

ОПД.Р.03 СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА
Методические указания с заданиями на курсовую работу

Приведены программа курса строительной механики, методические указания по самостоятельному изучению дисциплины, задания и указания по выполнению курсовой работы и расчетно-проектировочных работ. Предназначено для студентов заочной формы обучения по направлению подготовки 270800 «Строительство».

СОДЕРЖАНИЕ

Общие указания к изучению дисциплины	4
Программа и методические указания к темам курса	5
Введение и основные понятия	5
Часть 1. Статически определимые системы	6
Часть 2. Статически неопределимые стержневые системы.....	10
Список рекомендуемой литературы	14
Задания к расчетно-проектировочным работам	15
Расчетно-проектировочная работа № 1. Расчет статически определимой многопролетной балки на неподвижную и подвижную нагрузки	15
Расчетно-проектировочная работа № 2. Расчет плоской статически определимой фермы на неподвижную и подвижную нагрузки	22
Расчетно-проектировочная работа № 3. Расчет трехшарнирной арки	28
Расчетно-проектировочная работа № 4. Расчет плоской статически неопределимой рамы методом сил	33
Расчетно-проектировочная работа № 5. Расчет плоской статически неопределимой рамы методом перемещений	38
Расчетно-проектировочная работа № 6. Расчет неразрезной балки	40
Приложение 1	48
Приложение 2.....	49

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Студенты заочного отделения, обучающиеся по направлению «Строительство», изучают в первом и втором семестрах дисциплину «Строительная механика». Ниже приведено распределение объемов занятий и видов учебной работы:

Семестр	Занятия, ч					Выполнение курсовых и расчетно-проектировочных работ	Контроль
	Всего	Лекции	Практическая работа	Аудиторные занятия	Самостоятельная работа		
4	216	12	14	26	173	Курсовая работа	Экзамен
5						Расчетно-проектировочная работа	Зачет

Основной формой изучения дисциплины «Строительная механика» является самостоятельная работа по учебникам, учебным пособиям. По основным разделам курса читаются лекции. Студент может получить консультацию по всем вопросам теории и практики решения задач.

По важным темам курса студент выполняет индивидуальные контрольные работы. Самостоятельность выполнения этих работ имеет первостепенное значение для усвоения курса.

Если сданная студентом работа не будет зачтена и потребует исправлений, то вместе с исправленной работой следует сдавать и первый вариант ее выполнения.

Для получения зачета по практической части (по курсовой работе) студенту необходимо подтвердить зачет по расчетно-проектировочным (контрольным) работам, т.е. в процессе опроса по ним показать хорошую осведомленность и самостоятельность решения.

ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ТЕМАМ КУРСА

Введение и основные понятия

Строительная механика как наука. Задачи и методы строительной механики.

Понятие о расчетной схеме сооружения. Классификация сооружений и их расчетных схем. Способы прикрепления сооружений к земле; статический и кинематический анализы различных типов опор.

Кинематический анализ сооружений. Число степеней свободы и число лишних связей балочных и шарнирно-стержневых систем. Мгновенная изменяемость. Правила соединения дисков в геометрически неизменяемую систему.

Методические указания

Изучение строительной механики необходимо начать с повторения основных положений теоретической механики (статики) и сопротивления материалов, касающихся понятий прочности, жесткости и устойчивости. Важное значение имеет умение правильно определять внутренние усилия при помощи известного из сопротивления материалов метода сечений. Следует вспомнить условия равновесия сил на плоскости (три уравнения равновесия). Первым этапом расчета является определение опорных реакций R , которые являются такими же внешними силами, как и заданная нагрузка.

Большую роль в курсе строительной механики играют эпюры внутренних усилий (изгибающих моментов M , поперечных Q и продольных N сил). Необходимо повторить из курса сопротивления материалов порядок построения эпюр, правила их проверки, а значит, и определение перемещений.

Понятие расчетной схемы и ее выбор важны для расчета сооружений. Нередко можно использовать разные расчетные схемы в зависимости от требуемой точности расчета.

Цель кинематического анализа расчетной схемы сооружения заключается в проверке ее геометрической неизменяемости и степени статической неопределимости.

Надо усвоить понятия: диск, кинематическая связь, степень свободы, степень статической неопределимости, геометрическая неизменяемость.

Проверку геометрической неизменяемости следует начинать с аналитической формулы

$$W = 3D - 2Ш - C_{оп},$$

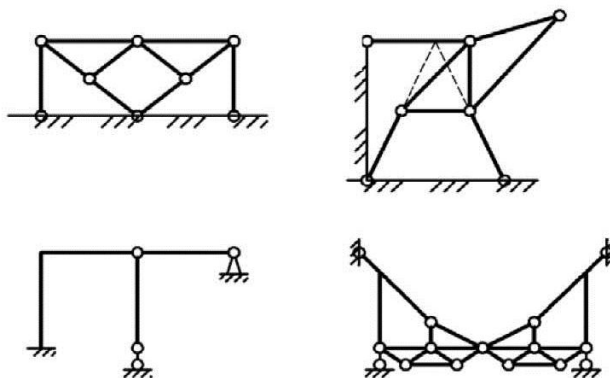
где D – число дисков; $Ш$ – число простых шарниров; $C_{оп}$ – число опорных стержней.

Далее нужно проверить правила соединения дисков. При этом обратите внимание на подсчет числа простых шарниров. Шарнир, соединяющий не два, а n дисков, эквивалентен $(n-1)$ простому шарниру.

Обратите внимание на проверку правильности образования систем. При этом важно знать, что осью диска считается линия, соединяющая центры шарниров, присоединяющих его к другим дискам. При анализе структуры нужно учитывать правило замены двух пересекающихся стержней условным шарниром. Проводя кинематический анализ расчетных схем, проверьте их на мгновенную неизменяемость (надо знать признаки мгновенной изменяемости).

Вопросы для самопроверки

1. Какие опоры применяются в плоских системах, как условно они обозначаются?
2. Для чего необходим анализ геометрической структуры сооружения? Что такое неизменяемость?
3. Перечислите простые способы образования геометрически неизменяемых систем.
4. Что понимается под мгновенной изменяемостью? Почему недопустимо проектирование систем, близких к мгновенной изменяемости?
5. Проверьте на геометрическую неизменяемость следующие системы:



ЧАСТЬ 1

Статически определимые системы

Тема 1. Многопролетные статически определимые балки.

Общая теория линий влияния

Понятие многопролетных статически определимых (составных) балок. Проверка геометрической неизменяемости составных балок. Поэтажная схема. Расчет на неподвижную нагрузку (построение эпюр M и Q).

Понятие о линиях влияния. Линии влияния реакций опор простой и консольной балок. Линии влияния поперечных сил и изгибающих моментов простой и консольной балок.

Определение усилий по линиям влияния. Частные случаи определения усилий по линиям влияния.

Построение линий влияния реакций опор и усилий составных балок.

Методические указания

Расчет статически определимых составных балок легко сводится к расчету простых и консольных балок. Прежде надо выделить основные и второстепенные балки. Полезно построить схему взаимодействия элементов, т.е. поэтажную схему. При расчете отдельных балок следует учесть равенство по величине и противоположность по направлению сил взаимодействия в шарнирах, связывающих отдельные балки.

Окончательные эпюры M и Q многопролетной балки складываются из эпюр отдельных балок.

Расчет инженерных сооружений на подвижную нагрузку удобно выполнять с помощью линий влияния. При изучении линий влияния нужно отчетливо уяснить, что такое линия влияния изучаемого фактора (например, изгибающего момента в сечении) и чем линия влияния отличается от эпюры.

Линии влияния опорных реакций двухопорной (простой) балки являются основными. Все остальные линии влияния строятся с использованием основных.

Важно знать общий метод построения линий влияния и не забывать о размерности ординат линий влияния.

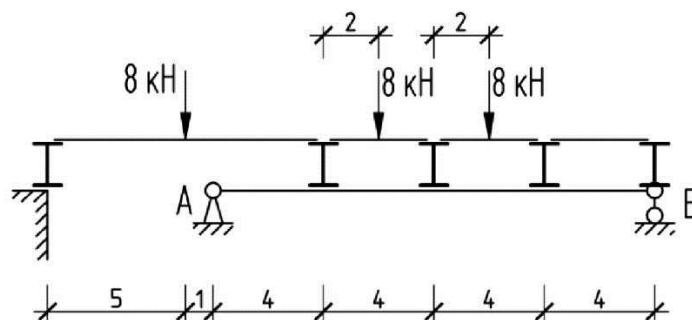
При определении усилий по линиям влияния обратите внимание на «загружение» линий влияния сосредоточенным моментом. При этом помните правило знаков: положительным считается внешний момент, направленный по часовой стрелке; угол наклона линии влияния к горизонтали положителен, если находится в 1-й и 3-й четвертях, образованных координатными осями.

Изучите случаи определения усилий для сечений под сосредоточенной силой и сосредоточенным моментом.

Построение линий влияния усилий в составных балках удобнее производить, рассматривая поэтажную схему.

Вопросы для самопроверки

1. Какова разница между эпюрой и линией влияния?
2. Где пересекаются левая и правая ветви линий влияния M и Q для любого сечения балки?
3. Как проверить статическую определимость и геометрическую неизменяемость многопролетной составной балки?
4. Постройте эпюры Q и M для данной балки АБ:



5. Постройте линии влияния опорных реакций балки на двух опорах от подвижного единичного сосредоточенного момента.

6. Постройте линии влияния M и Q для произвольного сечения балки на двух опорах от подвижного единичного сосредоточенного момента.

Тема 2. Балочные и консольно-балочные плоские фермы

Понятие о ферме. Классификация ферм по очертанию поясов, по системе решетки, расположению опор и назначению.

Способы определения усилий в стержнях ферм: способ моментной точки и способ проекций. Частные случаи вырезания узлов.

Построение линий влияния способом моментной точки и способом проекций.

Методические указания

Приступая к расчету, сначала необходимо убедиться, что заданная схема фермы является геометрически неизменяемой и статически определимой. При аналитическом расчете ферм нужно, чтобы усилие в каждом стержне определялось независимо от усилий в других стержнях. Поскольку для определения усилия рассекаем ферму на две части, то надо стремиться:

- а) к правильному выбору способа рассечения фермы;
- б) к составлению рационального уравнения статики (равновесия) для той части фермы, которая остается после отбрасывания другой ее части.

Наиболее удобным приемом рассечения фермы является ее разрез через три стержня, не пересекающиеся в одной точке. Простейшими являются случаи вырезания узла, когда в узле сходятся два стержня и когда из трех сходящихся в узле стержней два лежат на одной прямой. Что касается выбора рационального уравнения статики, то в случае вырезания узла нужно применять уравнения проекций сил на оси, перпендикулярные к стержням, сходящимся в узле.

Важно уметь быстро найти неработающие (нулевые) стержни: это может в значительной мере упростить задачу.

При построении линий влияния, как и при расчете на неподвижную нагрузку, используются те же способы разрезов и два уравнения равновесия для получения левой и правой ветвей линии влияния. Необходимо учитывать, что передаточная прямая линии влияния находится в пределах рассеченной панели грузового пояса.

Вопросы для самопроверки

1. Когда используется способ моментной точки (способ Риттера), способ проекций для определения усилия в стержне фермы?
2. В каком случае удобно рассматривать вырезание узла?
3. Каковы усилия в стержнях ненагруженного двухстержневого узла?
4. Каковы усилия в стержнях ненагруженного узла фермы, состоящего из трех стержней, два из которых лежат на одной прямой?

Тема 3. Трехшарнирные системы

Понятие о трехшарнирных арках и рамах. Сопоставление работы арки с работой балки. Расчет трехшарнирной арки (рамы):

- а) определение реакций опор;
- б) определение усилий.

Расчет трехшарнирной арки (рамы) с затяжкой по линии опорных шарниров.
Расчет трехшарнирной арки (рамы) с повышенной затяжкой.

Методические указания

Трехшарнирная арка (рама) представляет собой статически определимую систему, в которой вертикальная нагрузка вызывает не только вертикальную, но и горизонтальную составляющую опорной реакции, которая называется распором.

Расчет трехшарнирной арки (рамы) начинается с определения реакций опор.

Наличие промежуточного шарнира позволяет составить дополнительное уравнение равновесия для определения распора и усилия в затяжке в арках (рамах) с затяжкой.

Необходимо усвоить общий метод определения внутренних усилий в произвольном сечении (изгибающих моментов, поперечных и нормальных сил) и не ограничиваться одним частным случаем действия вертикальной нагрузки.

При расчете трехшарнирной арки (рамы) с повышенной затяжкой необходимо учитывать особенности определения внутренних усилий для сечений ниже и выше затяжки.

Вопросы для самопроверки

1. Почему трехшарнирная арка (рама) статически определима?
2. Какие уравнения используются для определения распора и усилия в затяжке?
3. Как влияет на величину распора отношение стрелы подъема арки к пролету?
4. Какие преимущества и недостатки имеет арка по сравнению с балкой и фермой?

ЧАСТЬ 2

Статически неопределимые стержневые системы

Тема 4. Метод сил

Понятие статически неопределимой системы. Свойства статически неопределимых систем. Степень статической неопределимости. Основная система. Канонические уравнения метода сил. Проверка коэффициентов и свободных членов системы канонических уравнений. Построение окончательных эпюр M , Q и N . Проверка эпюр. Расчет симметричных рам на симметричную и кососимметричную нагрузки. Группировка неизвестных.

Методические указания

Данная тема должна быть изучена очень внимательно, так как используется для расчета статически неопределимых ферм, арок, неразрезных балок и других плоских и пространственных сооружений.

Важно приобрести навык в определении числа лишних связей, т.е. степени статической неопределимости, усвоить физический смысл канонических уравнений и всех величин, входящих в них.

Обдуманно подходите к выбору основной системы, которая должна быть обязательно геометрически неизменяемой и статически определимой.

Удачно выбранная основная система обеспечивает наиболее простой расчет. Основная система должна быть выбрана так, чтобы единичные и грузовые эпюры распространялись на возможно меньшее число элементов.

Обратите внимание на способы проверки коэффициентов, свободных членов канонических уравнений и окончательных эпюр M , Q и N .

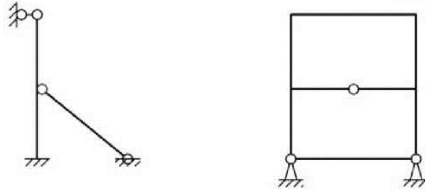
Определение перемещений производится по формуле Мора (формуле перемещений) с использованием правила Верещагина и готовых формул, полученных на основании этого правила.

В симметричных рамах целесообразна симметричная основная система с симметричными и кососимметричными лишними неизвестными. При этом возможны группировка неизвестных и разложение нагрузки на симметричную и кососимметричную.

Важно уметь проверить правильность окончательной эпюры изгибающих моментов, построить по ней эпюру поперечных сил, а по ней – эпюру продольных сил.

Вопросы для самопроверки

1. Укажите основные свойства статически определимых и статически неопределимых систем.
2. Какова степень статической неопределимости данных систем? Выберите основные системы метода сил:



3. Объясните смысл коэффициентов и свободного члена уравнения

$$\delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \delta_{23}x_3 + \Delta_{2p} = 0.$$

4. Запишите формулы для определения момента, поперечной силы в любом сечении статически неопределимой системы.

5. Объясните смысл деформационной проверки эпюры M .

Тема 5. Статически неопределимые фермы

Определение числа лишних связей фермы. Выбор основной системы. Расчет один раз статически неопределимой фермы.

Методические указания

Степень статической неопределимости удобно определять по формуле

$$L = C_{\text{ф}} + C_{\text{оп}} - 2y,$$

где L – число лишних связей; $C_{\text{ф}}$ – число стержней фермы; $C_{\text{оп}}$ – число опорных стержней; y – число узлов, в том числе и опорных.

Необходимо не забывать, что стержни фермы работают только на продольное усилие (растяжение или сжатие).

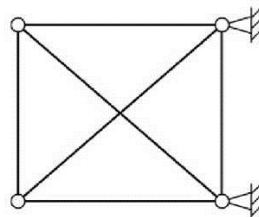
При выборе основной системы надо стремиться к тому, чтобы возможно большее число усилий обратилось в нуль.

В том случае, когда ферма внутренне статически неопределима, при определении главных коэффициентов следует принять усилие в лишнем стержне равным единице.

Вопросы для самопроверки

1. Почему при расчете статически неопределимой фермы надо знать площади сечений ее стержней или их соотношения?

2. Определите число неизвестных в данной ферме и покажите возможные основные системы:



Тема 6. Статически неопределимые арки

Двухшарнирная арка. Понятие и расчет. Понятие и расчет двухшарнирной арки с затяжкой по линии опорных шарниров. Расчет двухшарнирной арки с повышенной затяжкой. Бесшарнирная арка.

Методические указания

При расчете двухшарнирных арок применяется метод сил. Особенностью расчета арок является учет переменной жесткости по длине переменного сечения и криволинейность оси. Эти обстоятельства приводят к замене интегрирования суммированием по участкам с равными (осредненными) характеристиками, так как правило Верещагина для вычисления интегралов Мора неприемлемо.

Необходимо обратить внимание при определении деформаций на учет продольных сил и пренебрежение ими.

Вопросы для самопроверки

1. Чем объяснить необходимость учета продольных (нормальных) сил при расчете арок? Когда нормальные силы можно не учитывать?
2. Какие упрощения вносит в расчет бесшарнирной арки использование симметрии?

Тема 7. Метод перемещений

Перемещения, используемые в методе перемещений. Степень кинематической неопределимости. Основная система метода перемещений. Канонические уравнения. Определение коэффициентов и свободных членов системы уравнений.

Построение окончательных эпюр M , Q и N . Проверка эпюр. Расчет симметричных рам.

Методические указания

Нужно твердо усвоить идею метода перемещений, смысл основной системы и правила определения степени угловой и линейной подвижности рамы (степени кинематической неопределимости). Построение единичных и грузовых эпюр в основной системе (совокупности статически неопределимых балок) производится по специальным таблицам. При определении коэффициентов и свободных членов канонических уравнений следует учитывать, что реактивные усилия принимают положительными, т.е. совпадающими с направлением перемещения соответствующей дополнительной связи.

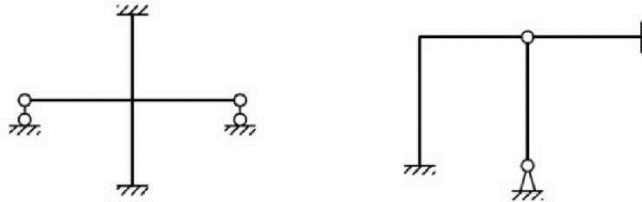
Проверка эпюр M , Q и N выполняется так же, как в методе сил.

При расчете симметричных рам удобно применить группировку неизвестных, что упрощает расчет.

Следует обратить внимание на особенности расчета рам с наклонными стойками.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните смысл величин, входящих в каноническое уравнение метода перемещений, а также смысл всего уравнения.
2. Найдите степень статической неопределимости $n_{ст}$ и степень кинематической неопределимости $n_{кин}$ и выберите основные системы метода сил и метода перемещений для данных систем:



3. Запишите теорему о взаимности реакций.

Тема 8. Неразрезные балки

Понятие неразрезной балки. Уравнение трех моментов как частный случай системы канонических уравнений метода сил. Основная система метода сил. Построение эпюр моментов, поперечных сил и их проверка.

Моментные фокусы и моментальные фокусные отношения. Формулы опорных моментов загруженного пролета.

Формулы зависимостей левых фокусных отношений, правых фокусных отношений. Расчет неразрезной балки методом фокусных отношений.

Методические указания

Уравнения трех моментов для расчета неразрезных балок получены благодаря рациональному выбору основной системы. При этом надо знать, как применяются уравнения трех моментов в случае заделки на крайней опоре и в случае консоли.

Эпюра моментов для неразрезной балки строится сложением грузовой эпюры с эпюрой опорных моментов, которая является «исправленной» суммарной эпюрой от неизвестных.

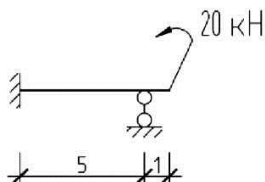
Проверка эпюры моментов выполняется обычным для метода сил путем. Эпюра поперечных сил, как и прежде, строится по эпюре моментов.

При расчете неразрезных балок на временную нагрузку большое значение имеет метод фокусных отношений. Здесь важно уметь определять фокусные отношения для крайних пролетов.

Вопросы для самопроверки

1. Почему за неизвестные в неразрезной балке удобнее принимать опорные моменты, а не реакции?

2. Сколько уравнений трех моментов требуется решить для расчета двухпролетной балки с заделками на обоих концах?
3. Что такое приведенные длины пролетов?
4. Что такое левое фокусное отношение?
5. Каков смысл фиктивных реакций?
6. Постройте эпюры M и Q данной балки:



СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дарков А.В. Строительная механика : учеб. / А.В. Дарков, Н.Н. Шапошников. – 11-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2008. – 655 с.
2. Анохин Н.Н. Строительная механика в примерах и задачах : учеб. пособие для вузов : в 2 ч. / Н.Н. Анохин. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Изд-во АСВ, 2007. Ч. 1: Статически определимые системы. – 334 с. Ч. 2: Статически неопределимые системы. – 464 с.
3. Леонтьев Н.Н. Основы строительной механики стержневых систем : учеб. для вузов / Н.Н. Леонтьев, Д.Н. Соболев, А.А. Амосов. – М. : Изд-во АСВ, 1996. – 541 с.
4. Саргсян А.Е. Строительная механика. Механика инженерных конструкций : учеб. для вузов / А.Е. Саргсян. – М. : Высш. шк., 2004. – 462 с.
5. Строительная механика. Стержневые системы : учеб. для вузов / А.Ф. Смирнов [и др.]; под ред. А. Ф. Смирнова. – М. : Стройиздат, 1981. – 512 с.
6. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики (стати́ка стержневых систем) : учеб. пособие для вузов / Г.К. Клейн [и др.]; под ред. Г.К. Клейна. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1980. – 384 с.
7. Розин Л.А. Расчет статически неопределимых стержневых систем : учеб. пособие / Л.А. Розин, И.А. Константинов, В.А. Смелов; Ленингр. политехн. ин-т им. М.И. Калинина. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1988. – 328 с.

ЗАДАНИЯ К РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНЫМ РАБОТАМ

В соответствии с учебным планом студенты-заочники специальности «Промышленное и гражданское строительство» должны выполнить шесть заданий (четыре из них включены в курсовую работу и два в контрольные работы):

1. Расчет статически определимой многопролетной балки на неподвижную и подвижную нагрузки.
2. Расчет плоской статически определимой фермы на неподвижную и подвижную нагрузки.
3. Расчет трехшарнирной арки.
4. Расчет статически неопределимой рамы методом сил.
5. Расчет статически неопределимой рамы методом перемещений.
6. Расчет неразрезной балки.

Каждое задание выполняется по схеме и исходным данным в зависимости от шифра из соответствующих таблиц. Номер схемы и шифр выдаются преподавателем.

Контрольные задания выполняются на листах формата А4. Титульный лист оформляется в соответствии с образцом (прил. 1).

Расчетную схему сооружения следует показывать в масштабе. На схеме представляются выбранные числовые значения размеров и нагрузок.

Выполненная расчетно-проектировочная работа должна содержать вычисления и необходимые чертежи. Вся пояснительная записка выполняется ручкой (не использовать красный цвет).

РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНАЯ РАБОТА № 1

Расчет статически определимой многопролетной балки на неподвижную и подвижную нагрузки

Задание. Для балки (табл. 1, рис. 1) требуется:

1. Проверить геометрическую неизменяемость составной многопролетной балки.
2. Построить поэтажную схему.
3. Для всех простых и консольных балок поэтажной схемы построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов от действия неподвижной нагрузки.
4. Построить эпюры Q и M для заданной составной балки.
5. Построить линию влияния одной из опорных реакций промежуточной опоры (по выбору студента).

6. Построить линии влияния поперечных сил и изгибающих моментов для сечений, указанных по шифру в табл. 1.

7. Пользуясь построенными линиями влияния, определить значения опорных реакций, Q и M для рассмотренных сечений при действии заданной неподвижной нагрузки.

8. Сравнить результаты вычислений Q и M в сечениях, а также одной реакции, выполненных аналитически и по линиям влияния.

Таблица 1

1-я цифра шифра	L_1 , м	L_4 , м	P_2 , кН	q_1 , кН/м	m_3 , кН·м	2-я цифра шифра	L_2 , м	P_1 , кН	m_1 , кН·м	q_2 , кН/м	3-я цифра шифра	L_3 , м	q_3 , кН/м	m_2 , кН·м	P_3 , кН	Сечения
0	4	3,8	8	0	12	0	8,0	7	15	7,2	0	2,8	8,0	16	10	$K_1 K_3$
1	4,6	3,4	0	2,0	14	1	6,0	0	14	7,4	1	2,6	8,2	0	8	$K_2 K_1$
2	4,8	3,2	10	4,0	8	2	4,0	3	12	7,0	2	8,0	0	20	6	$K_3 K_2$
3	4,2	3,6	8,4	2,2	1,8	3	4,6	6,0	11	6,8	3	7,8	8,4	0	4	$K_1 K_3$
4	5,0	4,0	0	8,0	6,0	4	4,8	5,6	10	0	4	7,6	8,6	22	0	$K_2 K_1$
5	5,2	4,5	6,0	3,6	20	5	6,2	4,0	0	6,2	5	7,4	8,8	18	2	$K_3 K_2$
6	5,4	4,4	12	0	10	6	6,4	4,5	9	6,0	6	7,2	0	15	2,5	$K_1 K_3$
7	5,6	5,0	14	6,0	12	7	6,5	5,0	8	0	7	7,0	10	12	0	$K_2 K_3$
8	5,8	4,2	16	3,0	18	8	8,2	3,6	0	7,6	8	5,0	12	10	2,8	$K_3 K_1$
9	6,0	3,5	20	0	4,8	9	3,8	0	18	4,0	9	3,0	10,6	10	4,6	$K_1 K_2$

В табл. 1 L_1, L_2, L_3, L_4 – длины соответствующих пролетов.

Методические указания

Для аналитического решения задачи необходимо начертить поэтажную схему. Расчет следует начинать с подвесных балок (т.е. балок, не имеющих наземных опор) или с самых верхних балок. При переходе от расчета одной балки к расчету другой необходимо учитывать как местную (заданную) нагрузку, так и силы давления в шарнирах.

При построении эпюры Q положительные ординаты откладываются от оси вверх, а отрицательные – вниз. При построении эпюры M ординаты откладываются со стороны растянутых волокон (положительные от оси вниз, отрицательные – вверх).

Линии влияния Q, M и R следует строить с использованием линий влияния в простых и консольных балках.

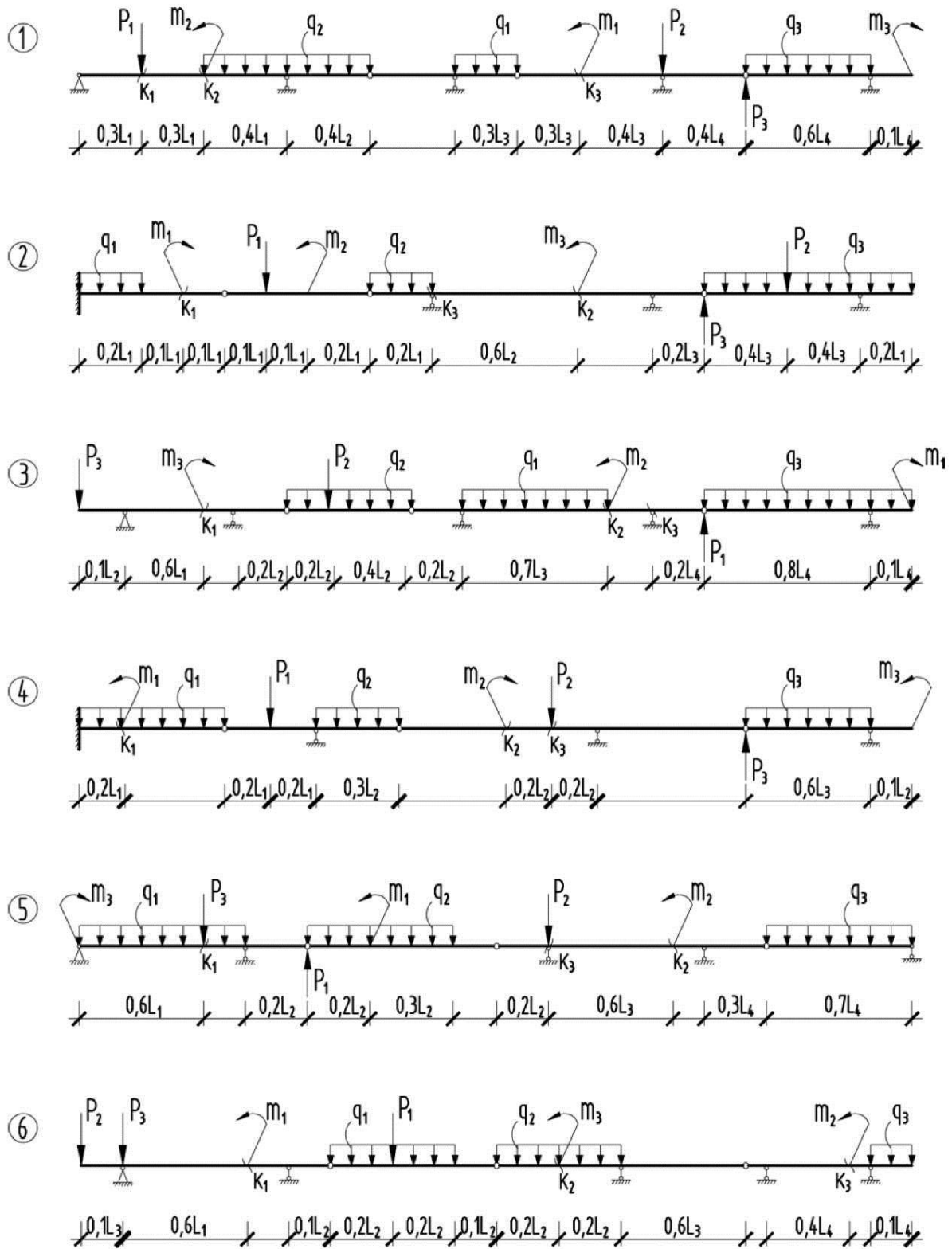


Рис. 1

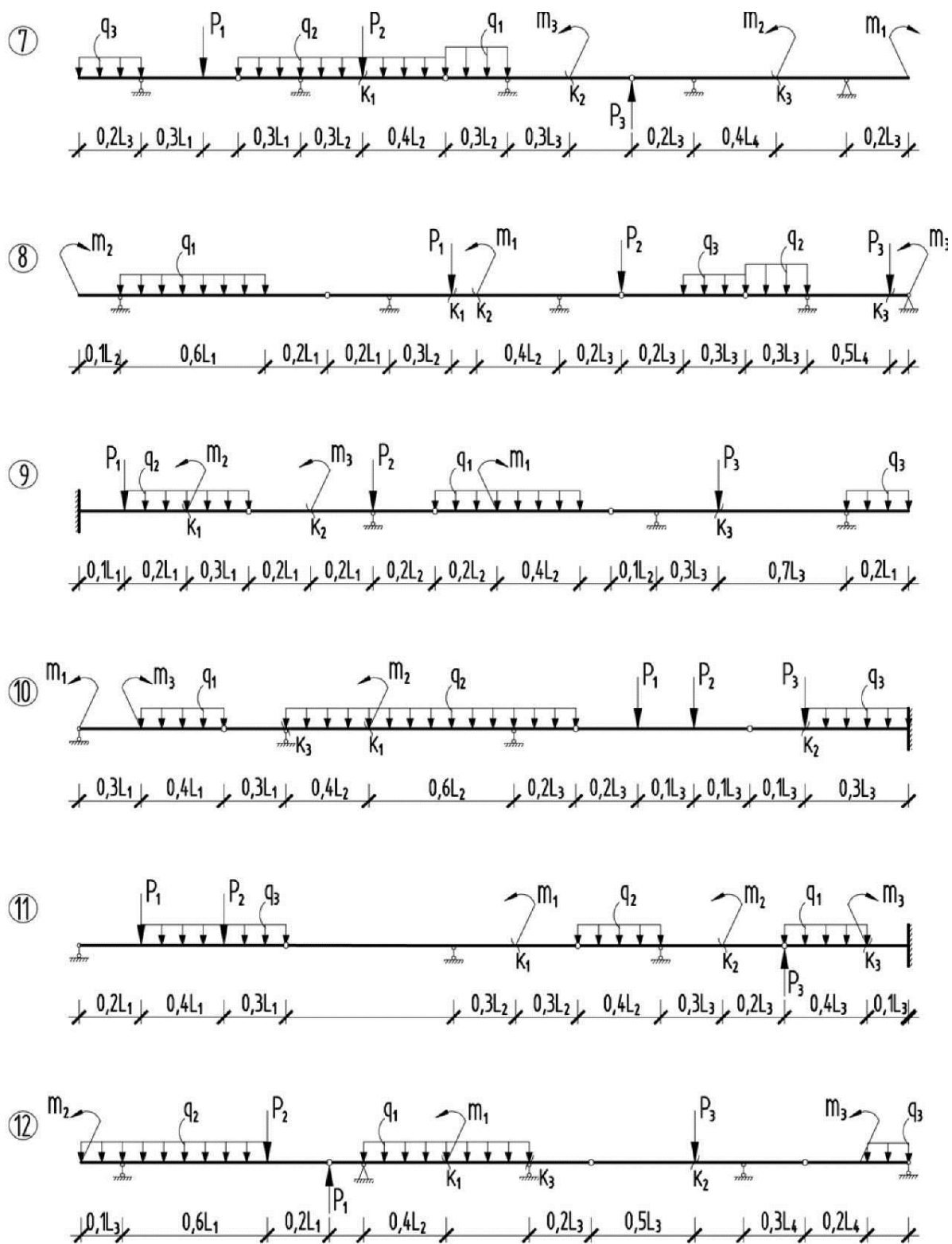


Рис. 1. Продолжение

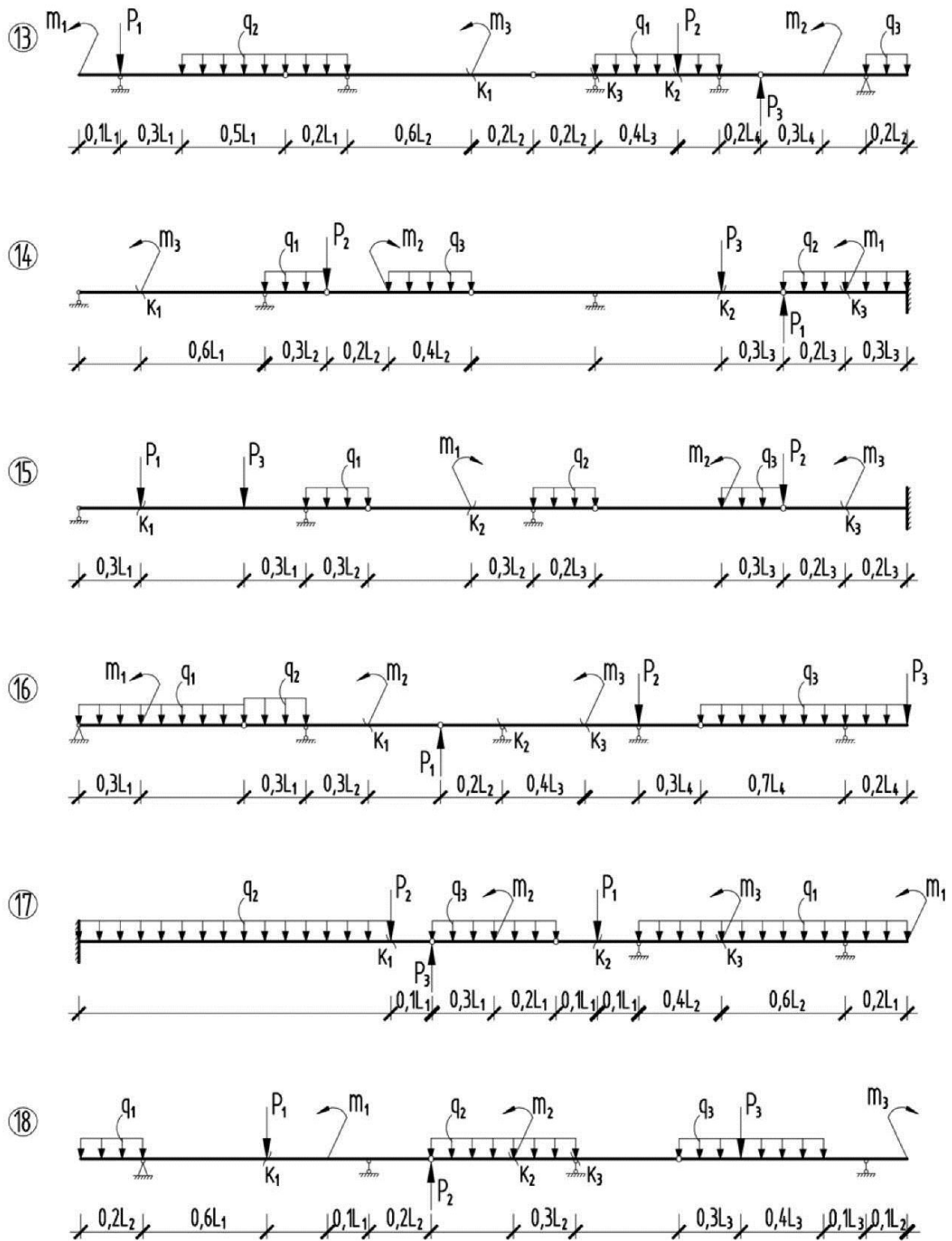


Рис. 1. Продолжение

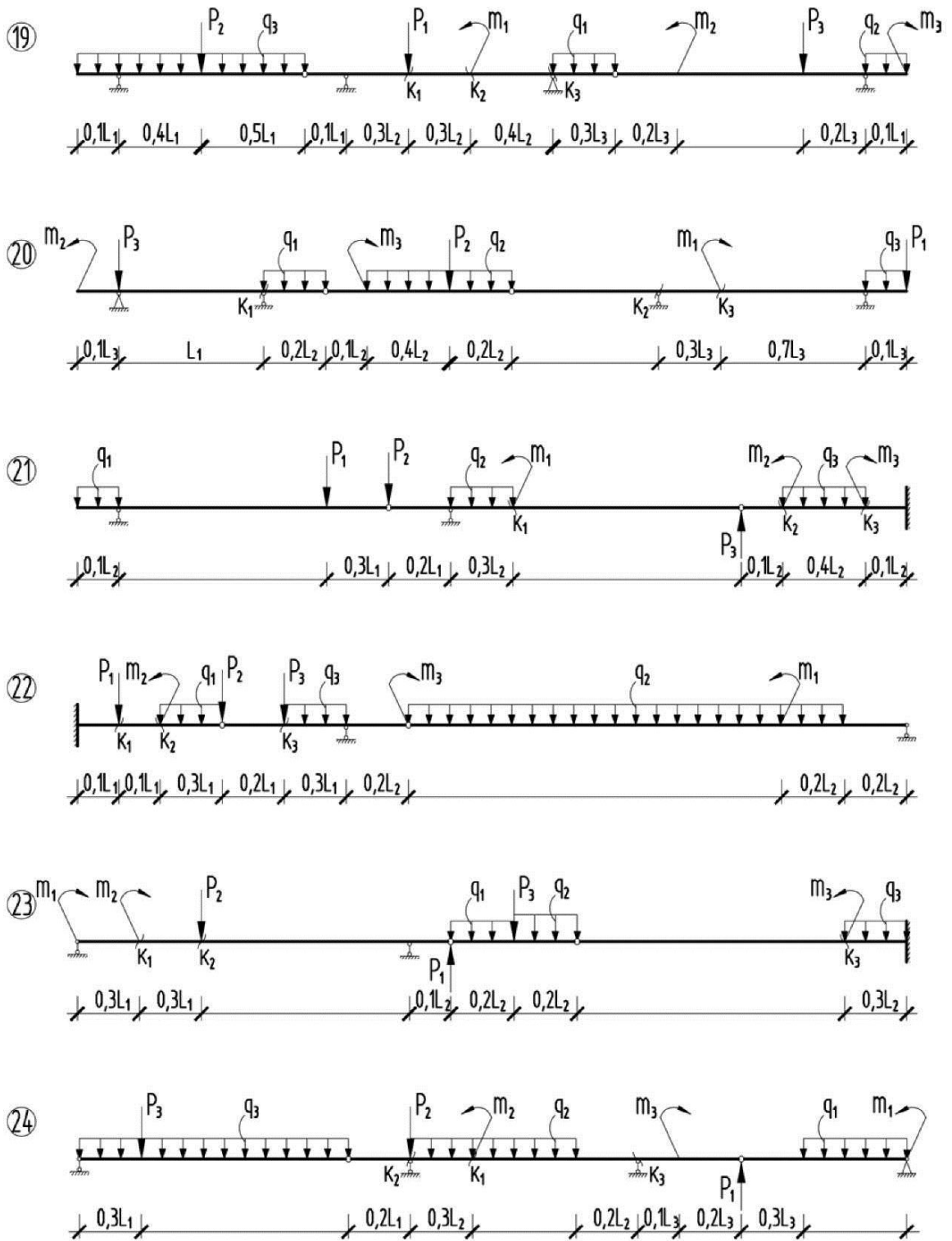


Рис. 1. Продолжение

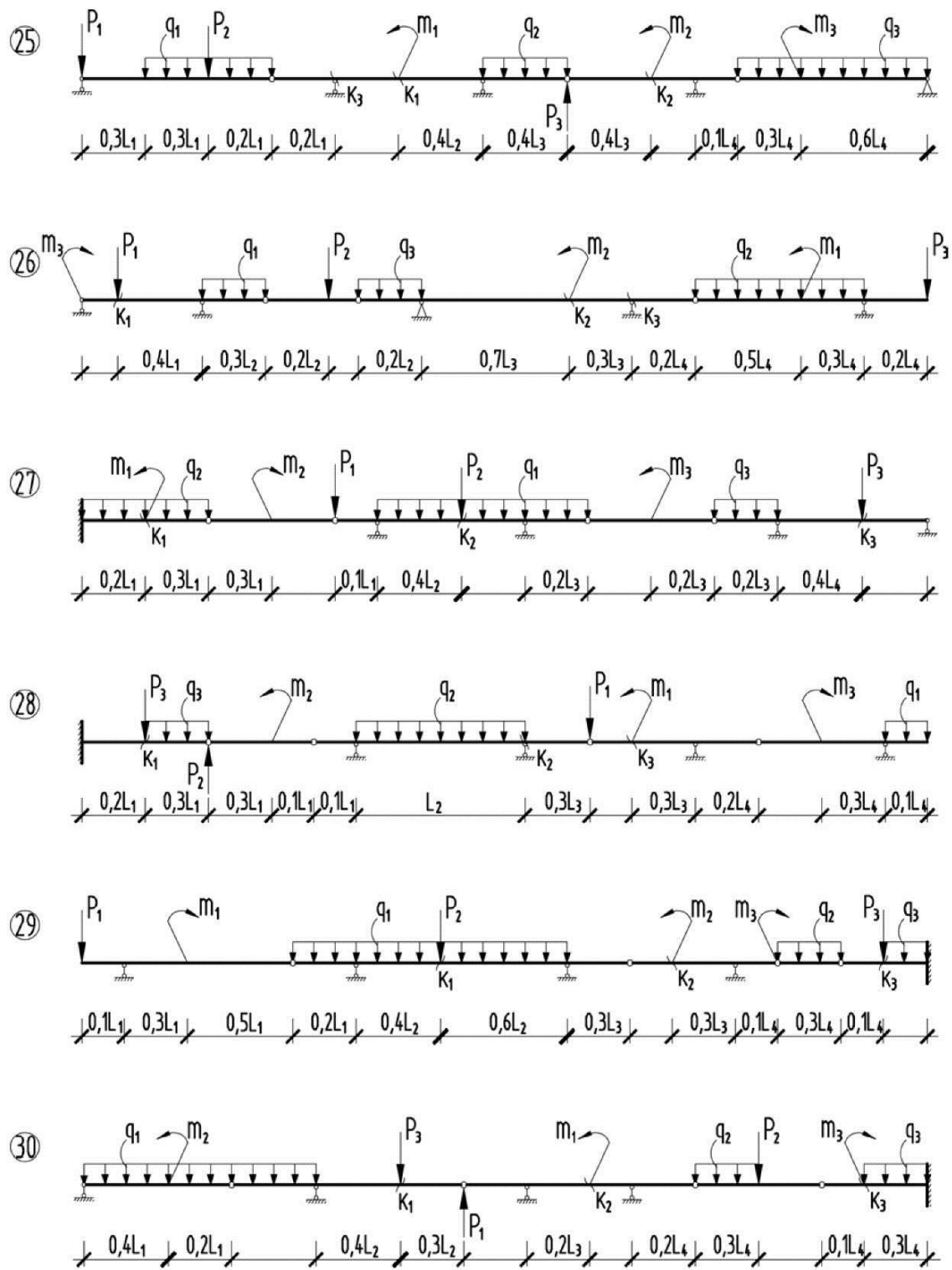


Рис. 1. Окончание

РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНАЯ РАБОТА № 2

Расчет плоской статически определимой фермы на неподвижную и подвижную нагрузки

Задание. Для фермы (табл. 2, рис. 2) требуется:

1. Построить расчетную схему.
2. Проверить статическую определимость и геометрическую неизменяемость фермы.
3. Определить аналитически опорные реакции фермы, нагруженной неподвижной нагрузкой P .
4. Найти усилия в стержнях фермы от этого нагружения.
5. Показать ферму с подвижной нагрузкой $P = 1$ и построить линии влияния усилий во всех стержнях заданной панели.
6. Найти усилия в стержнях указанной панели фермы от постоянной нагрузки по линиям влияния. Сопоставить эти усилия с аналитическими.

Таблица 2

1-я цифра шифра	d , м	h_2 , м	2-я цифра шифра	h_1 , м	P , кН	3-я цифра шифра	Грузовой пояс	Номер панели
0	1,8	2,0	0	1,0	10	0	Нижний	2
1	2,0	2,4	1	1,2	12	1	Верхний	3
2	2,2	1,6	2	1,4	14	2	Нижний	4
3	2,4	1,4	3	1,6	16	3	Верхний	5
4	2,6	1,2	4	1,8	8,0	4	Нижний	6
5	2,8	1,0	5	2,0	7,0	5	Верхний	4
6	1,6	1,8	6	2,2	6,0	6	Нижний	3
7	3,0	2,6	7	2,4	5,0	7	Верхний	2
8	1,4	2,2	8	2,6	8,4	8	Нижний	5
9	3,2	2,8	9	2,8	10,6	9	Верхний	4

Методические указания

Постоянная и подвижная нагрузка передаются в узлах указанного по шифру пояса. При аналитическом определении усилий в стержнях необходимо показать разрезы (сечения). Величины плеч следует определять аналитически, а усилия – непосредственно через нагрузку и опорные реакции, для чего использовать способ моментных точек и способ проекций. При построении линий влияния усилий в стержнях указанной панели фермы нужно привести в расчете уравнения ветвей (левой и правой) каждой линии влияния. Можно привести уравнение одной из ветвей линии влияния (левой или правой), но пояснить построение другой. Линии влияния усилий должны быть построены под фермой с указанным грузовым поясом.

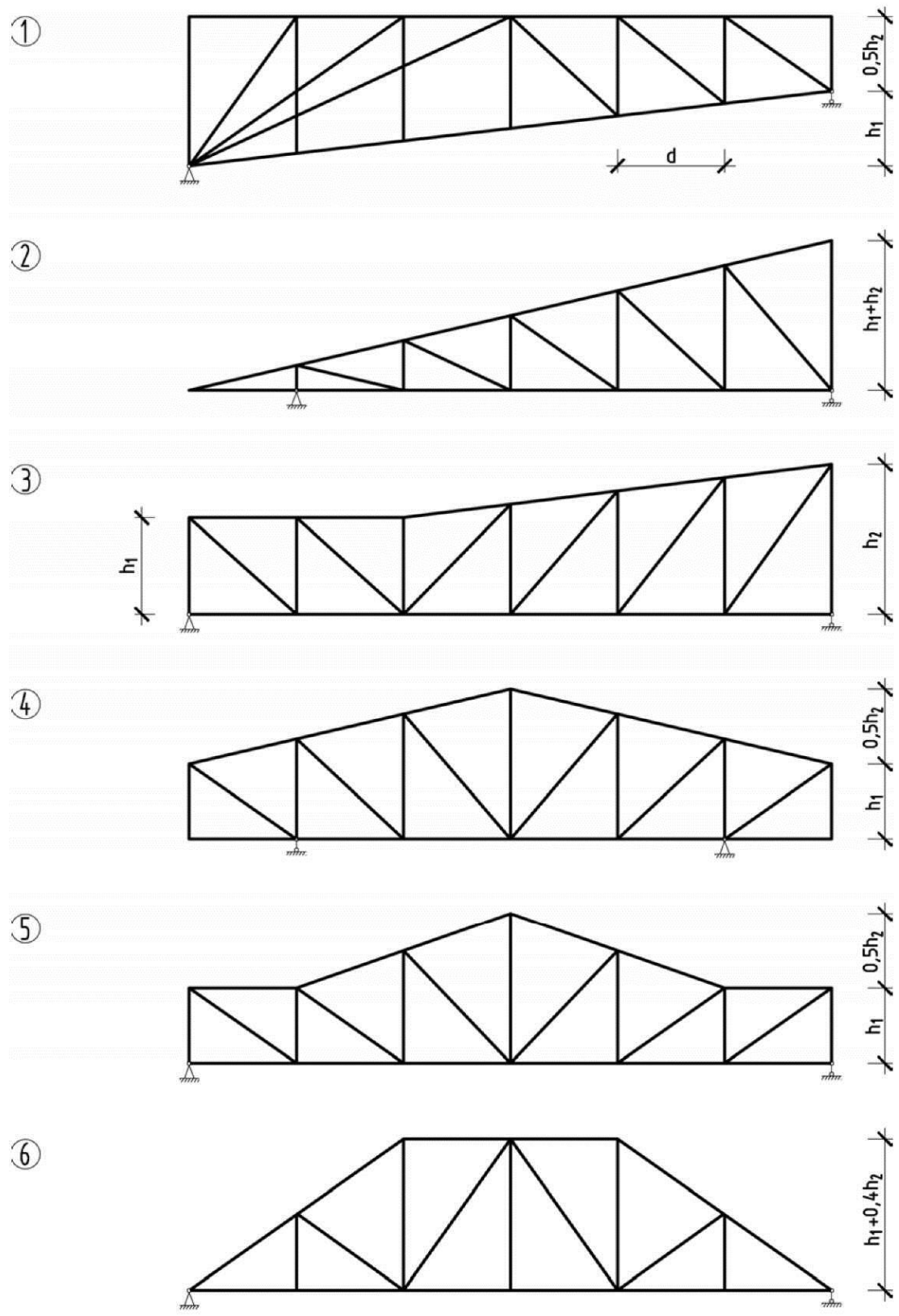


Рис. 2

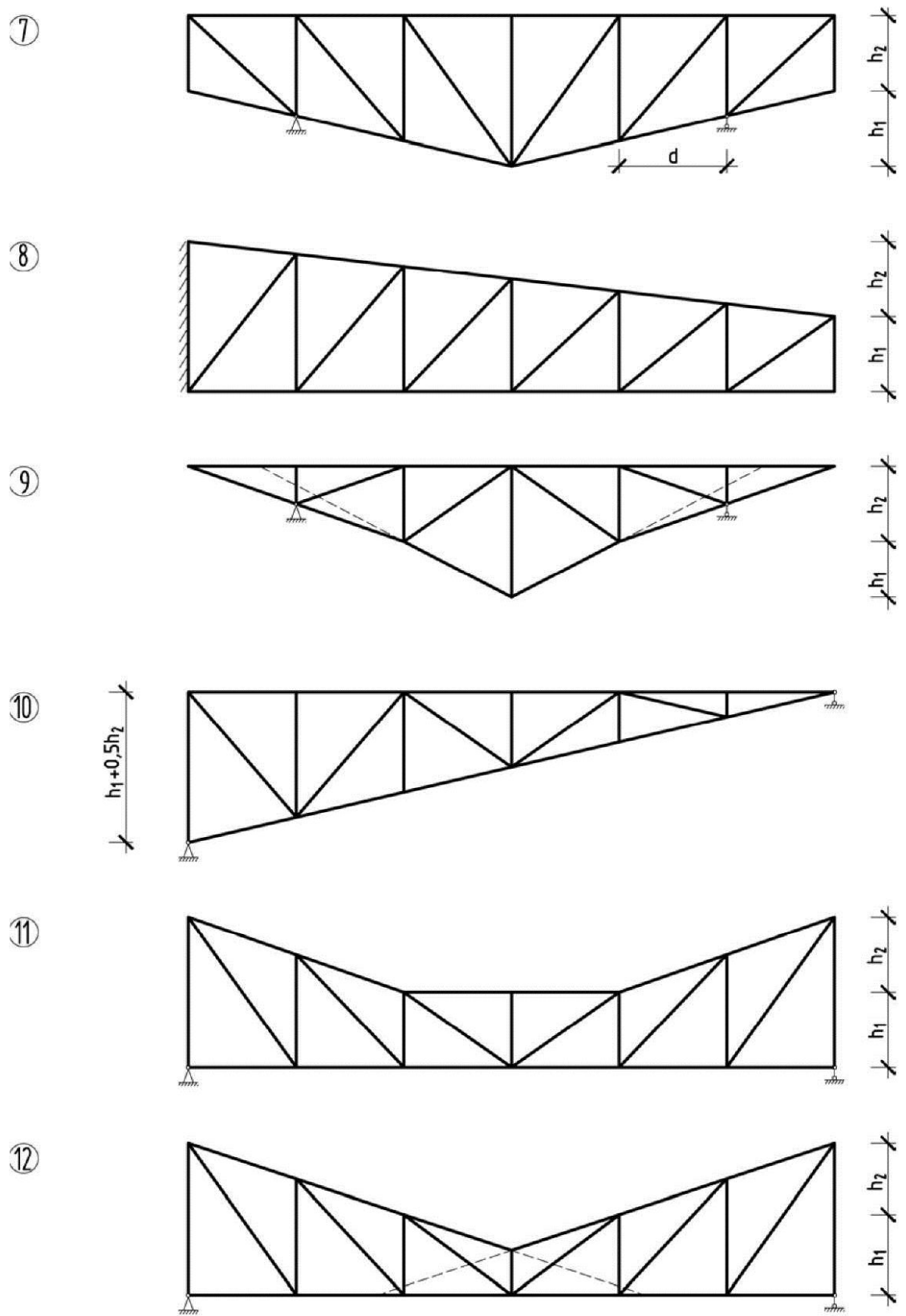


Рис. 2. Продолжение

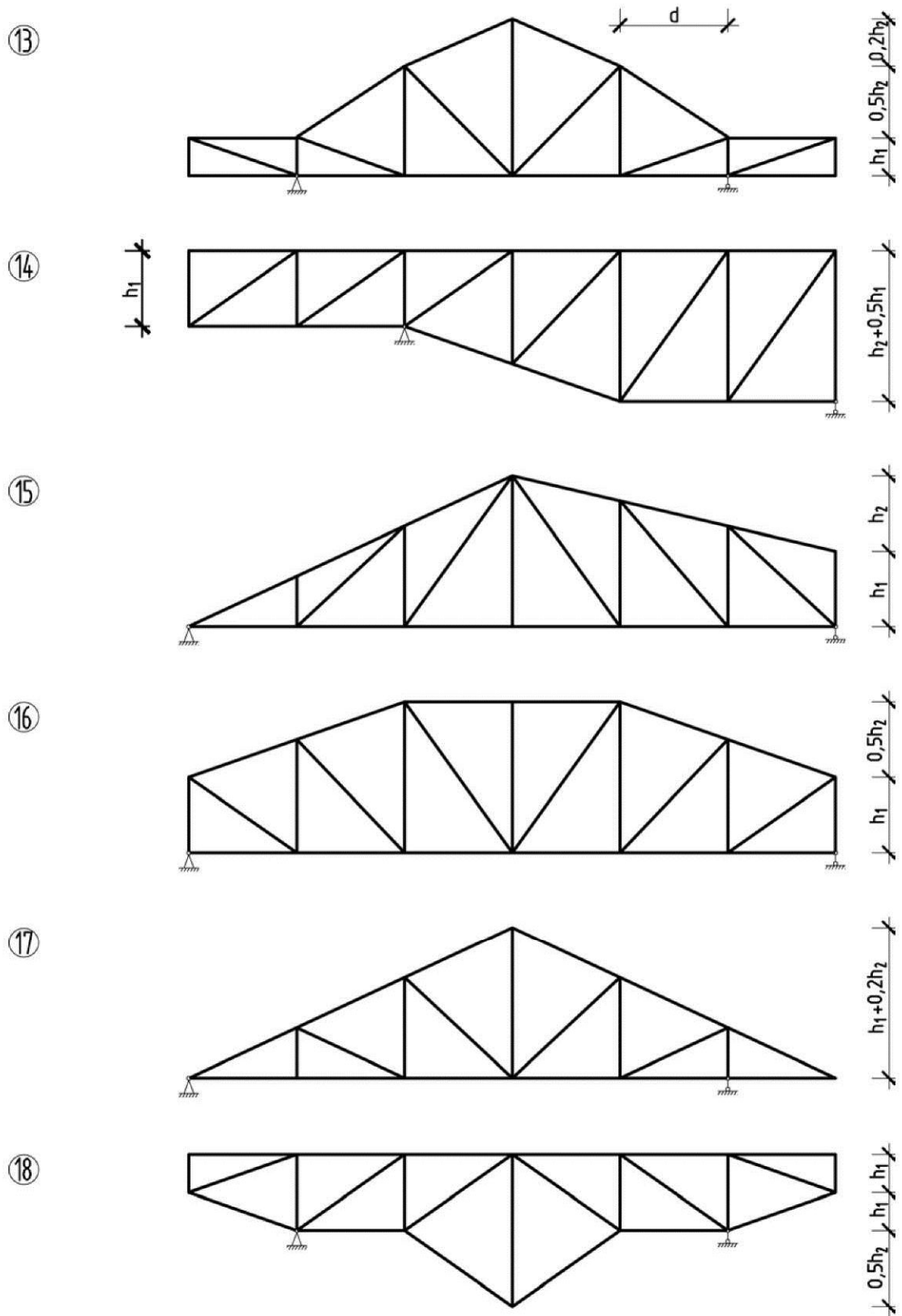


Рис. 2. Продолжение

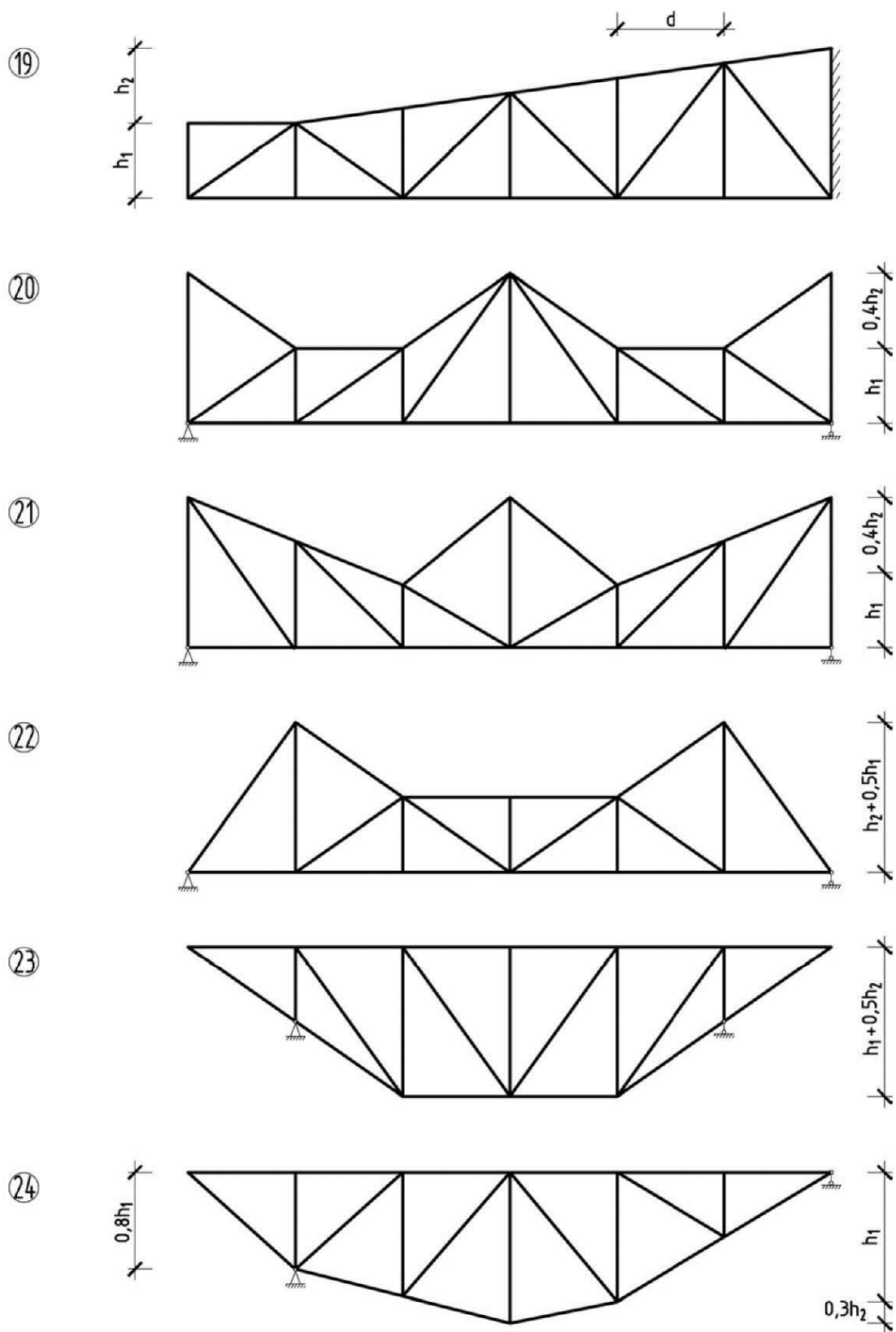
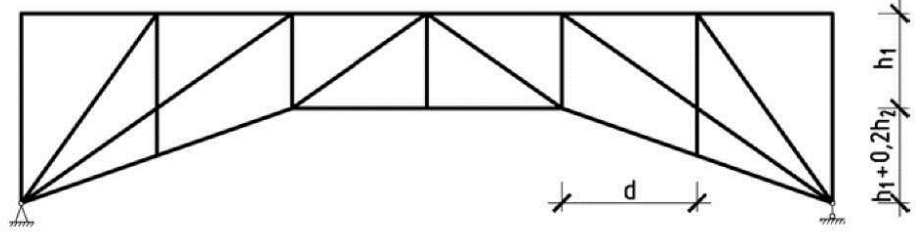
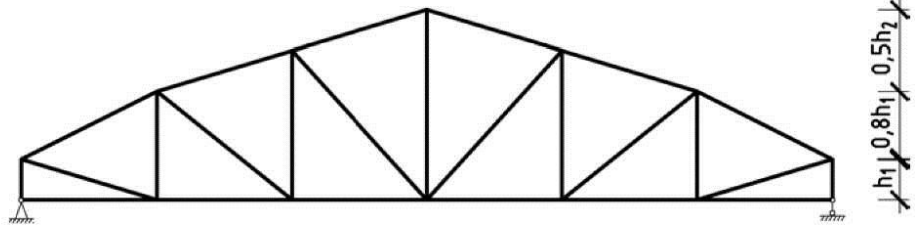


Рис. 2. Продолжение

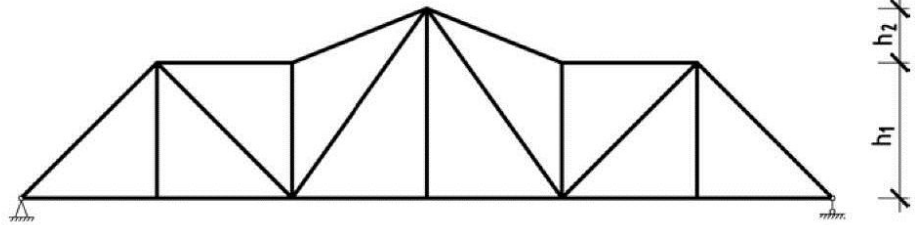
25



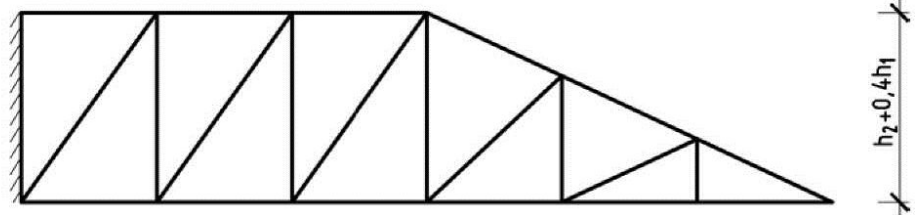
26



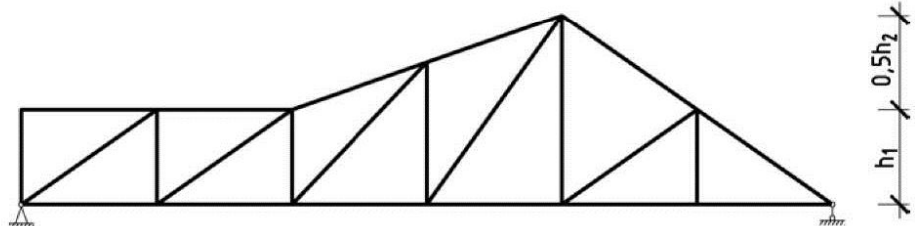
27



28



29



30

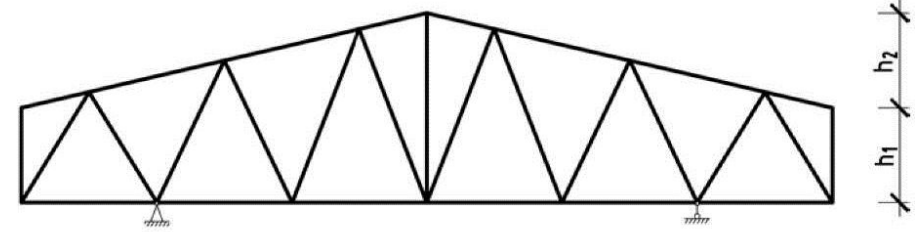


Рис. 2. Окончание

РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНАЯ РАБОТА № 3

Расчет трехшарнирной арки

Задание. Для сплошной трехшарнирной арки (табл. 3, рис. 3) с одним из вариантов загрузки, приведенных на рис. 4, требуется:

1. Показать расчетную схему арки согласно исходным данным.
2. Проверить геометрическую неизменяемость системы.
3. Горизонтальную проекцию оси арки разбить сечениями на четное число отрезков с шагом $0,1l$ и сечения пронумеровать. Необходимо брать сечения под сосредоточенными силами, в точках, где начинается и прерывается распределенная нагрузка, в точках присоединения затяжки и коньковом шарнире.
4. Определить все геометрические параметры выбранных сечений и занести их в табл. 4.
5. Показать определение усилий Q^0 и M^0 во всех сечениях. Построить эпюры Q^0 и M^0 .
6. Построить эпюры M , Q и N от всей вертикальной нагрузки, соответствующей заданию. Эпюры строить относительно оси арки.

Таблица 3

1-я цифра шифра	Номер схемы	L , м	q , кН/м	2-я цифра шифра	Вариант загрузки	S_1 , кН/м	3-я цифра шифра	P , кН	S_2 , кН/м
0	1	22	8,0	0	1	4,0	0	10	10
1	2	24	14	1	2	4,8	1	8	12
2	3	26	16	2	3	4,5	2	12	16
3	4	28	12	3	4	5,0	3	7	16,8
4	5	30	10	4	5	9,0	4	9	16,2
5	6	10	6	5	6	6,6	5	11	18
6	5	20	6	6	7	6,0	6	13	14
7	4	18	6,8	7	8	3,0	7	14	10,8
8	3	16	8,4	8	9	5,6	8	16	20
9	2	14	4,0	9	10	4,2	9	15	22

Методические указания

Расчетную схему арки с нагрузкой следует начертить в масштабе. За начало координат в трехшарнирной арке принимают точку А (шарнир левой опоры). Ординаты точек оси арки определяются по уравнениям, указанным в задании.

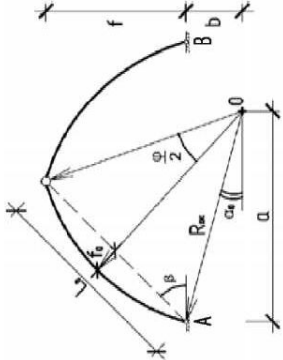
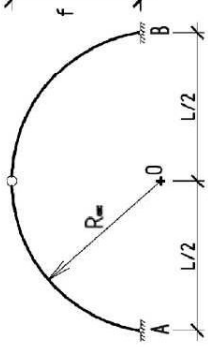
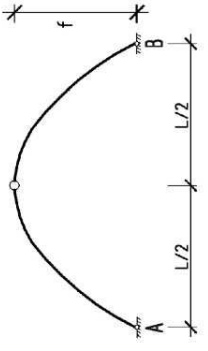
Номер схемы	1	2	3
Форма оси	Стрельчатая	Круговая	Параболическая
Схема оси			
$\frac{f}{L}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{6}$
Уравнение оси	$y = \sqrt{R_{ок}^2 - (a-x)^2} - b$	$y = \sqrt{R_{ок}^2 - (0,5L-x)^2} - R_{ок} + f$	$y = \frac{4f}{L^2}x(L-x)$
Геометри- ческие па- раметры	$R_{ок} = \frac{L_0^2}{8f_0} + \frac{f_0}{2}$ $a = R_{ок} \cdot \cos \alpha_0$ $b = R_{ок} \cdot \sin \alpha_0$	$R_{ок} = \frac{L^2 + 4f^2}{8f}$ $\cos \alpha = \frac{y + R_{ок} - f}{R_{ок}}$	$\operatorname{tg} \alpha = y' = \frac{4f}{L^2} \cdot (L-2x)$
	$\alpha_0 = 90^\circ - \beta - \frac{\varphi}{2}$ $f_0 = \frac{1}{14}L_0$ $\cos \alpha = \frac{y+b}{R_{ок}}$ $\sin \alpha = \frac{a-x}{R_{ок}}$	$\sin \alpha = \frac{L-2x}{2R_{ок}}$	

Рис. 3

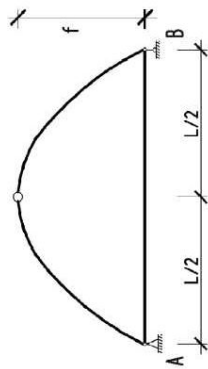
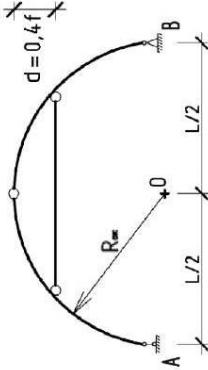
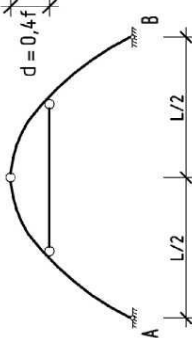
Номер схемы	4	5	6
Форма оси	Параболическая	Круговая	Параболическая
Схема оси			
$\frac{f}{L}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
Уравнение оси	$y = \frac{4f}{L^2}x(L-x)$	$y = \sqrt{R_{ок}^2 - (0,5L-x)^2} - R_{ок} + f$	$y = \frac{4f}{L^2}x(L-x)$
Геометри- ческие па- раметры	$tg\alpha = y' = \frac{4f}{L^2} \cdot (L-2x)$	$R_{ок} = \frac{L^2 + 4f^2}{8f}$ $cos\alpha = \frac{y + R_{ок} - f}{R_{ок}} \quad sin\alpha = \frac{L-2x}{2R_{ок}}$	$tg\alpha = y' = \frac{4f}{L^2} \cdot (L-2x)$

Рис. 3. Окончание

Варианты загрузки трехшарнирной арки

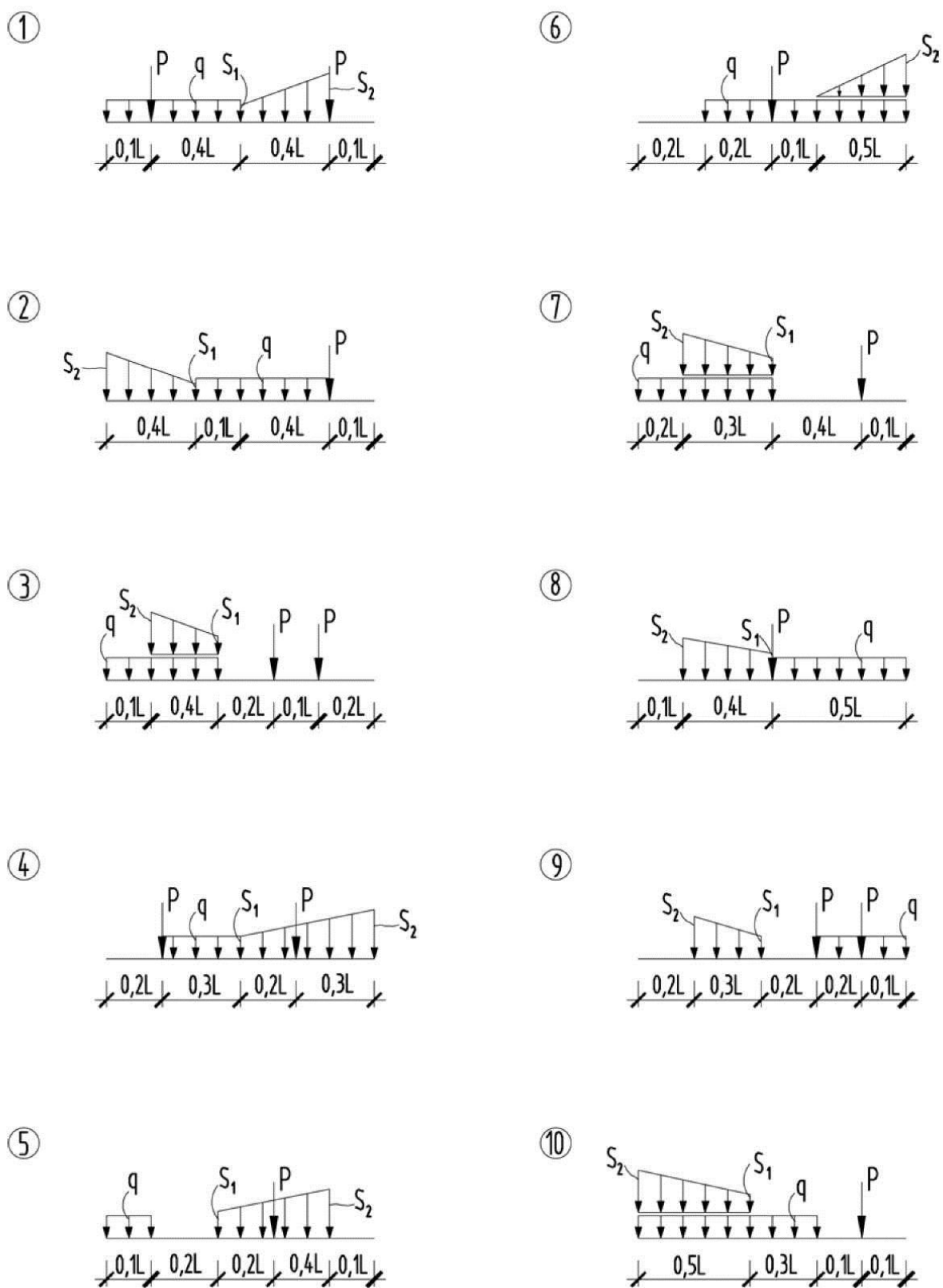


Рис. 4

Для арки с повышенной затяжкой в табл. 4 вводится дополнительная геометрическая характеристика y^* , а графа $H \cdot y$ заменяется $H \cdot y^*$, где $y^* = y - (f - d)$.

Определение ординат эпюр изгибающих моментов, поперечных и нормальных сил производится по формулам. При этом следует учитывать, что углы наклона касательных α в правой полуарке отрицательны, следовательно, $\cos \alpha$ имеет знак «+», а $\sin \alpha$ – знак «-».

В точках приложения сосредоточенных сил и в сечениях присоединения затяжки значения Q и N необходимо подсчитать левее и правее этих точек.

Таблица 4

Но- мер сеч.	x	y	$\operatorname{tg} \alpha$	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	M^0	$H \cdot y$	M	Q^0	$Q^0 \cos \alpha$	$H \sin \alpha$	Q	$Q^0 \sin \alpha$	$H \cos \alpha$	N
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A															
1															
⋮															
C															
4'															
⋮															
1'															
B															

РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНАЯ РАБОТА № 4

Расчет плоской статически неопределимой рамы методом сил

Задание. Для рамы (табл. 5, рис. 5) требуется:

1. Определить степень статической неопределимости.
2. Выбрать основную систему метода сил и составить систему канонических уравнений в общем виде. Расчет следует выполнить с учетом возможных упрощений, сводящихся к наиболее «выгодной» основной системе.
3. Построить эпюры изгибающих моментов $\bar{M}_1, \bar{M}_2, \dots, \bar{M}_n$ от действия на основную систему сил $X_1 = X_2 = \dots = X_n = 1$.
4. Построить грузовую эпюру M_p от действия на основную систему заданных внешних сил и эпюру \bar{M}_s (суммарную эпюру единичных эпюр изгибающих моментов).
5. Проверить правильность вычисленных перемещений.
6. Решить систему уравнений и проверить правильность ее решений. Нельзя при этом ограничиваться проверкой одного уравнения, найденные значения неизвестных нужно подставить во все уравнения и убедиться, что все они удовлетворяются.
7. Построить «исправленные» эпюры изгибающих моментов. Для этого ординаты эпюр от единичных воздействий $\bar{M}_1, \bar{M}_2, \dots, \bar{M}_n$ умножить соответственно на численные значения найденных неизвестных X_1, X_2, \dots, X_n с учетом их знаков, т.е. построить эпюры $\bar{M}_1 X_1, \bar{M}_2 X_2, \dots, \bar{M}_n X_n$.
8. Построить действительную (окончательную) эпюру M относительно заданной рамы путем сложения «исправленных» эпюр с эпюрой M_p .
9. Проверить правильность построения эпюры M , т.е. выполнить:
 - а) статическую проверку;
 - б) деформационную проверку.
10. Построить эпюры поперечных Q и продольных N сил относительно заданной рамы.
11. Проверить правильность эпюр Q и N . Для этого необходимо провести сечение и отделить от рамы какую-нибудь часть. В местах рассечения приложить продольные, поперечные силы и изгибающие моменты, определенные с помощью эпюр M, Q и N . К отсеченной части рамы следует приложить также и заданные внешние силы. Если эпюры построены правильно, то будут удовлетворены условия равновесия отсеченной части рамы:

$$\sum X = 0, \sum Y = 0 \text{ и } \sum M_k = 0.$$

Таблица 5

1-я цифра шифра	L_1 , м	q_2 , кН/м	2-я цифра шифра	q_1 , кН/м	P_2 , кН	h_2 , м	3-я цифра шифра	L_2 , м	P_1 , кН	h_1 , м
0	3,8	6,2	0	10	8,0	3	0	3,2	20	4,5
1	3,6	6,4	1	10,6	10	3,2	1	3,0	22	4,7
2	3,4	6,6	2	10,8	12	3,4	2	3,6	24	4,0
3	4,4	6,8	3	12	14	3,6	3	6,0	26	3,5
4	4,6	8,0	4	12,6	16	3,8	4	5,6	28	3,7
5	4,0	7,2	5	12,8	18	4,0	5	5,8	30	3,3
6	4,8	7,4	6	14	20	4,2	6	4,5	32	5,0
7	5,0	7,6	7	14,6	5,0	4,4	7	4,2	34	5,2
8	5,2	7,8	8	14,8	5,8	4,6	8	6,2	36	5,4
9	5,4	9,0	9	4,0	6,0	4,8	9	6,4	38	5,6

Методические указания

Выбранная основная система должна быть обязательно геометрически неизменяемой. Для выбора основной системы следует сравнить между собой ряд вариантов и обосновать целесообразность принятой основной системы.

При определении коэффициентов и свободных членов канонических уравнений следует помнить, что жесткости стоек и ригелей не равны между собой. Проверка правильности определения величин коэффициентов и свободных членов выполняется подсчетом интегралов Мора.

Эпюра Q строится с помощью эпюры M . На участке, где эпюра M прямолинейна, значение Q определяется как тангенс угла наклона эпюры M . На участке, где эпюра M криволинейна, построение эпюры Q производится с помощью формулы

$$Q_K = Q_K^0 + \frac{M_{пр} - M_{лев}}{l}.$$

Эпюра N строится с помощью эпюры Q путем вырезания узлов 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 часовой стрелке, а отрицательная – против.

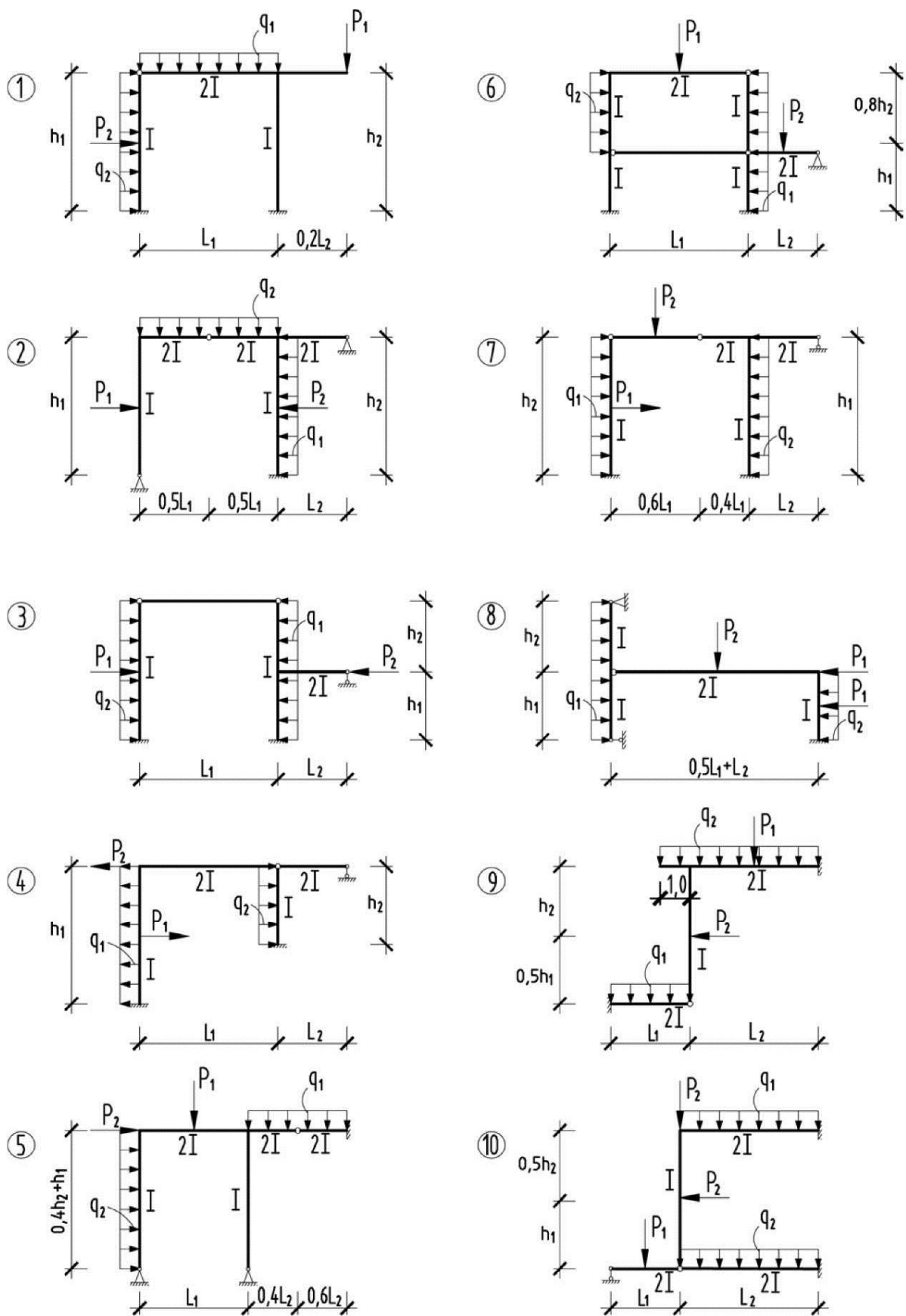


Рис. 5

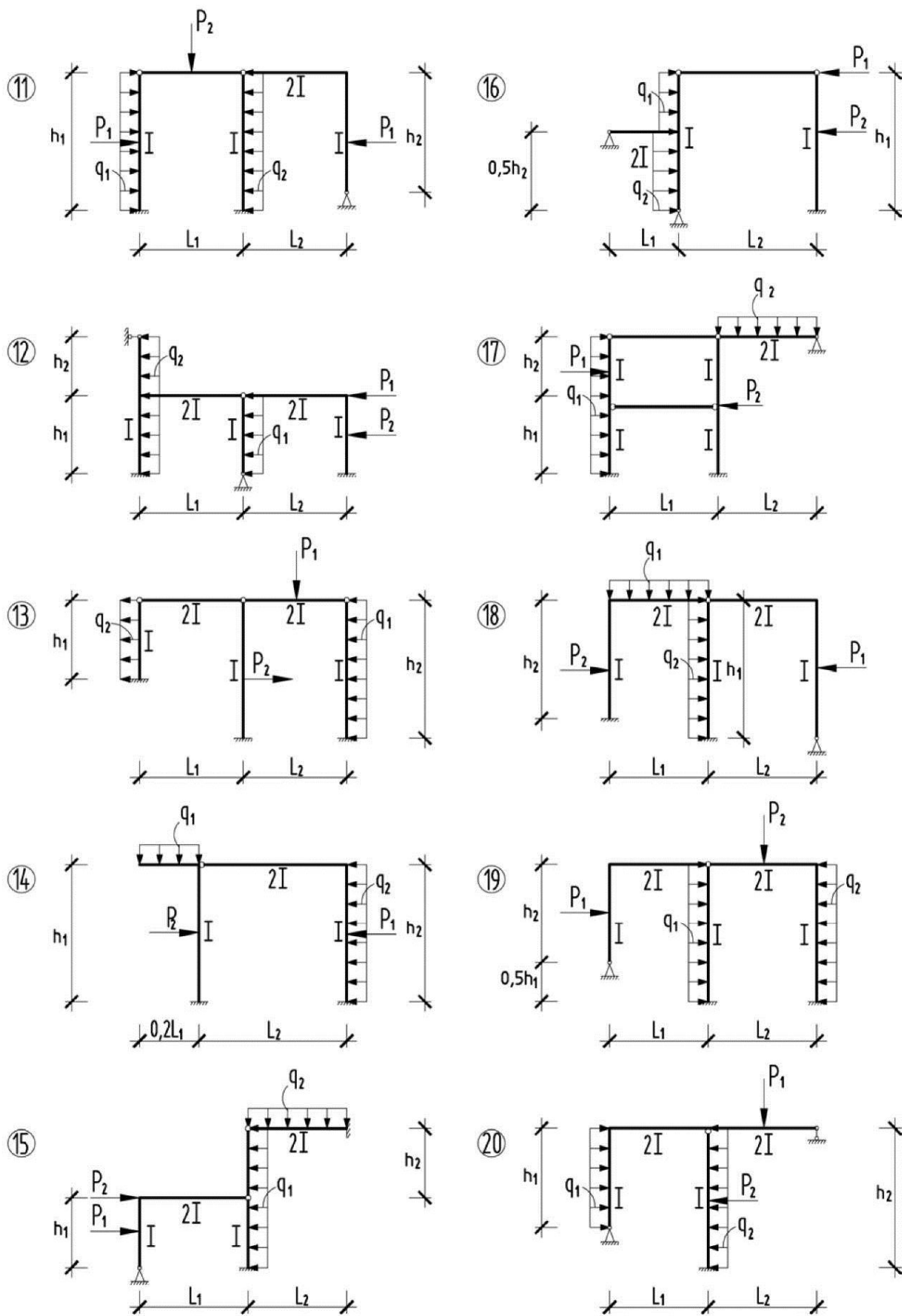


Рис. 5. Продолжение

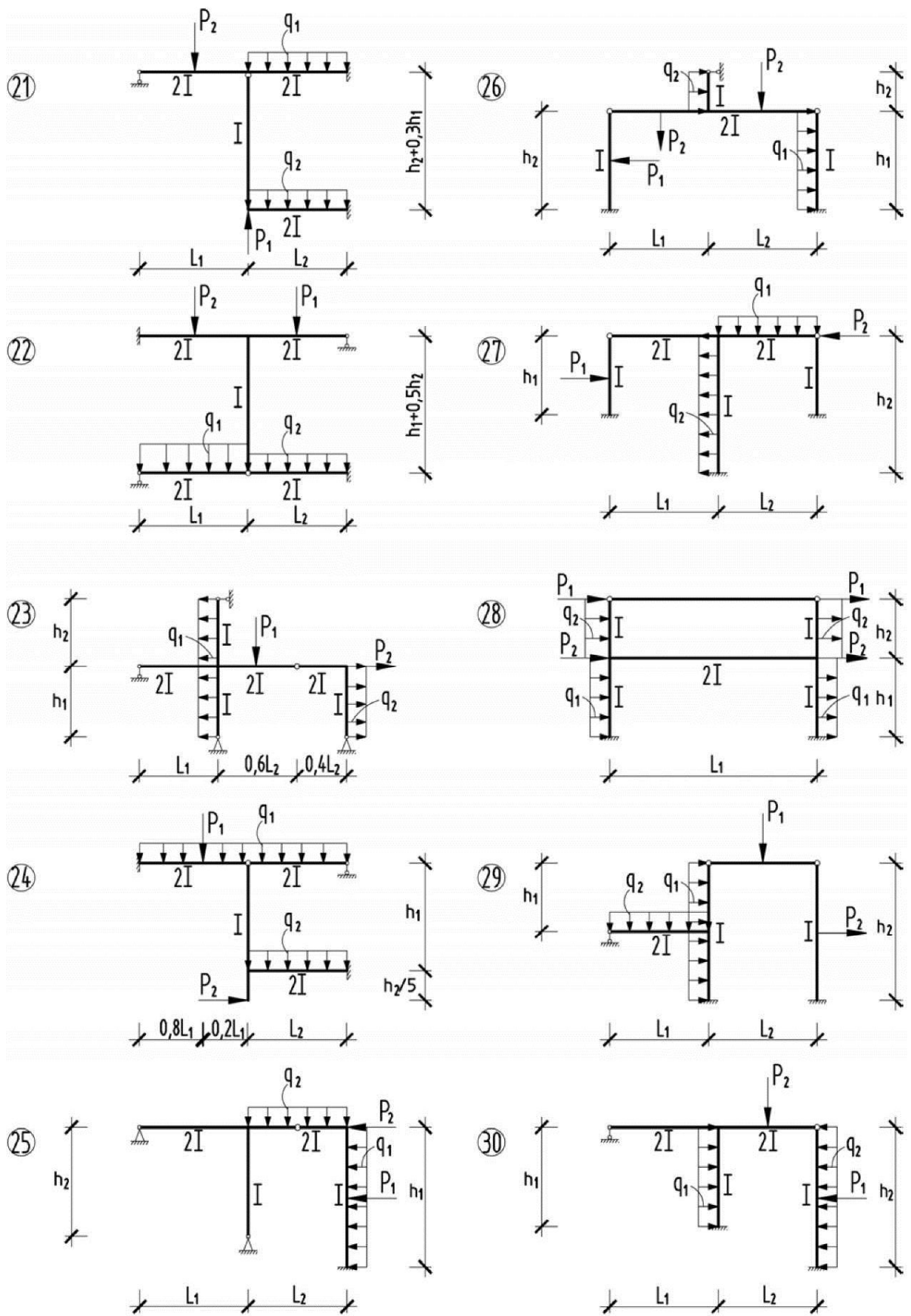


Рис. 5. Окончание

РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНАЯ РАБОТА № 5

Расчет плоской статически неопределимой рамы методом перемещений

Задание. Для рамы (см. табл. 5, рис. 5) требуется:

1. Определить степень кинематической неопределимости (число неизвестных метода перемещений).
2. Получить основную систему путем наложения на заданную систему дополнительных угловых и линейных связей. В основной системе указать погонные жесткости.
3. Составить канонические уравнения в общем виде.
4. Построить относительно основной системы:
 - а) эпюры от единичных перемещений дополнительных связей;
 - б) эпюру M_p от действия внешней нагрузки.При построении этих эпюр следует пользоваться таблицами, приведенными в прил. 2.
5. Показать определение реакций в дополнительных связях, т.е. коэффициентов и свободных членов канонических уравнений.
6. Найти решение системы уравнений и убедиться в их правильности.
7. «Исправить» эпюры от единичных перемещений связей.
8. Построить окончательную эпюру изгибающих моментов относительно заданной рамы.
9. Выполнить статическую и деформационную проверку эпюры M .
10. Построить эпюры поперечных Q и продольных N сил относительно заданной рамы.
11. Проверить правильность эпюр Q и N .

Методические указания

Основная система при расчете рам по методу перемещений образуется введением «фиктивных» (плавающих) заделок в каждый жесткий узел и опорных стержней, препятствующих смещениям узлов рамы. При подсчете коэффициентов и свободных членов канонических уравнений следует помнить, что реактивные усилия, возникающие в дополнительных связях, принимают положительными, т.е. совпадающими с направлением принятого перемещения соответствующей связи основной системы.

Для проверки полученных коэффициентов достаточно использовать правило:

$$r_{ik} = r_{ki} \text{ и } r_{ii} > 0.$$

При построении эпюры поперечных и продольных сил по эпюре изгибающих моментов необходимо руководствоваться методическими указаниями к расчетно-проектировочной работе № 4.

Проверкой правильности построения эпюр является равенство нулю суммы моментов в каждом узле рамы, равновесие рамы в целом и любой ее части.

Деформационная проверка эпюры M состоит в выполнении условия:

$$\sum \int_0^l \frac{M \cdot \bar{M}_s}{EI} dx = 0,$$

где \bar{M}_s – эпюра изгибающих моментов, построенная относительно основной системы метода сил, от одновременного нагружения силами $\bar{X}_1 = \bar{X}_2 = \dots = \bar{X}_n = 1$.

РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНАЯ РАБОТА № 6

Расчет неразрезной балки

Задание. Для неразрезной балки (табл. 6, рис. 6) требуется:

1. С помощью уравнений трех моментов найти опорные моменты и построить эпюры M и Q от постоянной нагрузки, показанной на схеме.
2. Проверить правильность эпюры моментов.
3. Найти реакции опор.
4. Выполнить статическую проверку эпюр и реакций опор.
5. Методом моментных фокусов построить эпюры моментов от последовательного нагружения каждого пролета и консоли временной нагрузкой $q_{вр}$.

Таблица 6

1-я цифра шифра	L_1 , м	q_2 , кН/м	L_4 , м	2-я цифра шифра	L_3 , м	q_1 , кН/м	P_2 , кН	c , м	3-я цифра шифра	L_2 , м	P_1 , кН	m , кН·м	$q_{вр}$, кН/м
0	5	8,0	3,0	0	6,2	6,8	10	0,8	0	6,0	5,5	11	1,2
1	5,2	8,2	3,2	1	6,4	10	9,0	0,6	1	5,8	5,6	10	1,4
2	5,4	8,4	3,4	2	6,6	12	8,0	1,0	2	5,6	5,7	9,0	1,6
3	5,6	8,6	3,6	3	6,8	10,4	12	1,2	3	5,4	5,8	9,6	1,8
4	5,8	8,8	3,8	4	6,0	10,5	14	1,4	4	5,2	6,0	9,8	2,0
5	4,8	9,0	4,0	5	4,0	10,6	15	1,5	5	5,0	6,8	9,5	2,2
6	4,6	7,2	4,5	6	4,8	12,5	16	0,8	6	6,5	7,8	9,4	2,4
7	4,4	7,4	5,5	7	4,5	12,8	18	1,0	7	3,5	7,5	13	2,6
8	6,0	7,6	5,6	8	4,6	6,0	20	1,2	8	6,4	7,6	14	2,8
9	4,2	7,8	3,0	9	4,2	5,8	7,0	0,6	9	4,8	8,0	15	3,0

В табл. 6 L_1, L_2, L_3, L_4 – длины соответствующих пролетов.

Методические указания

При составлении уравнений трех моментов для определения свободных членов или фиктивных реакций опор следует пользоваться таблицей фиктивных реакций (табл. 7).

Если в пролете действуют нагрузки различных видов, то используют принцип суперпозиций.

Когда в балке имеется нагруженная консоль, следует определить момент на крайней опоре и его значение подставить со своим знаком в уравнение трех моментов.

Решив систему канонических уравнений, на опорах откладывают величины опорных моментов и концы ординат последовательно соединяют между собой. Так получают эпюру $M_{оп}$. Окончательную эпюру моментов строят по формулам:

$$M = M_{оп} + M^0 \text{ и } M_K = M_K^0 + \frac{M_n \cdot x}{l_n} + \frac{M_{n-1} \cdot (l_n - x)}{l_n}.$$

Проверка эпюры M выполняется так же, как для любой статически неопределимой рамы (системы).

Эпюра Q строится с использованием формулы

$$Q_K = Q_K^0 + \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n}.$$

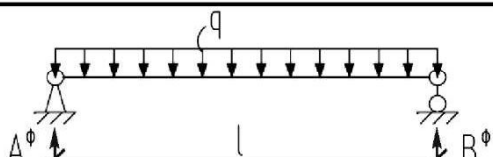
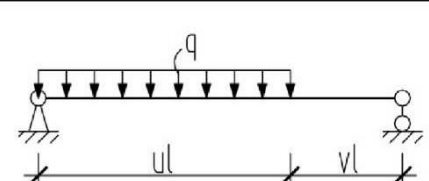
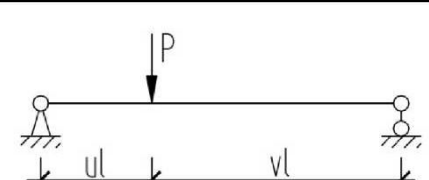
Если в пролете эпюра M прямолинейная, то можно использовать зависимость

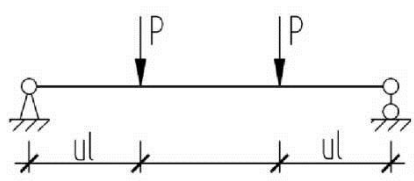
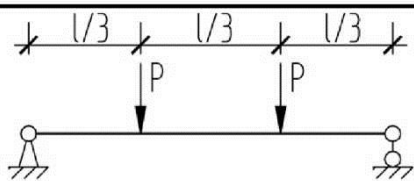
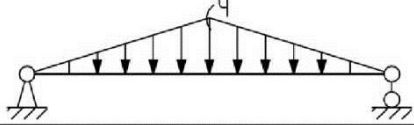
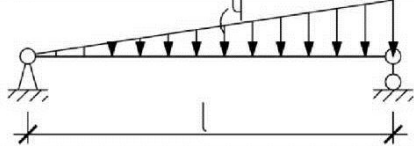
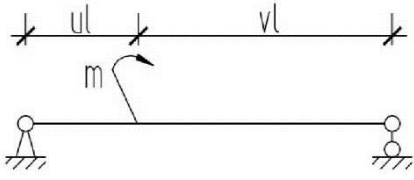
$$Q = \operatorname{tg} \alpha.$$

Эпюры изгибающих моментов от временной нагрузки ($q_{вр}$) следует строить в следующем порядке:

- а) эпюра M от нагружения левой консоли (если она имеется) временной равномерно распределенной нагрузкой;
- б) эпюра M от нагружения первого пролета временной нагрузкой и т.д.

Таблица 7

№ п/п	Схема нагружения	Фиктивные реакции опор	
		A^Φ	B^Φ
1		$\frac{ql^3}{24}$	$\frac{ql^3}{24}$
2		$\frac{ql^3}{24} u^2 (2-u)^2$	$\frac{ql^3}{24} u^2 (2-u^2)$
		При $u = v = 0,5$	
		$\frac{9ql^3}{384}$	$\frac{7ql^3}{384}$
3		$\frac{Pl^2}{6} uv(1+v)$	$\frac{Pl^2}{6} uv(1+u)$
		При $u = v = 0,5$	
		$\frac{Pl^2}{16}$	$\frac{Pl^2}{16}$

№ п/п	Схема загрузки	Фиктивные реакции опор	
		A ^Ф	B ^Ф
4		$\frac{Pl^2}{2}u(1-u)$	$\frac{Pl^2}{2}u(1-u)$
		При $u = 0,25$	
		$\frac{3Pl^2}{32}$	$\frac{3Pl^2}{32}$
5		$\frac{Pl^2}{9}$	$\frac{Pl^2}{9}$
6		$\frac{5}{192}ql^3$	$\frac{5}{192}ql^3$
7		$\frac{7}{360}ql^3$	$\frac{8}{360}ql^3$
8		$-\frac{ml}{6}(1-3v^2)$	$\frac{ml}{6}(1-3u^2)$
		При $u = v = 0,5$	
		$-\frac{ml}{24}$	$\frac{ml}{24}$

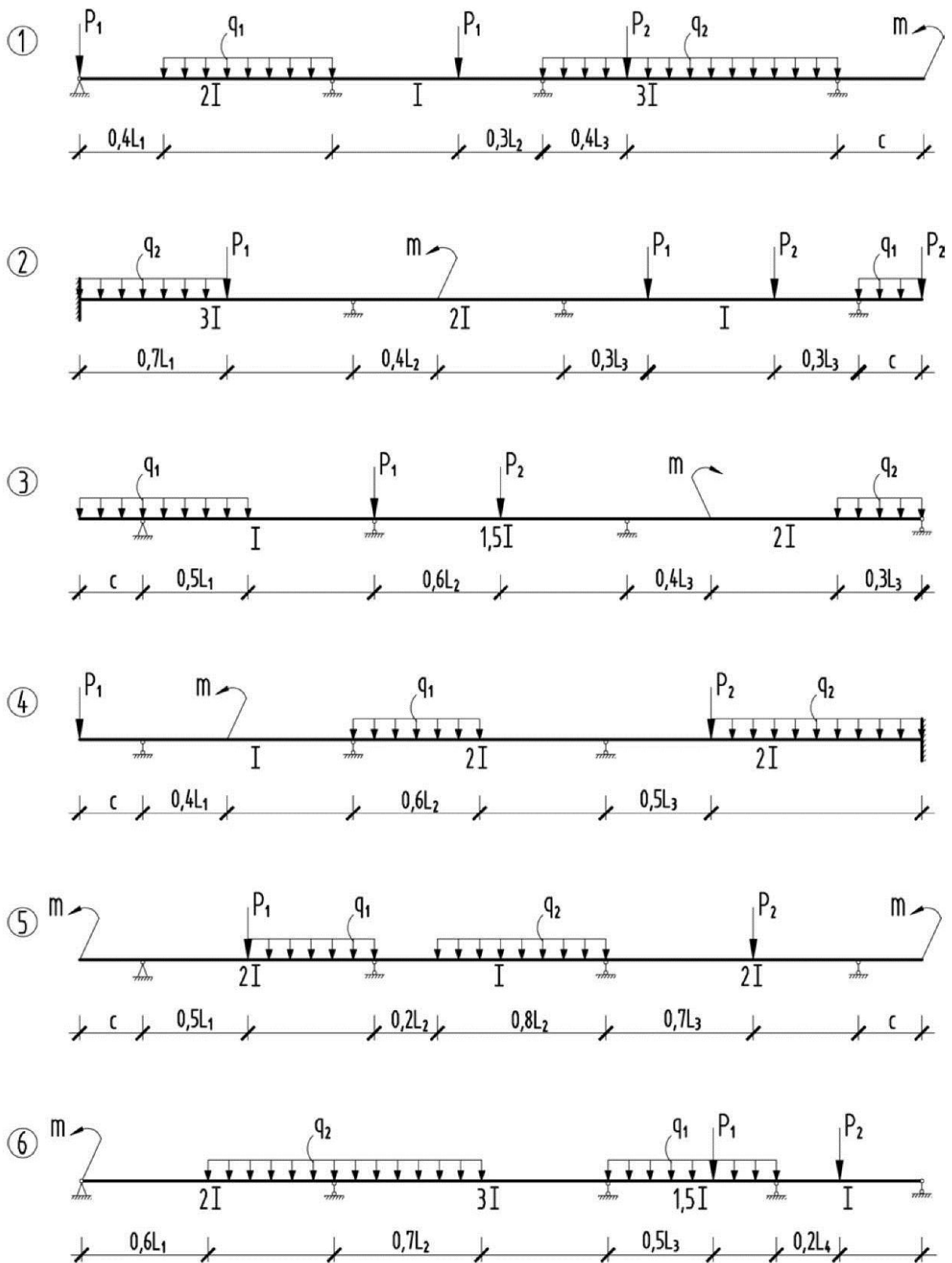


Рис. 6

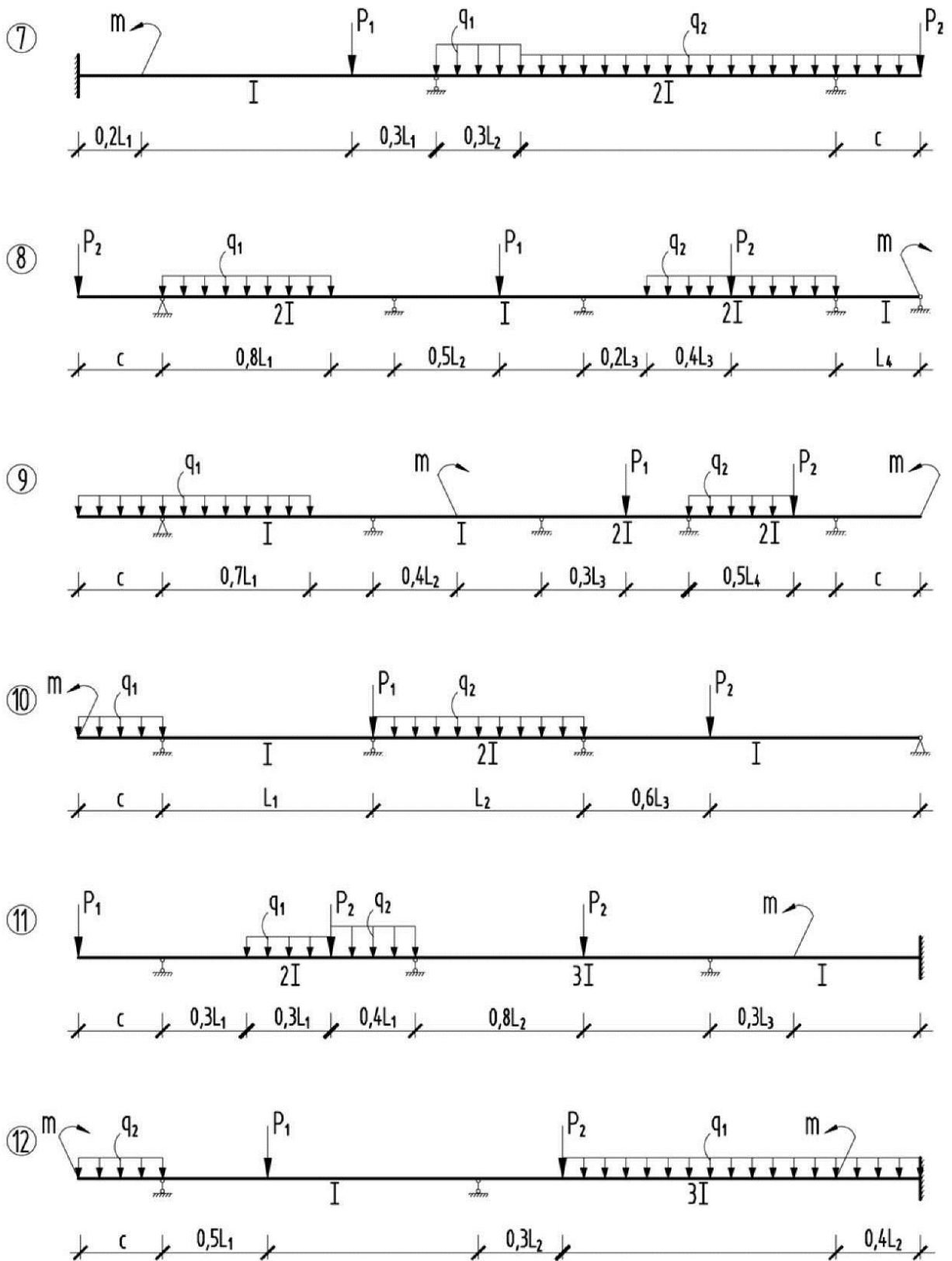


Рис. 6. Продолжение

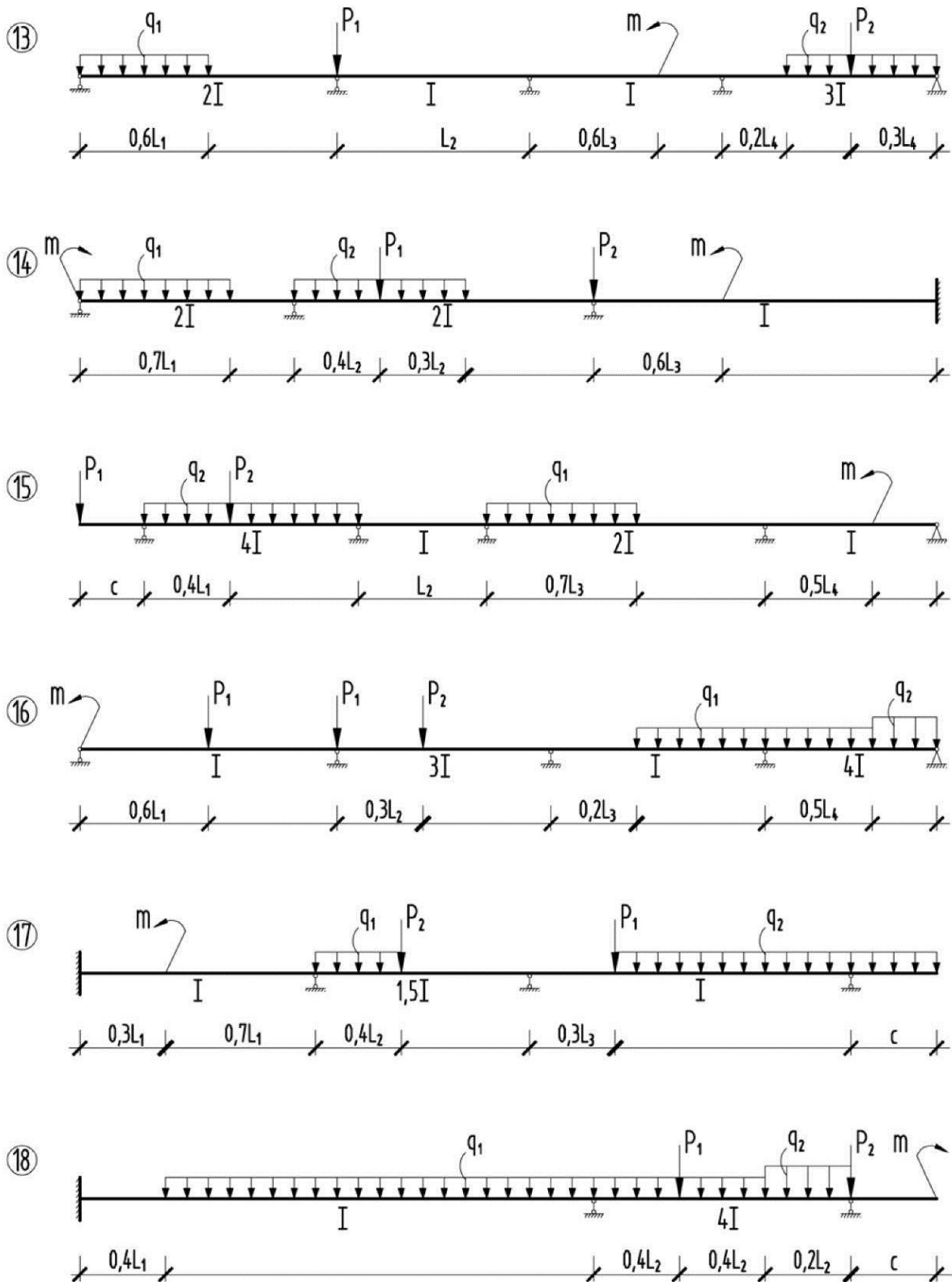


Рис. 6. Продолжение

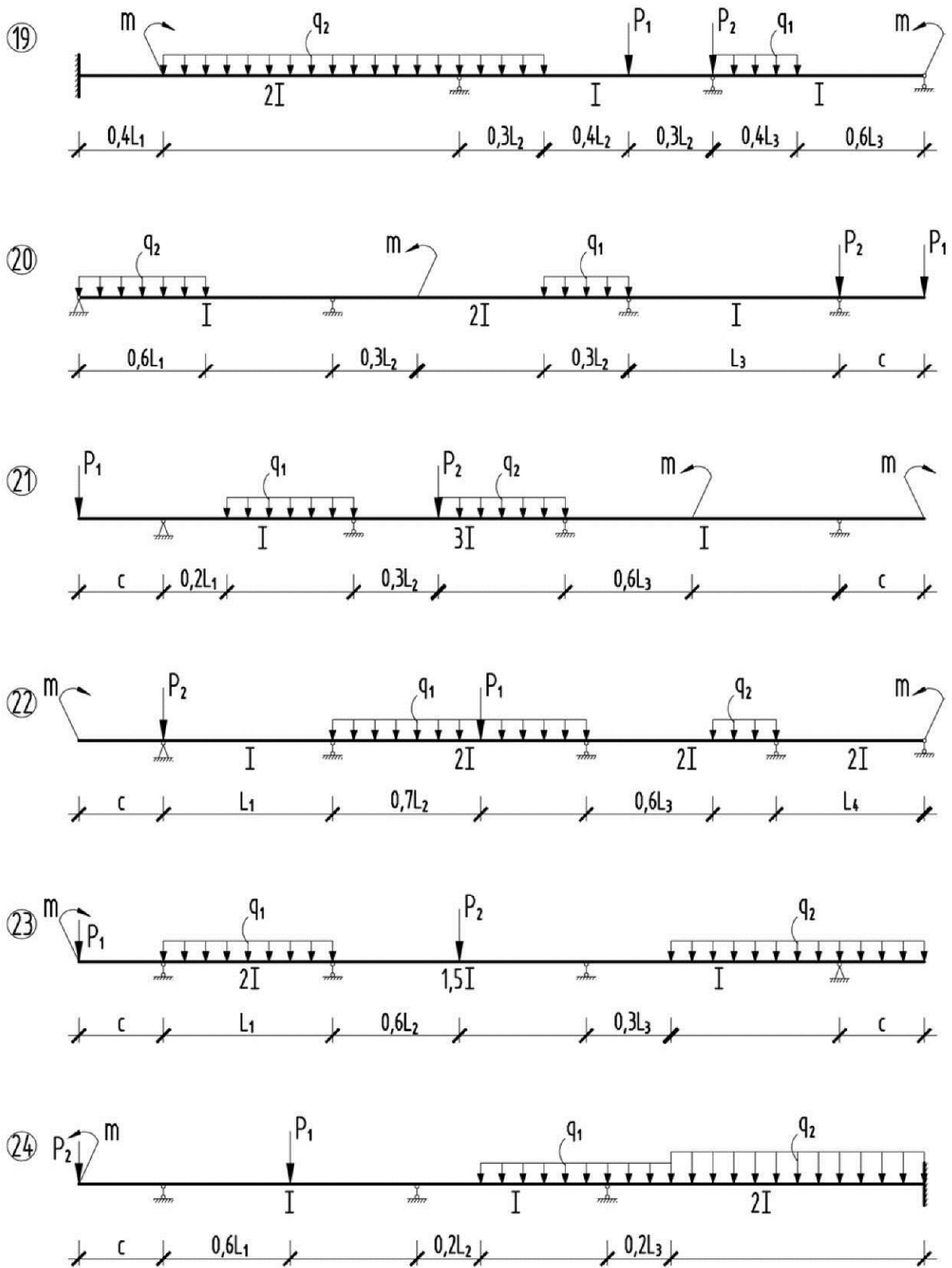


Рис. 6. Продолжение

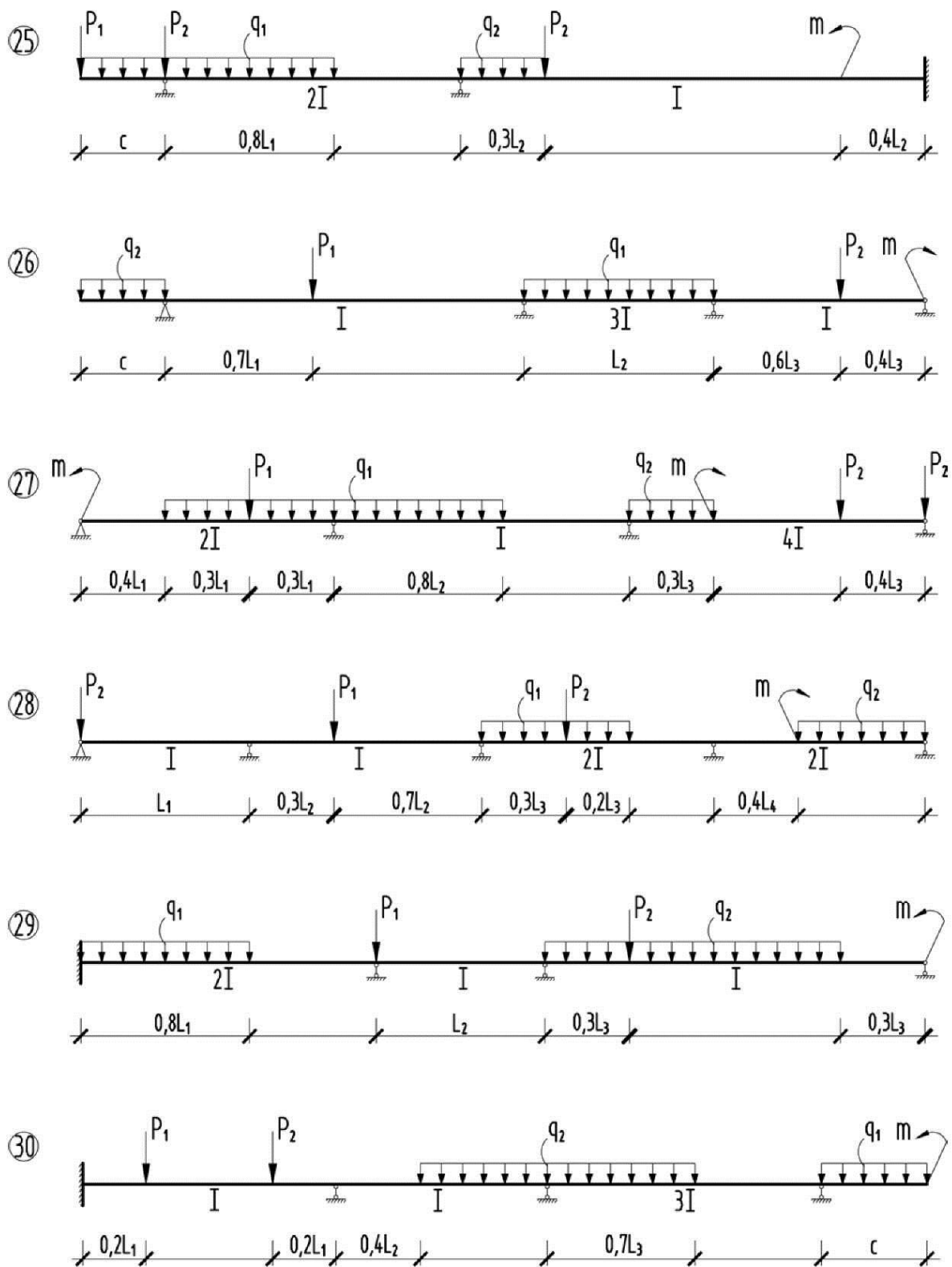


Рис. 6. Окончание

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

