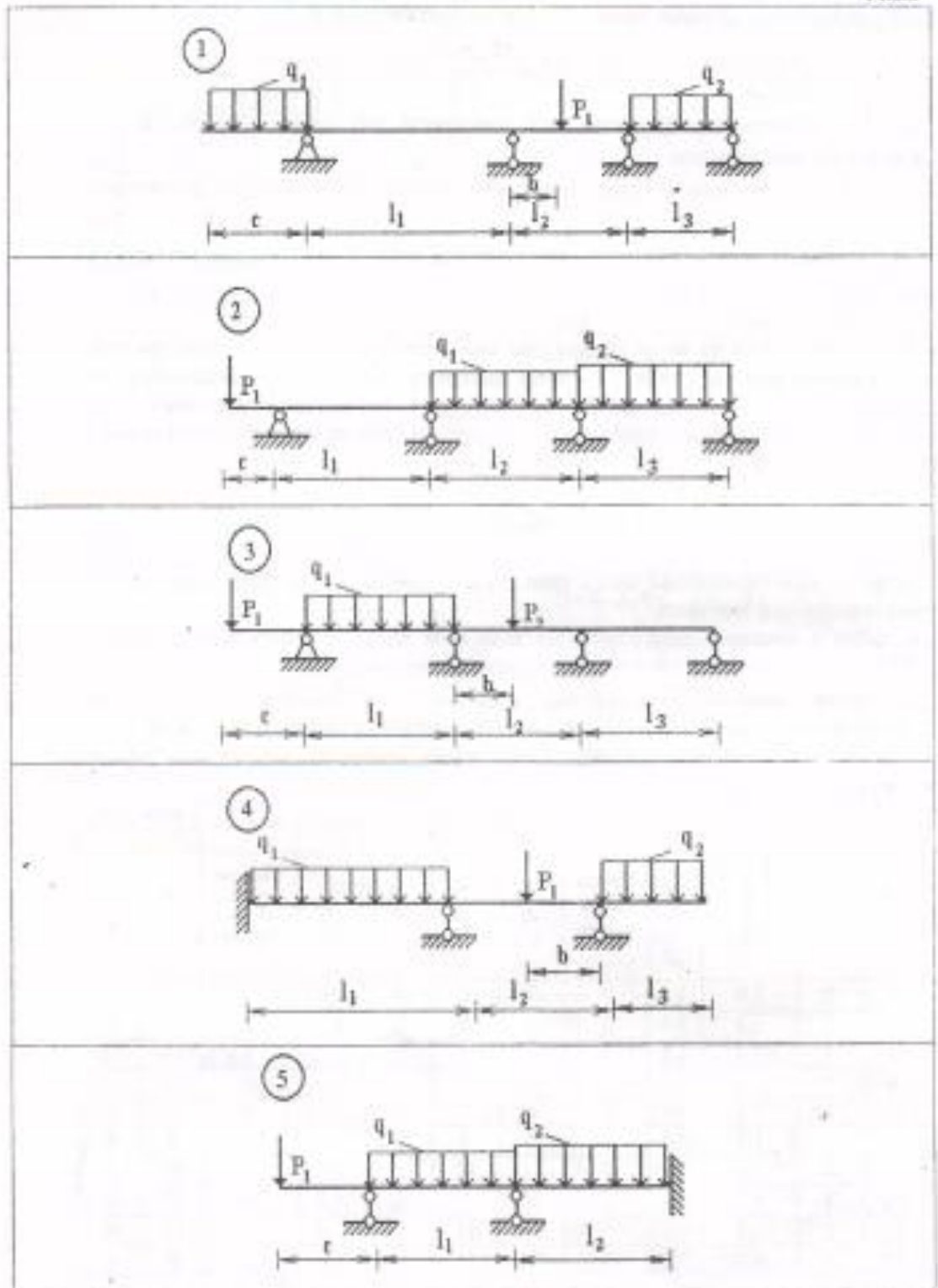
б) найти моментные фокусные отношения и построить эюры от последовательного нагружения каждого пролета (и консолей) временной нагрузкой;

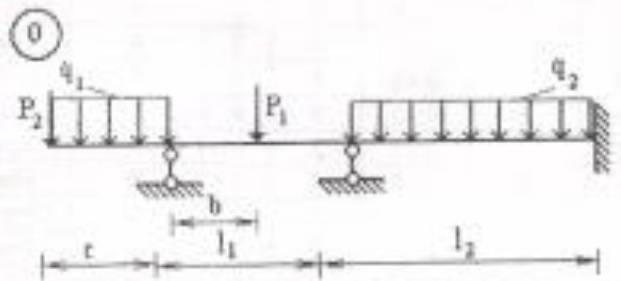
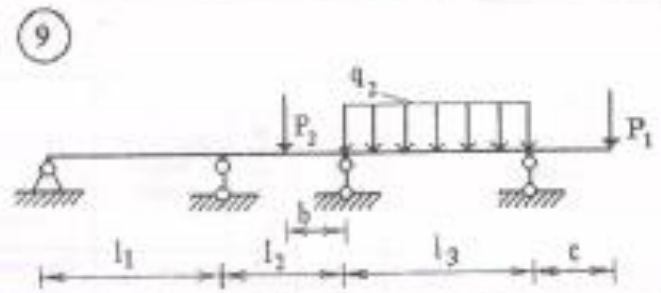
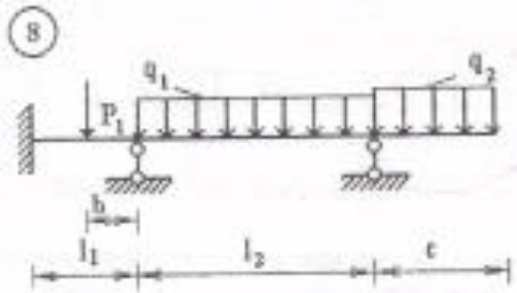
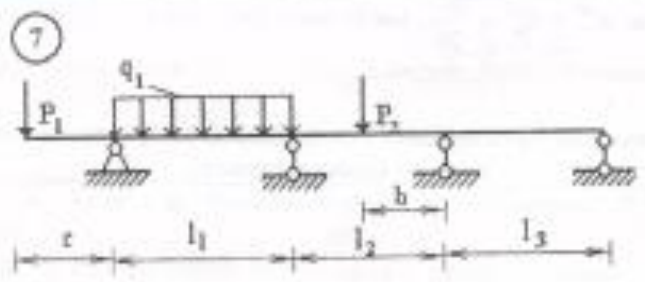
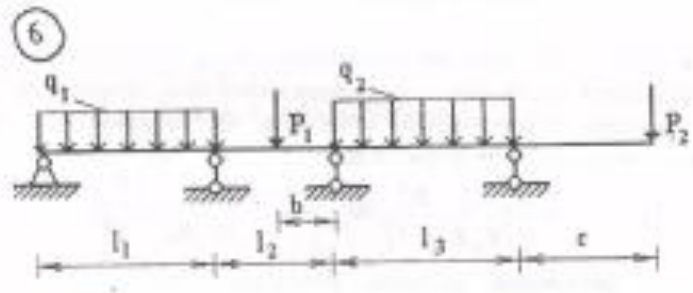
в) построить объемную (огнивающую) эюру моментов для второго пролета (считая слева).

Таблица 8.

Первая шифра шифра	$l_1, \text{м}$	$b, \text{м}$	Временная нагрузка $q_{\text{вр}}, \text{кН/м}$	$q_1, \text{кН/м}$	Вторая шифра шифра	$l_2, \text{м}$	$P_1, \text{кН}$	$c, \text{м}$	$q_2, \text{кН/м}$	Последняя шифра шифра (M_0 систем)	$l_3, \text{м}$	$P_2, \text{кН}$
1	6	2	1,0	1,0	1	5	4	1	2,0	1	7	0
2	7	3	1,2	2,0	2	6	8	2	1,0	2	9	0
3	8	4	1,4	1,8	3	9	5	2	2,0	3	10	10
4	9	3	1,6	1,6	4	10	9	2	1,0	4	0	0
5	10	2	1,8	1,4	5	8	7	1	2,0	5	0	0
6	11	3	1,7	2,4	6	7	6	1	1,0	6	8	8
7	5	4	1,1	1,0	7	11	10	2	2,0	7	11	2
8	12	3	1,3	1,4	8	12	3	3	1,0	8	0	0
9	7,5	2	1,5	1,6	9	13	11	3	2,0	9	10	10
0	13	3	1,9	2,0	0	7,5	12	2	1,0	0	0	6

Для ускоренников допускается удаление в соответствующей схеме консоли с нагрузкой на консоли.





Методические указания.

Для построения эпюр моментов от пролетного нагружения балки временной нагрузкой сначала необходимо вычислить моментные фокусные отношения (правые и левые) для каждого пролета. Определение моментов на загруженном временной нагрузкой пролете можно произвести по формулам:

$$M_{n-1} = -6 \frac{A_n^\Phi K_n' - B_n^\Phi}{l_n (K_n K_n' - 1)}; M_n = -6 \frac{B_n^\Phi K_n' - A_n^\Phi}{l_n (K_n K_n' - 1)},$$

где A_n^Φ, B_n^Φ - фиктивные опорные реакции, равные при равномерно распределенной нагрузке $A_n^\Phi = B_n^\Phi = \frac{q l_n^3}{24}$, могут быть найдены по таблицам.

Ординаты объемлющей эпюры рекомендуется определять в табличной форме.

Таблица подсчета ординат объемлющей эпюры моментов (показан пример записи).

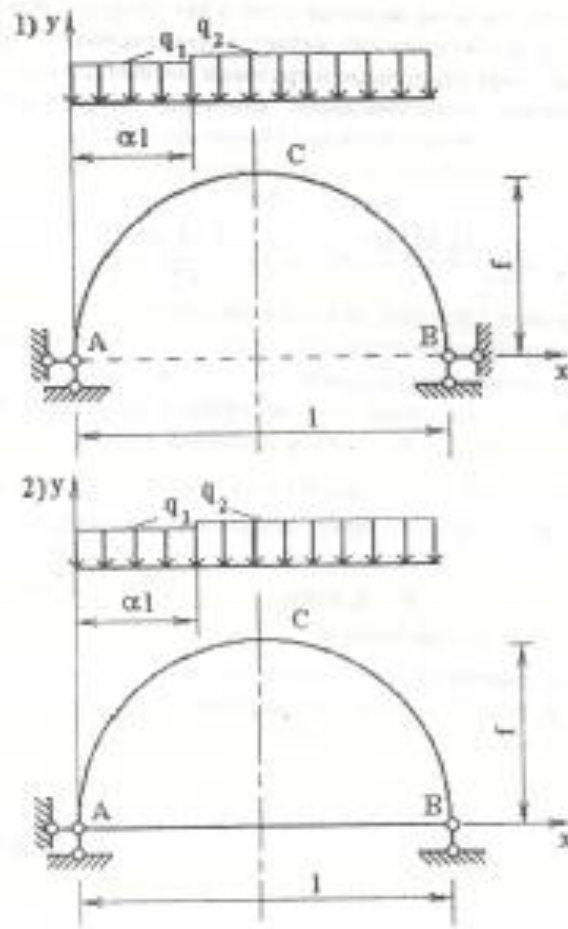
Сечение	Момент от постоянной нагрузки	Моменты от нагружения временной нагрузкой, кНм					M _{max} , кНм	M _{min} , кНм
		левой консоли	первого пролета	второго пролета	третьего пролета	правой консоли		
...	
i	12	5	-6	8	-10	3	28	
k	-18	-6	4	-10	-12	5	-46	
...	

9. Расчет статически неопределимой арки.

Задание: Для двухшарнирной арки или арки с затяжкой (рис. 9) с выбранными по шифру из табл. 9 размерами и нагрузкой требуется построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил.

Таблица 9.

Первая шифра арки	l, м	n	Вторая шифра арки	$\frac{r}{l}$	q ₁ , кН/м	q ₂ , кН/м	Последняя шифра	Очертание оси	№ схемы
1	16	0,25	1	0,20	2	0	1	Окружность	1
2	18	0,30	2	0,30	0	3	2	Парабола	1
3	20	0,35	3	0,16	4	0	3	Окружность	2
4	22	0,40	4	0,25	0	5	4	Парабола	2
5	24	0,45	5	0,45	6	0	5	Окружность	1
6	26	0,50	6	0,32	0	6	6	Парабола	1
7	28	0,55	7	0,15	3	0	7	Окружность	2
8	30	0,60	8	0,18	0	4	8	Парабола	2
9	32	0,65	9	0,22	5	0	9	Окружность	1
0	34	0,70	0	0,14	0	2	0	Парабола	1



Методические указания.

В целях сокращения объема вычислительной работы можно ограничиться рассмотрением лишь шести точек оси арки, включая сюда и два опорных шарнира.

Особенностью расчета арок методом сил является невозможность применения способа Верещагина для определения единичных и грузовых перемещений, входящих в канонические уравнения. Прямое интегрирование формулы Мора, как правило, оказывается невозможным из-за сложности закона изменения сечения арки по длине. Таким образом интегрирование приходится заменять суммированием по участкам со средними значениями величин, входящих в формулу Мора:

$$\delta_a = \sum \frac{\bar{M}_1 \bar{M}_2 \Delta S}{EI}; \Delta_{1P} = \sum \frac{\bar{M}_1 M_P \Delta S}{EI}$$

Наиболее удачной основной системой для двухшарнирной арки следует считать кривой брус, приняв за неизвестное горизонтальную реакцию в одной из опор (распор); для арки с затяжкой за неизвестное обычно принимают усилие в затяжке.

Подсчет коэффициентов и свободных членов удобнее проводить в табличной форме, построив предварительно эпюры M_p и Q_p в основной системе. При указанных основных системах такими эпюрами будут эпюры M и Q для балки на двух опорах.

Форму сечения арки следует принять прямоугольной с высотой, меняющейся по закону

$$d = d_c \cos \varphi,$$

где d_c - высота сечения посередине пролета.

В первую очередь вычисляются ординаты исследуемых точек оси арки и угловые характеристики касательных в данных точках. В зависимости от заданного очертания (парабола или окружность) рекомендуется следующая форма таблиц.

а) при очертании оси по параболе

№ точки	x	l-x	x(l-x)	$y = \frac{4f}{l^2} x(l-x)$
1	2	3	4	5

Продолжение таблицы а)

№ точки	l-2x	$\operatorname{tg} \varphi = \frac{4f}{l^2} (l-2x)$	φ	$\sin \varphi$	$\cos \varphi$
1	6	7	8	9	10

б) при очертании оси по окружности

№ точки	x	$\frac{l}{2} - x$	$\left(\frac{l}{2} - x\right)^2$	$\sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2} - x\right)^2}$
1	2	3	4	5

Продолжение таблицы б)

№ точки	$y = \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2} - x\right)^2} - R + f$	$1 - 2x$	$\sin \varphi = \frac{1 - 2x}{2R}$	$y + R - f$	$\cos \varphi = \frac{y + R - f}{R}$
1	6	7	8	9	10

Продолжение таблицы а),б).

№ точки	$\frac{\Delta x}{\cos^4 \varphi}$	y^2	$y^2 \frac{\Delta x}{\cos^4 \varphi}$	M_p	$y M_p \frac{\Delta x}{\cos^4 \varphi}$
1	11	12	13	14	15
			$\sum EI_0 \delta_{1,1}$	$\sum EI_0 \Delta_{1p}$	

Продолжение таблицы а),б).

№ точки	$-yX_1$	$M = M_p - yX_1, \text{ кН}$	Проверка	
			$M \cdot \frac{\Delta x}{\cos^4 \varphi}$	$Q_0, \text{ кН}$
1	16	17	18	19
		$\sum = 0$		

Продолжение таблицы а),б).

Поперечная сила			Продольная сила		
$Q_0 \cos \varphi$	$X_1 \sin \varphi$	$Q = Q_0 \cos \varphi - X_1 \sin \varphi$	$Q_0 \sin \varphi$	$X_1 \cos \varphi$	$N = -(Q_0 \sin \varphi + X_1 \cos \varphi)$
20	21	22	23	24	25

Если делить ось арки на участки с равными величинами их проекций Δx , то $\Delta S = \frac{\Delta X}{\cos \varphi}$ и вынося за знак суммы величину EI_0 , получим в каждом слагаемом множитель $\frac{J_0 \Delta x}{I \cos \varphi}$. Отношение $\frac{I_0}{I} = \frac{1}{\cos^3 \varphi}$.

Таким образом, в продолжение расчетной таблицы войдут величины $\frac{\Delta x}{\cos^4 \varphi}$ для каждого из выбранных сечений.

Если неизвестная горизонтальная реакция в одной из опор направлена внутрь пролета, то сумма величин, входящих в графу 15, дает свободный член канонического уравнения со знаком минус. Сумма величин графы 13 дает величину $\delta_{1,1}$.

При проверке сумма величин, подсчитанных в графе 18, для двухшарнирной арки должна быть равна нулю, а для арки с затяжкой - величине $\frac{EI_0 l}{E_3 F_3} X_1$.

Для арки с затяжкой, где неизвестными является усилие в затяжке, необходимо еще учесть деформацию затяжки, работающей на растяжение, т. е. к сумме величин графы 13 надо добавить величину $\frac{EI_0 l}{E_3 F_3}$, где E_3 и F_3 модуль упругости и площадь сечения затяжки.

В расчете следует принять, что $\frac{EI_0 l}{E_3 F_3} = 0,41$.

Итак, для арки с затяжкой коэффициент при X_1 будет:

$$EI_0 \delta_{1,1} = \sum y^2 \frac{\Delta x}{\cos^4 \varphi} + 0,41$$

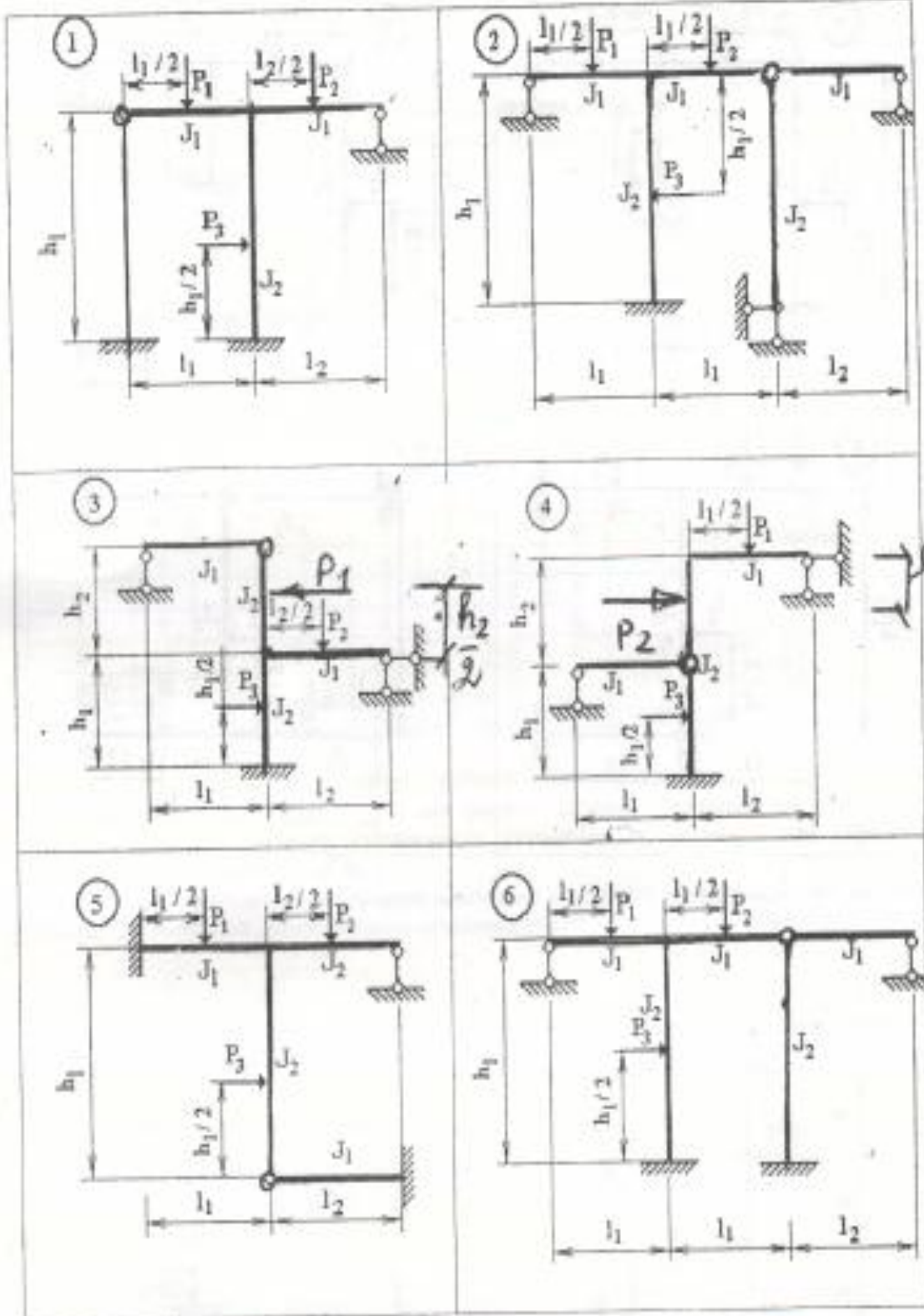
Определив неизвестное по формуле $X_1 = -\frac{\Delta_{1,0}}{\delta_{1,1}}$, можно подсчитать ординаты окончательной эпюры M , а также эпюры Q и N , что тоже удобнее проводить в табличной форме.

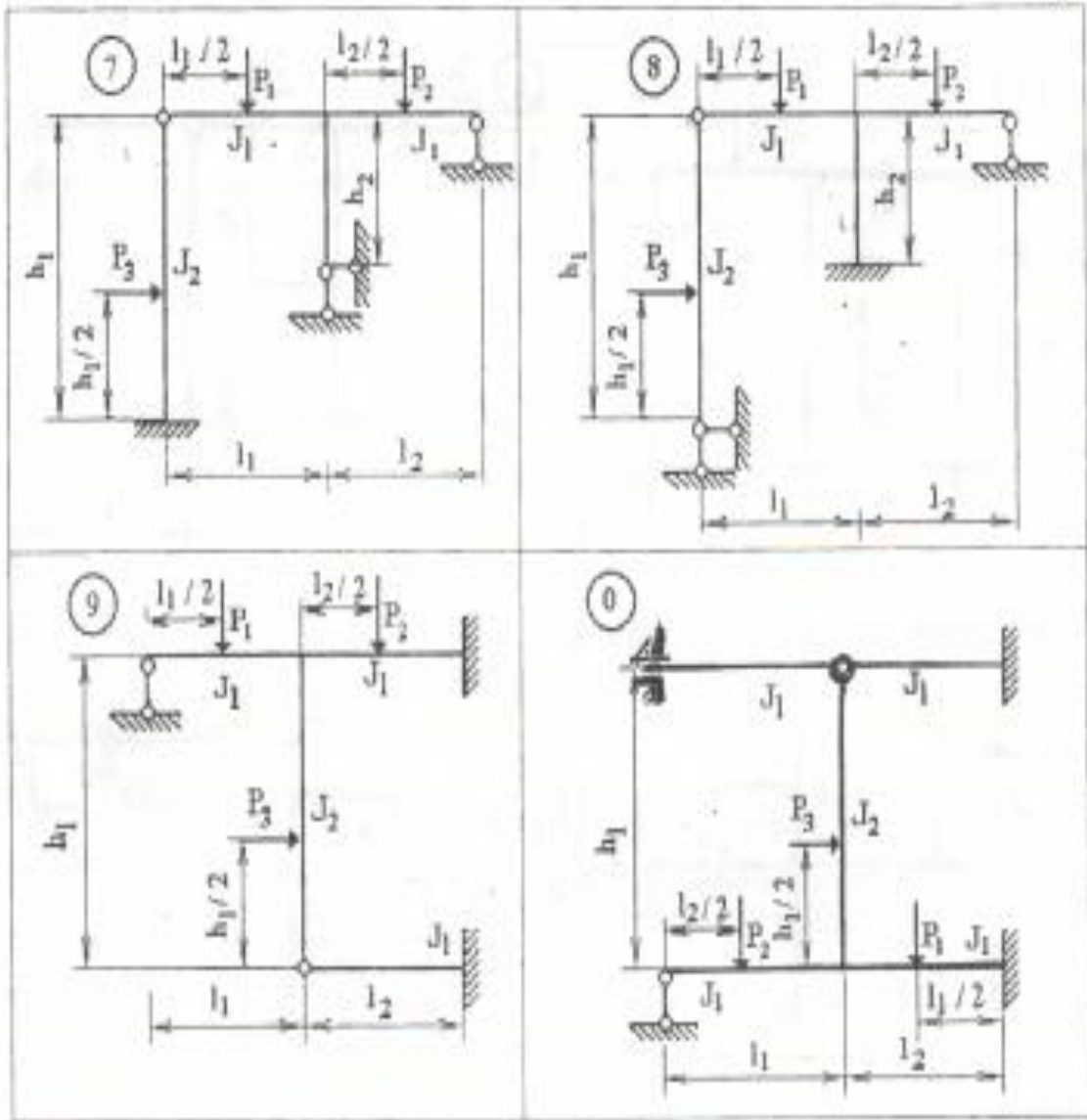
10. Расчет рам методом перемещений.

Задание: Для заданной статически неопределяемой рамы (рис. 10) с выбранными по шифру из табл. 10 размерами и нагрузкой требуется построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил.

Таблица 10.

Первая цифра шифра	$l_{1,м}$	$l_{2,м}$	Вторая цифра шифра	h_1	P_1	P_2	P_3	Последняя цифра шифра (№ схемы)	$h_{2,м}$	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	2	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





11. Расчет сложной статически неопределимой рамы методом перемещений использованием ЭВМ.

Задание: Для заданной статически неопределимой рамы (рис. 11) с выбранными по шифру из табл. 11 размерами и нагрузкой требуется построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил.

Таблица 11.

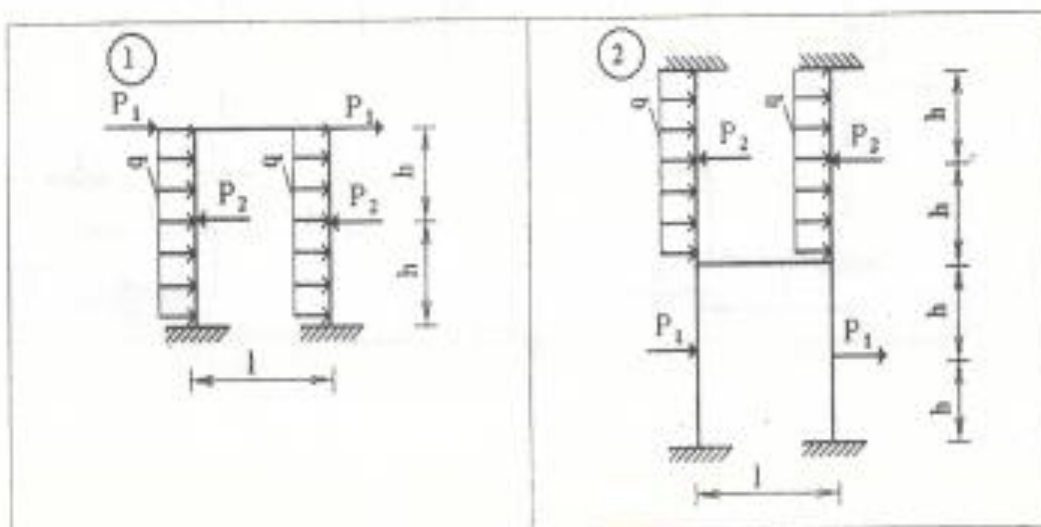
Первая цифра шифра	$l_1, м$	$l_2, м$	Вторая цифра шифра	$h_2, м$	P_1	P_2	P_3	Последняя цифра шифра (№ схемы)	$h_1, м$	$q, кН/м$	J_1 / J_2
					кН						
1	4	6	1	3	4	0	0	1	0	2	1/2
2	5	5	2	4	0	4	0	2	0	3	2/1
3	6	4	3	5	0	0	4	3	5	4	2/3
4	3	3	4	9	5	0	0	4	6	2	3/2
5	7	8	5	6	0	5	0	5	0	3	1/3
6	8	7	6	7	0	0	5	6	0	4	3/1
7	9	10	7	8	6	0	0	7	9	2	3/4
8	10	9	8	2	0	6	0	8	10	3	4/3
9	12	2	9	12	0	0	6	9	0	4	4/1
0	2	12	0	10	7	0	0	0	0	2	1/4

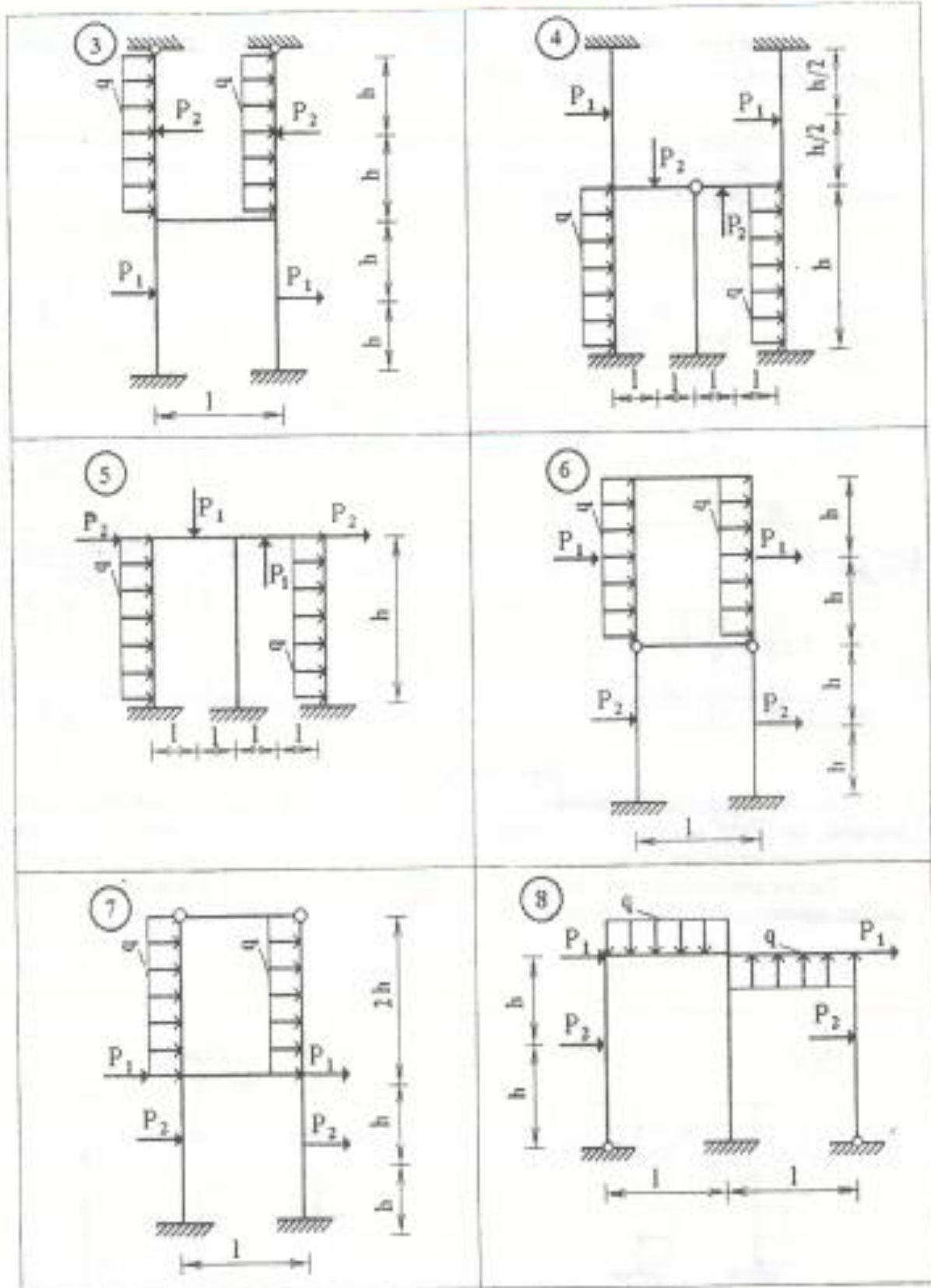
Методические указания.

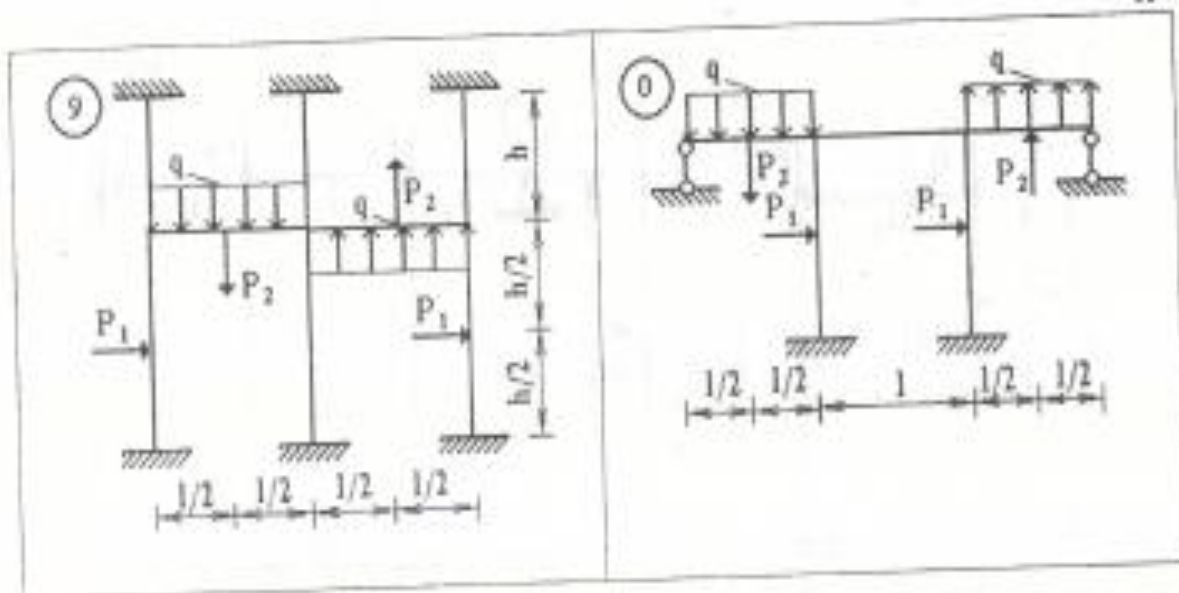
Составить исходные данные для расчета сложной статически неопределимой системы на ЭВМ согласно методическим указаниям [4], разработанным кафедрой строительной механики ТюмГАСА.

Расчет начинается с построения единичных и грузовой эпюры в основной системе метода перемещений. Далее согласно указаниям [4].

Рис. 11







Методические указания.

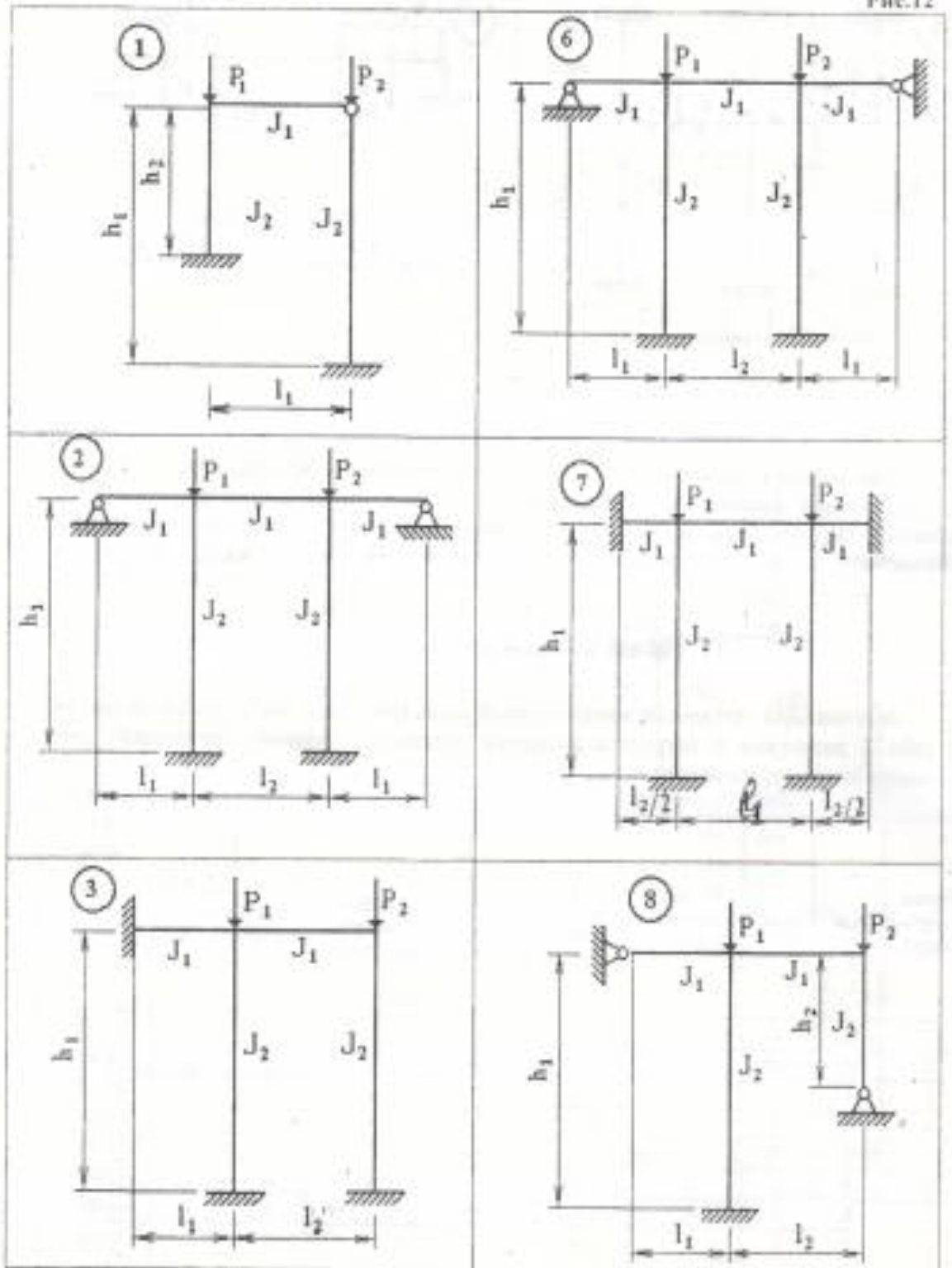
При выборе основной системы метода перемещений необходимо учитывать, что линейные связи должны быть поставлены не только по направлению возможных линейных перемещений, но и для устранения мгновенной изменчивости системы, образованной после подстановки шарниров во все узлы (включая опорные).

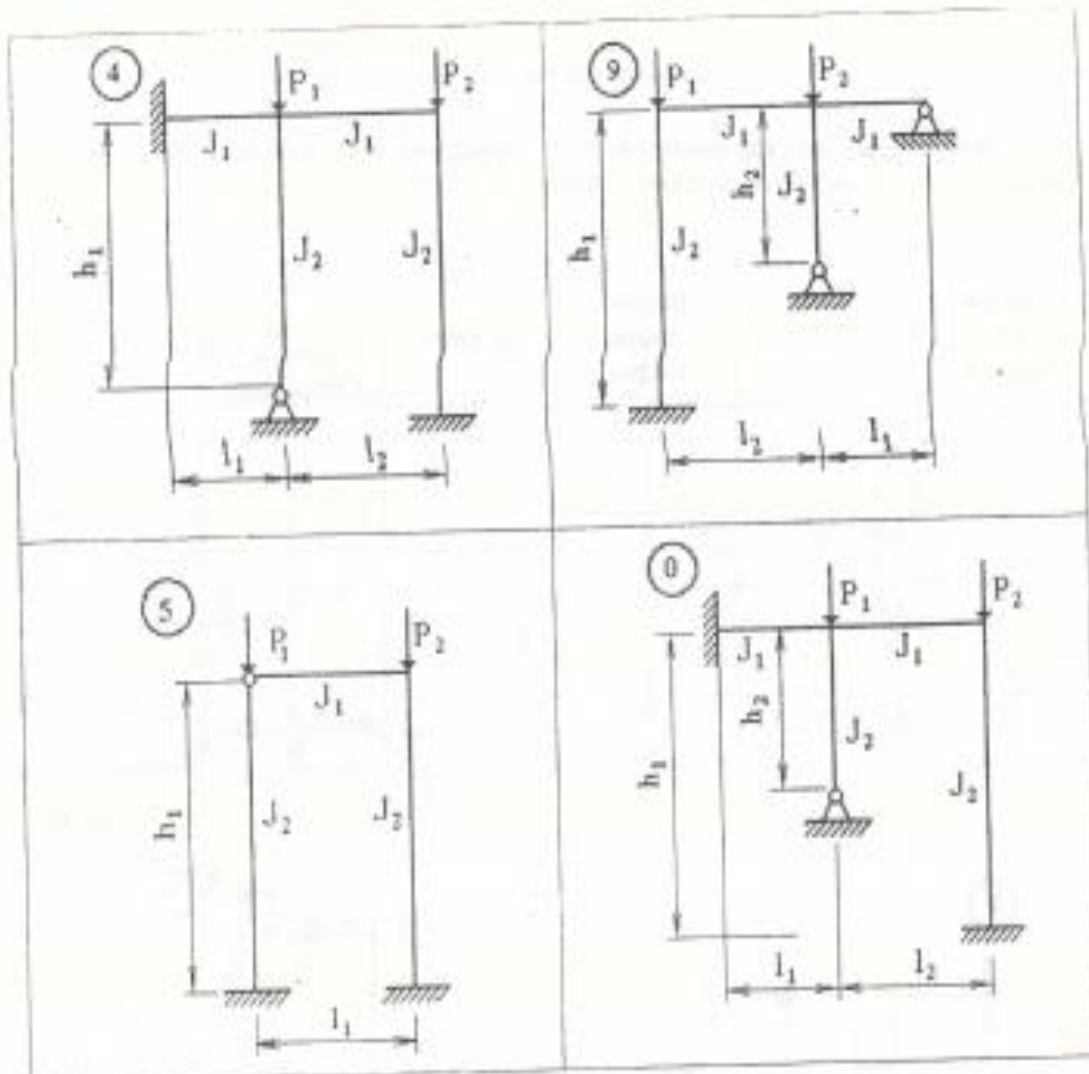
12. Расчет плоской рамы на устойчивость.

Задание: Для статически неопределимой рамы (рис. 12) с выбранными по шифру из табл.12 размерами и нагрузкой требуется определить значения критических сил, используя метод перемещений.

Таблица 12.

Первая шифра шифра	$l_1, м$	$h_1, м$	Вторая шифра шифра	$\alpha = \frac{P_1}{P_2}$	$l_2, м$	Последняя шифра шифра (№ схемы)	$h_2, м$	J_1 / J_2	$EI, кНм^2$
1	6	4	1	2,5	4	1	2	1	20000
2	10	10	2	2,0	5	2	0	2	25000
3	5	9	3	1,9	6	3	0	3	22500
4	8	8	4	1,8	7	4	0	2	22000
5	6	7	5	1,0	8	5	0	3	23000
6	6	6	6	1,6	9	6	0	2	21000
7	8	5	7	1,5	10	7	0	3	24000
8	9	3	8	1,4	11	8	4	2	23500
9	10	11	9	1,3	12	9	5	3	24500
0	12	12	0	1,2	13	0	6	2	21500





Методические указания.

Все предлагаемые рамы целесообразно решать методом перемещений.
Для нахождения $P_{кр}$ составляется уравнение устойчивости

$$D = \begin{vmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} \\ r_{2,1} & r_{2,2} \end{vmatrix} = r_{1,1} \cdot r_{2,2} - r_{1,2}^2 = 0.$$

Это уравнение решается относительно ν подбором в такой последовательности:
а) задаются значением ν_k ; б) по вычисленному соотношению определяется ν_i ; в) по таблицам находятся значения необходимых коэффициентов (функций $\varphi_a(\nu_i)$, $\varphi_b(\nu_k)$, ...); г) найденные значения функций подставляются в уравнение устойчивости.

Если данные значения функций не удовлетворяют уравнению устойчивости, то задаются другими значениями ν_k и все вычисления повторяются. Эта операция продолжается до тех пор, пока принятые значения не будут удовлетворять уравнению устойчивости.

Тогда по формулам

$$P_{кр} = \frac{\nu_i^2 E I_1}{h_1^2} \text{ и } P_{кр} = \frac{\nu_k^2 E I_1}{h_k^2}$$

определяются значения критических сил.

13. Динамический расчет плоской системы.

Задание: Для плоской рамы (рис. 13) с размерами и нагрузкой, выбранными по шифру из табл. 13 требуется построить эпюру динамического момента

Таблица 13.

Первая цифра шифра	$l, \text{м}$	Вторая цифра шифра	$q_0, \text{кН/м}$	Последняя цифра шифра (№ схемы)	$h, \text{м}$
1	2,0	1	1	1	6
2	4,0	2	2	2	4
3	3,0	3	2,5	3	3
4	6,0	4	1,5	4	6
5	3,0	5	1,2	5	3
6	6,0	6	3	6	6
7	4,0	7	1,8	7	4
8	3,0	8	1,6	8	3
9	4,0	9	2,2	9	4
0	6,0	0	2,6	0	6

Рис. 13.

