

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
(Сопротивление материалов)**

Направление подготовки	08.03.01 Строительство
Направленность (профиль)	Проектирование зданий
Форма обучения	Очная

Ставрополь

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1

РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ – СЖАТИИ

Теоретическая часть

Условие прочности при растяжении (сжатии):

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{F_n} \leq R_Y \gamma_C \gamma_k \text{ или } \sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{F_n} \leq [\sigma], \quad (1.1)$$

где $\sigma_{\max}$ – максимальное напряжение, возникающее в конструкции или ее элементе при действии расчетных нагрузок;

$N_{\max}$ – расчетное усилие, возникающее в элементах конструкции от расчетных внешних нагрузок;

F_n – площадь нетто поперечного сечения элемента;

R_Y – расчетное сопротивление материала растяжению (сжатию);

γ_C – коэффициент условий работы;

γ_k – коэффициент надежности;

$[\sigma]$ – допускаемые напряжения для материала.

По условию прочности (1.1) можно выполнить три вида расчета на прочность: проверочный; определение расчетной нагрузки; проектный (прямого проектирования). Указанные виды расчетов на прочность относятся не только к растяжению (сжатию), но и к другим случаям деформации конструкций: изгибу, кручению, внецентренному сжатию и т. д.

Проверочный расчет состоит в проверке прочности, то есть в определении фактического напряжения в заданном элементе при известных

нагрузке, размерах поперечного сечения и материале и сравнении наибольшего напряжения с расчетным сопротивлением по формуле (1.1).

При этом фактическое напряжение не должно отличаться от расчетного сопротивления более чем на 3 – 5%, чтобы конструкция отвечала требованиям прочности и экономичности.

Определение расчетной нагрузки состоит в вычислении наибольшей внутренней силы по заданным размерам поперечного сечения, материалу и известному расчетному сопротивлению:

$$N_{\max} \leq F_n R_y \gamma_c \gamma_k. \quad (1.2)$$

Проектный расчет состоит в определении требуемых размеров поперечного сечения элемента при известной нагрузке, материале и расчетном сопротивлении:

$$F_{TP} \geq \frac{N_{\max}}{R_y \gamma_c \gamma_k}. \quad (1.3)$$

Аналогично три вида указанных задач решаются при расчетах на жесткость и устойчивость. Строительные конструкции по способу расчета делятся на две группы: статически определимые и статически неопределимые системы.

Статически определимыми называются такие системы, рассчитать которые возможно только по уравнениям статического равновесия. На данном занятии рассмотрим расчет на прочность при растяжении (сжатии) статически определимых систем. Будем считать, что внешние заданные нагрузки представляют собой расчетные нагрузки, то есть нормативные нагрузки, умноженные на коэффициенты перегрузки.

Пример 1.1

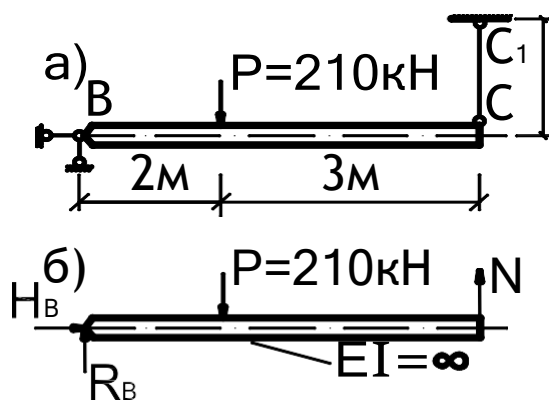


Рисунок 1.1

Абсолютно жесткий (недеформируемый) брус BC в точке B опирается на шарнирно-неподвижную опору и в точке C подвешен на стальном стержне CC_1 . Брус нагружен сосредоточенной силой $P = 210 \text{ кН}$ (рисунок 1.1 а). Определить усилие

в стержне CC_1 и вычислить площадь его поперечного сечения, если $R_y = 210 \text{ МПа}$, $\gamma_c = 1$, $\gamma_k = 1$.

Решение

Разрежем стержень CC_1 и отбросим его верхнюю часть, а также отбросим шарнирно-неподвижную опору в точке B . Влияние отброшенных частей заменим силами: внутренней продольной силой N и двумя реакциями R_B и H_B (рисунок 1.1 б).

Таким образом, на отброшенную часть BC действуют три неизвестных силы, которые однозначно определяются из трех уравнений статического равновесия. Следовательно, данная система является статически определимой.

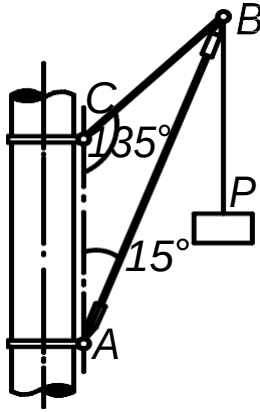
Так как по условию задачи не требуется находить реакции R_B и H_B , то подберем такое уравнение равновесия, из которого можно сразу определить продольную силу N : $\sum M_B = -P \cdot 2 + N \cdot 5 = 0$, откуда

$$N = P \cdot \frac{2}{5} = 2 \cdot \frac{210}{5} = 84 \text{ кН}.$$

Требуемая площадь поперечного сечения стального стержня равна:

$$F_{TP} \geq \frac{N_{\max}}{R_Y \gamma_c \gamma_k} = \frac{84 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^6 \cdot 1.1} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 4 \text{ см}^2.$$

Пример 1.2



Мачтовый кран состоит из мачты, стрелы AB , прикрепленной к мачте шарниром A , троса CB . К концу стрелы подвешен груз $P = 2$ кН. Стрела выполнена из стальной трубы 20×18 мм, площадь поперечного сечения троса CB равна $0,1$ см². Вычислить нормальные напряжения в тросе и стреле (рисунок 1.2).

Рисунок 1.2

Решение

Раскладываем силу P по направлениям AB и CB :

$$N_{AB} = -2830 \text{ Н (сжатие)},$$

$$N_{CB} = 1040 \text{ Н (растяжение)}.$$

Напряжения в стреле и в тросе вычислим по формуле $\sigma = \frac{N}{F}$:

$$\sigma_{AB} = \frac{N_{AB}}{F_{AB}} = \frac{-2830}{\frac{\pi (20^2 - 18^2)}{4}} = -47,5 \text{ МПа}; \quad \sigma_{CB} = \frac{N_{CB}}{F_{CB}} = \frac{1040}{10} = 104 \text{ МПа}.$$

Задания

Задание 1.1

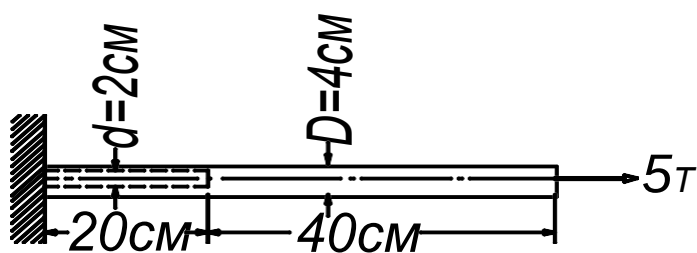


Рисунок 1.3

Изображенный на рисунке 1.3 стальной стержень имеет в правой части сплошное круглое, а в левой части кольцевое сечение. Определить напряжения в обеих частях

стержня.

Задание 1.2

Полиэтиленовая трубка кольцевого поперечного сечения имеет наружный диаметр 5 см. Она растянута силой 2400 Н. Определить необходимую толщину стенки при допускаемом напряжении 3,4 МПа.

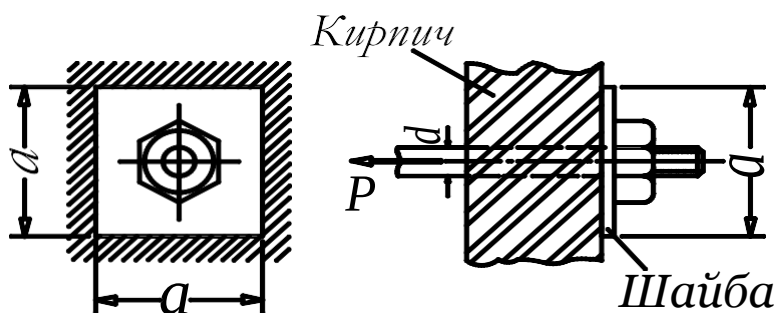


Рисунок 1.4

Задание 1.3

Стяжка диаметром $d = 30$ мм растянута усилием P (рисунок 1.4), вызывающим в ней

напряжение 80 МПа. Чему должна равняться сторона a квадратной шайбы, если допускаемое напряжение на смятие (местное сжатие) кирпичной кладки равно 1 МПа?

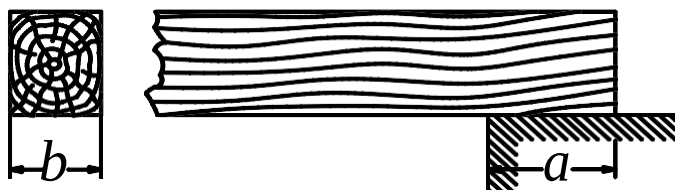


Рисунок 1.5

Задание 1.4

Деревянный брус шириной $b = 15$ см опирается на кирпичную кладку

(рисунок 1.5). Через конец бруса на кладку передается усилие 3 т. На какую длину a нужно завести брус на кладку, если допускаемое напряжение на смятие древесины бруса поперек волокон 1,2 МПа, а допускаемое напряжение смятия кладки 1 МПа? Усилие полагать равномерно распределенным по поверхности контакта.

Задание 1.5

Трос растянут усилием 7,5 кН. Он состоит из проволок диаметром 2 мм. Допускаемое напряжение для троса, учитывая наклон проволок в нем, равно $[\sigma] = 3000 \text{ кг/см}^2$. Определить число проволок в тросе.

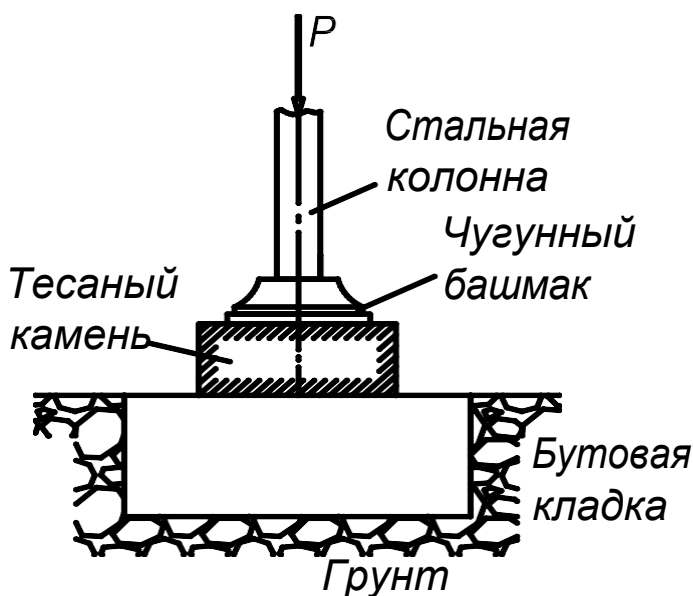


Рисунок 1.6

Задание 1.6

Поперечные сечения отдельных частей конструкции, изображенной на рисунке 1.6, представляют собой квадраты. Определить размеры сечений

при следующих допускаемых напряжениях на сжатие: для стали $[\sigma_{ст}] = 300 \text{ МПа}$, для чугуна $[\sigma_{ч}] = 100 \text{ МПа}$, для тесаного камня $[\sigma_{к}] = 4 \text{ МПа}$, для бутовой кладки $[\sigma_{б}] = 1,5 \text{ МПа}$, для грунта (песок) $[\sigma_{гр}] = 0,5 \text{ МПа}$. Нагрузка $P = 1000 \text{ кН}$, собственным весом частей конструкции пренебречь.

Задание 1.7

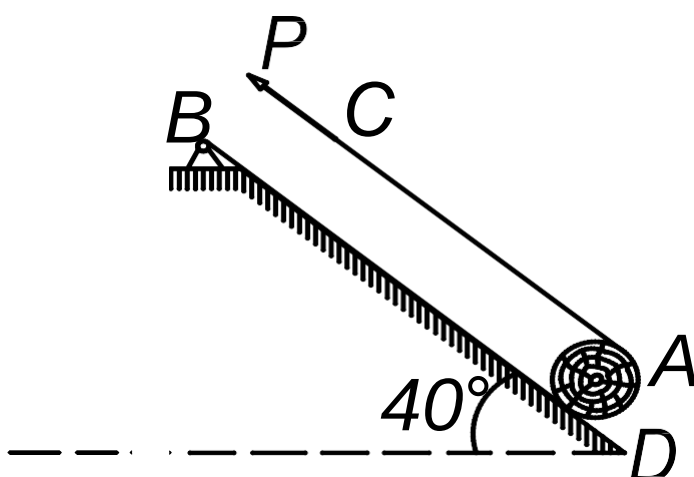
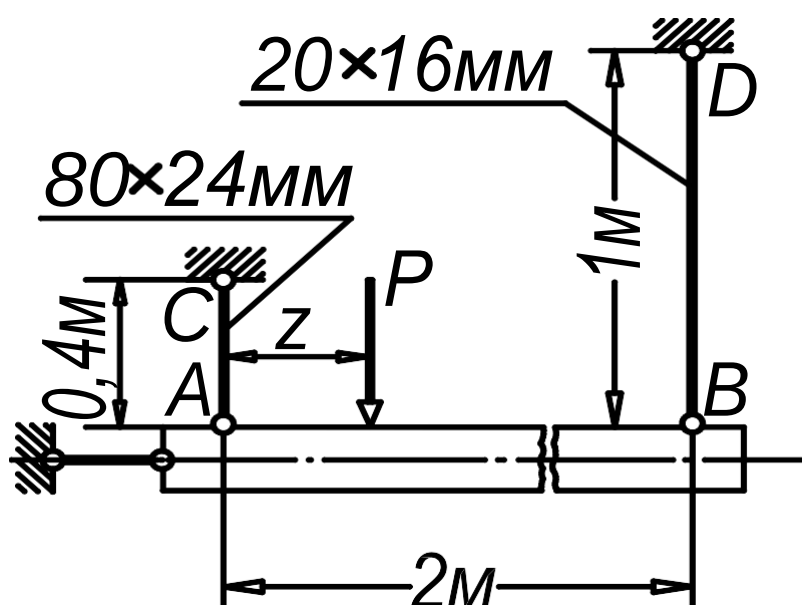


Рисунок 1.7

Бревно A при помощи двух канатов BAC , расположенных по концам бревна, поднимается по наклонной плоскости BD (рисунок 1.7). Концы нижних ветвей канатов закреплены, как показано на рисунке. К концам

верхних ветвей канатов приложены силы P . Проверить прочность канатов, если вес бревна 3 кН , рабочая площадь поперечного сечения каната $1,17 \text{ см}^2$ и допускаемое напряжение для него $[\sigma] = 5,5 \text{ МПа}$. Силы трения не учитываются.

Задание 1.8*¹



¹ Здесь и далее по тексту методических указаний символом * отмечены задачи повышенной сложности.

жесткий брус

подвешен на двух трубчатых тягах AC 30×24 мм и BD 20×16 мм (рисунок 1.8). Вычислить, на каком расстоянии z от точки A следует приложить груз P , чтобы при деформации тяг брус оставался горизонтальным. Деформацией бруса пренебречь, при решении задачи используйте условие равенства удлинений стержней AC и BC .

Задание 1.9*

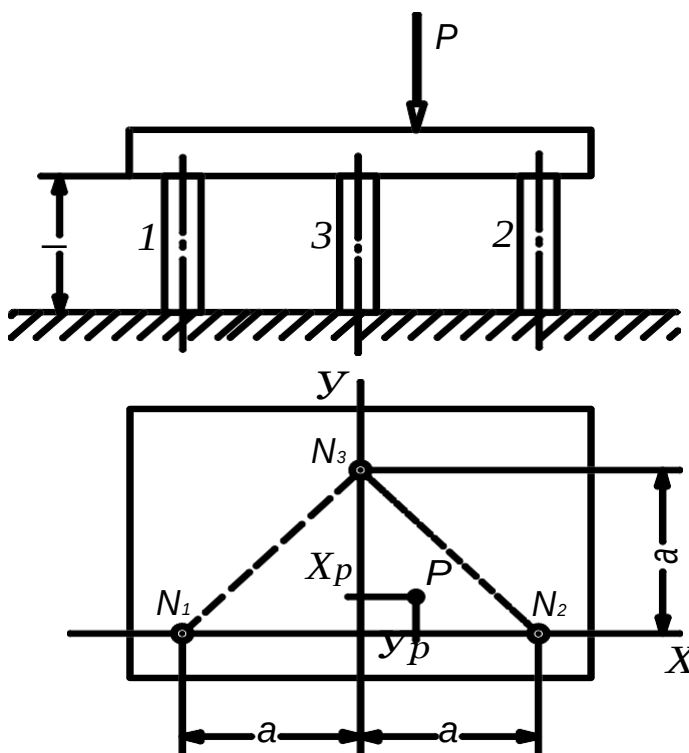


Рисунок 1.9

Массивная плита опирается на три вертикальных коротких стержня одинакового диаметра (рисунок 1.9). Определить, в какой точке должен быть приложен груз P , чтобы при деформации стержней плита перемещалась поступательно.

Рассмотреть два случая: а) все стержни стальные, б) стержень 1 стальной ($E_{CT} = 2 \cdot 10^5$ МПа), стержень 2 медный ($E_M = 1,1 \cdot 10^5$ МПа), стержень 3 дюралевый ($E_D = 0,7 \cdot 10^5$ МПа).

Вопросы к практическому занятию

1. Сформулируйте условие прочности при растяжении (сжатии)
2. Назовите методы расчета строительных конструкций.

3. В чем заключается метод расчета по допускаемым напряжениям?
4. Какие типы задач можно решить, используя условие прочности?
5. В чем заключается проектный расчет?
6. Как определяется расчетная нагрузка?
7. В чем заключается проверочный расчет?
8. Какие системы называются статически определимыми?
9. Решить задачу по указанию преподавателя.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ – СЖАТИИ

Теоретическая часть

Растяжением или сжатием называется такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях нагруженного элемента возникают внутренние усилия, приводимые к равнодействующей, направленной вдоль продольной оси z . Эта равнодействующая называется продольной силой и обозначается N_z . Брус, работающий преимущественно на растяжение или сжатие, принято называть стержнем.²

Из условия равновесия отсеченной части бруса следует, что продольная сила N_z в произвольном поперечном сечении численно равна алгебраической сумме проекций на ось бруса z внешних сил, действующих по одну сторону от рассматриваемого сечения.

² Во многих учебных и справочных пособиях термин «стержень» используют взамен термина «брус» при всех видах деформаций.

Продольную силу, вызывающую растяжение, считают положительной (рисунок 2.1); продольную силу, вызывающую сжатие – отрицательной (рисунок 2.2).

Для определения значений внутренних усилий в поперечных сечениях бруса строят эпюры продольных сил. Эпюра продольных сил N_z представляет собой график, выражающий изменение величины продольной силы N_z по длине стержня.

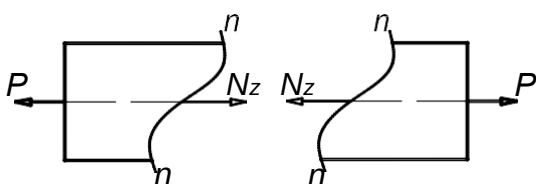


Рисунок 2.1

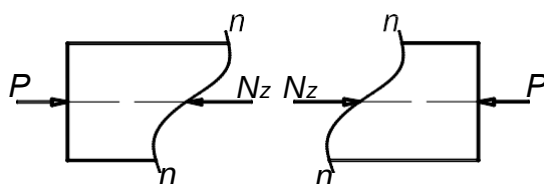


Рисунок 2.2

Для построения эпюр внутренних усилий при растяжении – сжатии используют метод сечений:

1) определяют опорные реакции (для консольной схемы нагружения опорные реакции можно не определять);

2) разбивают стержень на участки нагружения, в пределах которых закон распределения внутренних усилий в поперечном сечении стержня не меняется; границами участков нагружения являются начало и конец стержня, а также сечения, в которых:

- приложены сосредоточенные силы,
- начинается и заканчивается действие распределенной нагрузки,
- изменяется площадь поперечного сечения стержня;

3) рассекают стержень произвольным сечением в пределах первого участка нагружения;

4) отбрасывают часть стержня, содержащую большее количество внешних нагрузок (для консольной схемы нагружения следует отбросить

часть стержня, содержащую жесткую заделку, если опорная реакция предварительно не определялась);

5) заменяют действие отброшенной части стержня внутренним усилием – продольной силой N_{zi} (в тех случаях, когда направление силы N_{zi} неизвестно, следует принимать ее положительной, то есть растягивающей, и направлять на схеме вектор N_{zi} от сечения);

6) составляют уравнение равновесия, из которого определяют величину и направление продольной силы N_{zi} (если после решения уравнения сила N_{zi} получилась со знаком плюс, то стержень в данном сечении растянут, со знаком минус – сжат);

7) выполняют пункты 3 – 6 для каждого участка нагружения;

8) по расчетным значениям строят эпюру продольных сил N_z ; для построения эпюры продольных сил проводят прямую, параллельную оси бруса (нулевую или базовую линию), перпендикулярно к которой откладываются ординаты, изображающие в некотором масштабе величины продольных сил в соответствующих сечениях стержня; положительные значения продольной силы откладывают выше, а отрицательные – ниже нулевой линии; заштриховывают эпюру тонкими вертикальными линиями, а внутри поля эпюры в кружке указывают знак (плюс или минус);

9) определяют значения нормальных напряжений для каждого участка нагружения стержня по формуле

$$\sigma_i = \frac{N_{zi}}{F_i}, \quad (2.1)$$

где σ_i – нормальное напряжение на i -м участке стержня;

N_{zi} – значение продольной силы на i -м участке; в формулу (2.1) значения продольной силы следует подставлять с учетом знака;

F_i – площадь поперечного сечения стержня на рассматриваемом участке стержня;

10) по данным расчетов пункта 9 строят эпюру нормальных напряжений;

11) построенные эпюры продольных сил и нормальных напряжений следует проверить на соответствие следующим правилам:

- в сечениях, где приложены сосредоточенные силы, на эпюре продольных сил возникают «скачки» (мгновенные изменения значения продольной силы), численно равные приложенной силе и направленные вверх, если сила вызывает растяжение и вниз, если приложенная сила вызывает сжатие;

- «скачки» на эпюрах нормальных напряжений возникают в тех же сечениях, что и на эпюрах продольных сил, а также дополнительно в сечениях, где изменяется площадь поперечного сечения стержня;

- если на участке нагружения отсутствует распределенная нагрузка, эпюры продольных сил и нормальных напряжений для данного участка ограничены прямыми, параллельными оси стержня;

- знак нормальных напряжений на каждом участке нагружения соответствует знаку продольной силы для этого участка;

12) из анализа эпюры нормальных напряжений определяют опасное сечение; при растяжении (сжатии) опасным считается сечение или участок стержня, в котором нормальные напряжения максимальны по абсолютной величине (по модулю).

Пример 2.1

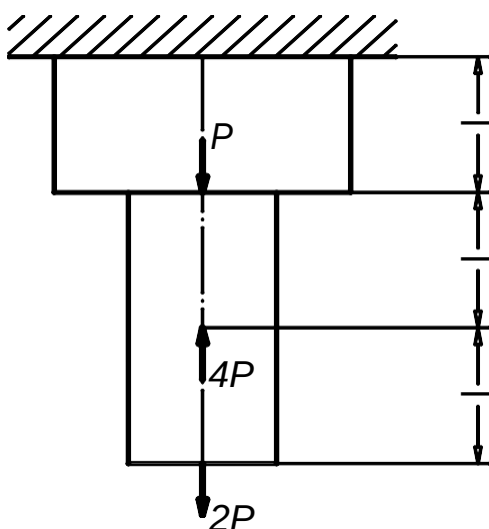


Рисунок 2.3

Для ступенчатого стержня, неподвижно заделанного в одном сечении и нагруженного сосредоточенными силами, как показано на расчетной схеме (рисунок 2.3), требуется построить эпюры продольных сил N_z и нормальных напряжений σ ; определить опасное сечение.

Решение

Величину продольной силы N_z определим методом сечений. Для этого разобьем стержень на участки нагружения, начиная от сечения, максимально удаленного от закрепления. Границами участков нагружения будем считать сечения, в которых приложены внешние силы, а также сечения, в которых изменяются размеры поперечного сечения стержня (на рисунке 2.4 а эти участки отмечены римскими цифрами). Проведем произвольное сечение $I-I$ на участке I и, отбросив верхнюю часть стержня, рассмотрим условие равновесия оставшейся (нижней) части, изображенной отдельно на рисунке 2.4 б). На оставшуюся часть действует сила P_1 и искомое усилие N_{z1} . Направление вектора N_{z1} на схеме выбрано произвольно. Для оставшейся части стержня сумма проекций всех сил на ось z запишется в виде

$$N_{z_1} = 2P.$$

Продольная сила N_{z1} получилась со знаком «плюс», значит она действительно направлена от сечения, как и было предварительно принято (рисунок 2.4 б); таким образом, первый участок стержня испытывает растяжение.

Проведем произвольное сечение $II-II$ на участке II , отбросим верхнюю часть стержня и рассмотрим равновесие оставшейся нижней части,

изображенной отдельно на рисунке 2.4 в. На оставшуюся часть действуют силы $2P$ и $4P$ и искомое усилие N_{z2} . Проецируя эти силы на ось z , получаем

$$N_{z_2} = 2P - 4P = -2P.$$

Знак «минус» указывает, что в действительности сила N_{z2} направлена к сечению, а не от сечения, как было предположено ранее (рисунок 2.4 в). Следовательно, участок II испытывает сжатие.

Проведем произвольное сечение $III-III$ на участке III , отбросим верхнюю часть стержня и рассмотрим равновесие оставшейся нижней его части, изображенной отдельно на рисунке 2.4 д. На оставшуюся часть действуют силы $2P$, $4P$ и P и искомое усилие N_{z3} . Проецируя эти силы на ось z , получаем

$$N_{z_3} = -4P + 2P + P = -P.$$

Знак «минус» указывает, что первоначальное предположение о том, что сила N_{z3} направлена от сечения, неверно.

Построим график (эпюру), показывающий, как меняется продольная сила по длине стержня. Проведя ось абсцисс графика параллельно оси стержня, откладываем в произвольно выбранном масштабе найденные значения продольных сил по оси ординат. Положительные значения продольных сил откладывают вправо от оси эпюры, а отрицательные – влево (рисунок 2.4 д).

Эпюру нормальных напряжений получим, разделив значения N_z для каждого участка на величины соответствующих площадей поперечных сечений стержня (рисунок 2.4 е).

$$\text{Для первого участка } \sigma_1 = \frac{N_z}{F_1} = \frac{2P}{F}.$$

Для второго участка $\sigma_{II} = \frac{N_{z2}}{F_{II}} = -\frac{2P}{F}$.

Для третьего участка $\sigma_{III} = \frac{N_{z3}}{F_{III}} = -\frac{P}{2F} = -\frac{0,5P}{F}$.

Построим график (эпюру), показывающий, как меняется нормальное напряжение по длине стержня. Проведя ось абсцисс графика параллельно оси стержня, откладываем в произвольно выбранном масштабе найденные значения нормальных напряжений по оси ординат. Положительные значения нормальных напряжений откладывают вправо от оси эпюры, а отрицательные – влево (рисунок 2.4 е). Построенные таким образом эпюры заштриховываются тонкими линиями, перпендикулярными оси стержня.

В сечениях, где приложены внешние силы, значения продольной силы на эпюре (рисунок 2.4 д) меняются скачкообразно. На эпюре нормальных напряжений скачкообразное изменение значений наблюдается еще и в сечениях, где изменяется площадь поперечного сечения стержня (рисунок 2.4 е).

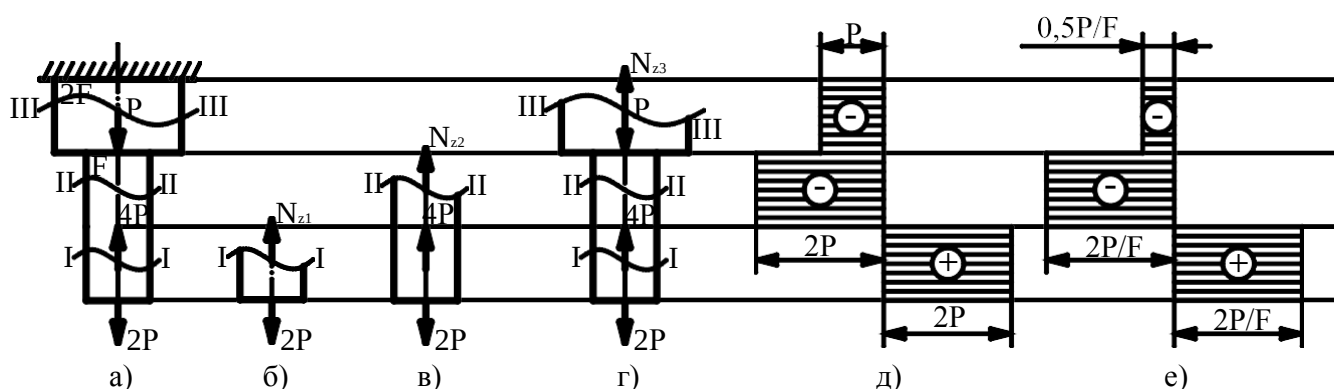


Рисунок 2.4

Задания

Задание 2.1

Для ступенчатого стержня, изображенного на схеме 1 (таблица 2.1), построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений, определить опасное сечение. Каждый студент выбирает задание для самостоятельного выполнения по цифрам индивидуального шифра, выданного преподавателем в начале семестра. Как правило, шифром является номер зачетной книжки. Индивидуальный шифр действует при выборе заданий на всех практических занятиях по сопротивлению материалов.

Задание 2.2

Для ступенчатого стержня, изображенного на расчетной схеме 2 (таблица 2.1), построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений, определить опасное сечение.

Задание 2.3

Для ступенчатого стержня, изображенного на расчетной схеме 3 (таблица 2.1), построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений, определить опасное сечение. Проверить прочность стержня в опасном сечении, если площадь поперечного сечения $F = 20 \text{ см}^2$, усилие $P = 50 \text{ кН}$, допускаемые напряжения для материала стержня $[\sigma] = 100 \text{ МПа}$.

Задание 2.4*

Для ступенчатого стержня, изображенного на расчетной схеме 1 (таблица 2.1), построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений для случая, когда жесткая заделка располагается в верхнем и в нижнем сечениях стержня, определить опасное сечение. Сделать вывод о влиянии условий опирания на распределение усилий в стержне и на положение опасного сечения.

Вопросы к практическому занятию

1. Какой вид деформации называется растяжением (сжатием)?
2. Что называется эпюрой продольных сил? Что называется эпюрой нормальных напряжений?
3. Как определяется знак продольной силы? Как определяется знак нормальных напряжений?
4. Как определить опасное сечение стержня при растяжении (сжатии)?
5. Каким методом пользуются при построении эпюр произвольно нагруженных стержней? Сформулируйте правила проверки правильности построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений при растяжении (сжатии).
6. Постройте эпюры продольных сил и нормальных напряжений для стержня, схема нагружения которого задана преподавателем.

Таблица 2.1

Номер схемы	Схема к заданию 2.1	Схема к заданию 2.2	Схема к заданию 2.3
0			
1			
2			
3			

Продолжение таблицы 2.1

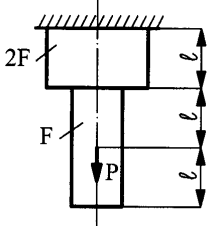
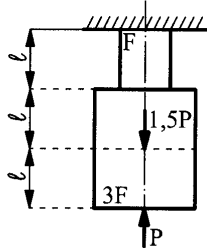
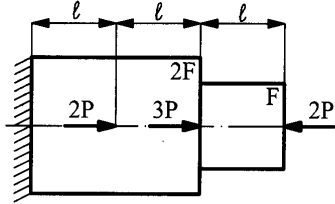
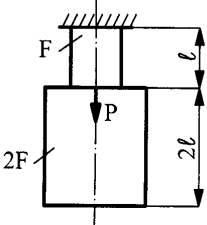
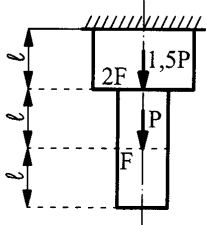
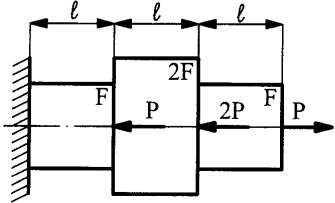
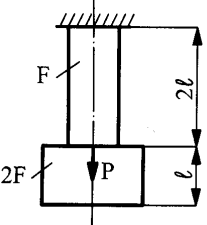
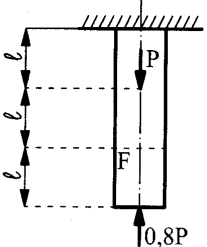
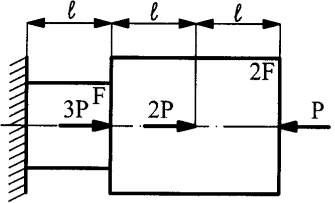
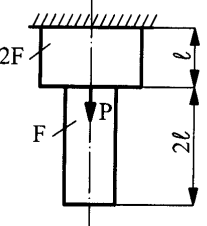
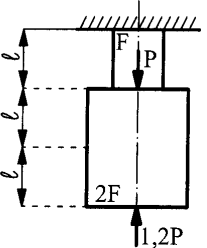
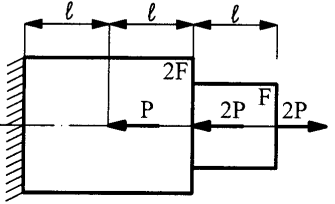
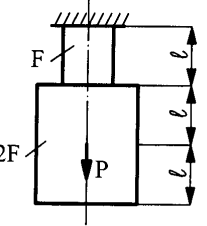
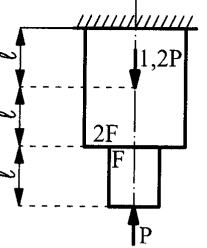
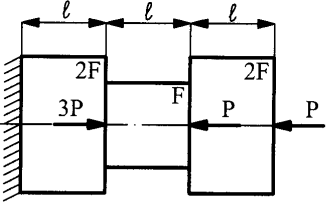
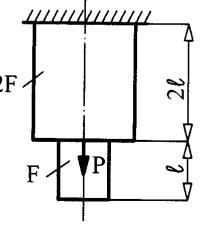
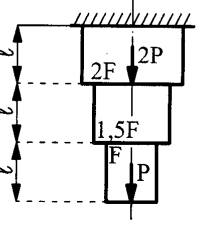
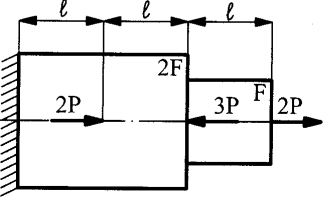
4			
5			
6			
7			
8			
9			

Таблица 2.2

Номер варианта	Схема к заданию 2.1 (таблица 2.1)	Схема к заданию 2.2 (таблица 2.1)	Схема к заданию 2.3 (таблица 2.1)
1	1	3	10
2	2	4	9
3	3	5	8
4	4	6	7
5	5	7	6
6	6	8	5
7	7	9	4
8	8	10	3
9	9	1	2
10	10	2	1
11	1	4	9
12	2	5	8
13	3	6	7
14	4	7	6
15	5	8	5
16	6	9	4
17	7	10	3
18	8	3	2
19	9	2	1
20	10	1	10
21	1	2	8

22	2	3	7
23	3	4	6
24	4	5	5
25	5	6	4
26	6	7	3
27	7	8	2
28	8	9	1
29	9	10	8
30	10	5	6
31	1	6	5
32	2	7	4
33	3	8	3
34	4	9	2
35	5	10	1
36	6	1	10

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ПРИ КРУЧЕНИИ

Теоретическая часть

Под кручением понимается такой вид деформации, при котором в поперечных сечениях бруса возникает только крутящий момент. Кручение прямого бруса происходит при нагружении его внешними скручивающими моментами, действующими в плоскости поперечного сечения бруса. Брус, работающий в основном на кручение, называется валом.

Знак крутящего момента не имеет физического смысла, и общепринятого правила знаков не существует. При построении эпюр крутящих моментов для удобства построения условимся считать, что внешние скручивающие моменты, действующие на оставшуюся часть вала против часовой стрелки, если смотреть со стороны сечения (разреза), вызывают в этом сечении положительный крутящий момент, а действующие по часовой стрелке – отрицательный.

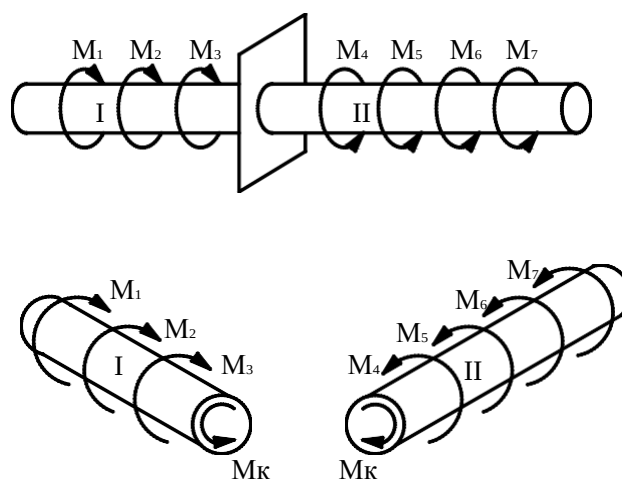


Рисунок 3.1

Для построения эпюры крутящих моментов используют метод сечений, считая крутящий момент в произвольном сечении численно равным алгебраической сумме внешних скручивающих моментов, приложенных по одну сторону от сечения. Для построения эпюр крутящих моментов произвольно нагруженного вала:

1) определяют опорные реакции (для консольной схемы нагружения опорные реакции можно не определять);

2) разбивают вал на участки нагружения, в пределах которых закон распределения внутренних усилий в поперечном сечении вала не меняется; границами участков нагружения являются начало и конец вала, а также сечения, в которых:

- приложены внешние скручивающие моменты,

- начинается и заканчивается действие распределенной нагрузки,
- изменяется форма и размеры поперечного сечения вала;

3) рассекают вал произвольным сечением в пределах первого участка нагружения;

4) отбрасывают часть вала, содержащую большее количество внешних нагрузок (для консольной схемы следует отбросить часть вала, содержащую жесткую заделку, если опорная реакция предварительно не определялась);

5) заменяют действие отброшенной части стержня внутренним усилием – крутящим моментом M_{zi} (в тех случаях, когда направление M_{zi} неизвестно, следует принимать его положительным);

6) составляют уравнение равновесия, из которого определяют величину и направление крутящего момента M_{zi} (если после решения уравнения M_{zi} получился со знаком плюс, то знак крутящего момента совпадает с первоначально выбранным на схеме, со знаком минус – знак крутящего момента противоположен первоначально выбранному на схеме);

7) выполняют пункты 3 – 6 для каждого участка нагружения;

8) по полученным значениям строят эпюру крутящих моментов M_z : для построения эпюры крутящих моментов проводят прямую, параллельную оси вала (нулевую или базовую линию), перпендикулярно к которой откладываются ординаты, изображающие в некотором масштабе величины крутящих моментов в соответствующих сечениях вала; положительные значения крутящего момента откладывают выше, а отрицательные – ниже нулевой линии; заштриховывают эпюру тонкими спиральными линиями, а внутри поля эпюры в кружке указывают знак (плюс или минус);

9) после построения эпюры следует проверить построения по следующим правилам:

- в сечениях, где приложены сосредоточенные внешние скручивающие моменты, на эпюре крутящих моментов возникают «скачки» (мгновенные

изменения значения), численно равные приложенной паре сил и направленные в сторону ее действия;

- если на участке нагружения отсутствует распределенная нагрузка, эпюры крутящих моментов для данного участка ограничены прямыми, параллельными оси вала. Положительные значения момента откладываются выше, отрицательные – ниже «нулевой линии»;

10) из эпюры крутящих моментов определяют опасное сечение; при кручении вала постоянной жесткости опасным считается сечение или участок вала, в котором крутящий момент максимален по абсолютной величине (по модулю).

Пример 3.1

Построить эпюру крутящих моментов для вала, жестко закрепленного в сечении C (рисунок 3.2 а) и нагруженного скручивающими моментами $M_1=5ql^2$, $M_2=3ql^2$, $M_3=4ql^2$.

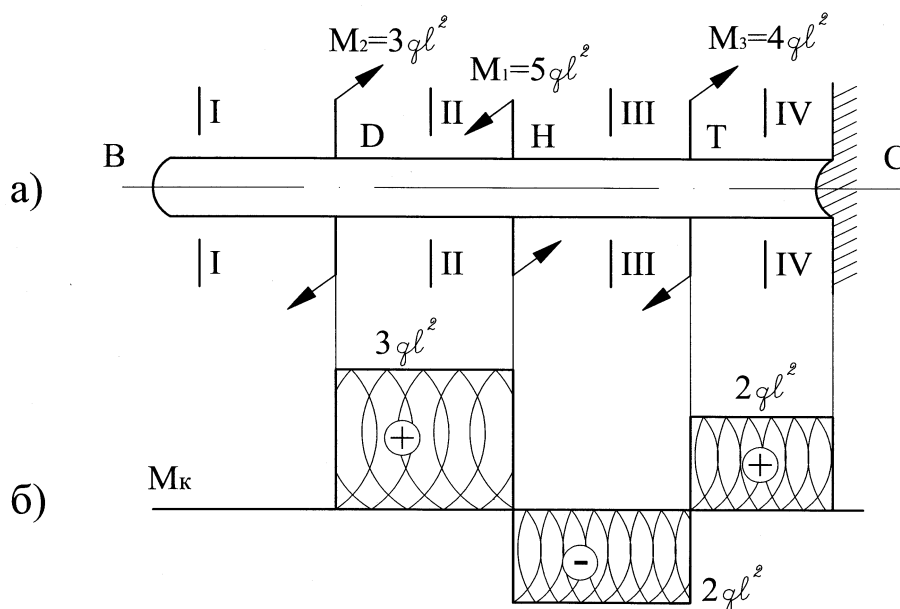


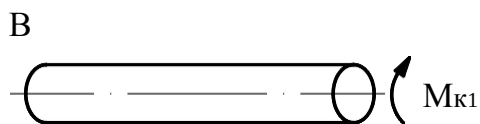
Рисунок 3.2

Решение

Вал разбивается на четыре участка нагружения: BD , DH , HT , $ТС$.

1-

й участок



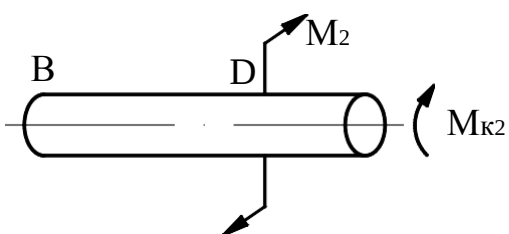
$$0 \leq Z_1 \leq \ell_1$$

$$M_{z1} = 0.$$

Рисунок 3.3

2-

й участок



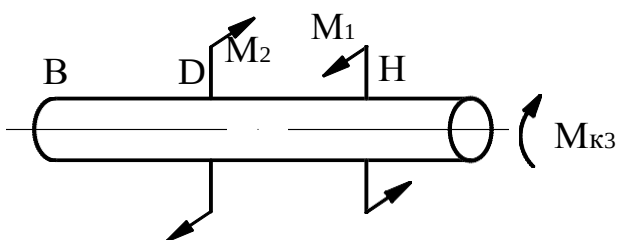
$$0 \leq Z_2 \leq \ell_2$$

$$M_{z2} = M_2 = 3q\ell_2^2$$

Рисунок 3.4

3-

й участок



$$0 \leq Z_3 \leq \ell_3$$

$$\begin{aligned} M_{z3} &= -M_1 + M_2 = -5q_1\ell_1^2 + 3q_2\ell_2^2 = \\ &= -2q_1\ell_1^2. \end{aligned}$$

Рисунок 3.5

4-

й участок

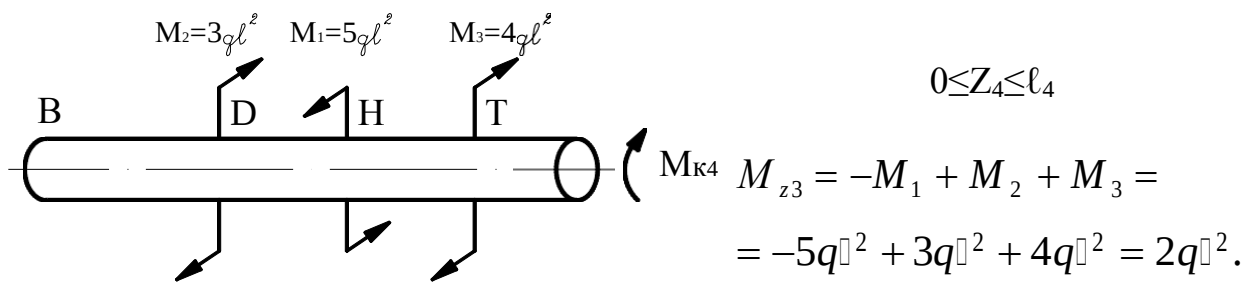


Рисунок 3.6

Из анализа эпюры крутящих моментов следует, что опасным сечением является участок вала DH : $M_{max} = |M_{z1}| = 3ql^2$.

Задание 3.1

Для консольного вала, (расчетная схема приведена в таблице 3.1), построить эпюры крутящих моментов и определить опасное сечение.

Таблица 3.1

Номер схемы	Расчетная схема	Номер схемы	Расчетная схема
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	

Таблица 3.2

Номер варианта	Расчетная схема	Моменты, $q\ell^2$			
		M_1	M_2	M_3	M_4
1	1	1	2	3	10
2	2	2	3	4	9
3	3	3	4	5	8
4	4	4	5	6	7
5	5	5	6	7	6
6	6	6	7	8	5
7	7	7	8	9	4
8	8	8	9	10	3
9	9	9	10	1	2
10	10	10	1	2	1
11	1	1	3	4	9
12	2	2	4	5	8
13	3	3	5	6	7
14	4	4	6	7	6
15	5	5	7	8	5
16	6	6	8	9	4
17	7	7	9	10	3
18	8	8	10	3	2
19	9	9	3	2	1
20	10	10	4	1	10

21	1	1	5	2	8
22	2	2	6	3	7
23	3	3	7	4	6
24	4	4	8	5	5
25	5	5	9	6	4
26	6	6	10	7	3
27	7	7	3	8	2
28	8	8	4	9	1
29	9	9	5	10	8
30	10	10	6	5	6
31	1	1	7	6	5
32	2	2	8	7	4
33	3	3	9	8	3
34	4	4	10	9	2
35	5	5	3	10	1

Вопросы к практическому занятию

1. Какой вид деформации называется кручением?
2. Что называется эпюрой крутящих моментов? Как определяется знак крутящего момента?
3. Как определить опасное сечение вала постоянного сечения при кручении?
4. Каким методом пользуются при построении эпюр произвольно нагруженных валов?
5. Сформулируйте правила проверки правильности построения эпюр крутящих моментов.

6. Укажите рациональные способы размещения колес на валах.
7. Постройте эпюры продольных сил и нормальных напряжений для вала, схема нагружения которого задана преподавателем.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ПРИ ИЗГИБЕ КОНСОЛЬНЫХ БАЛОК

Теоретическая часть

При изгибе в материале бруса возникает два внутренних силовых фактора – поперечная сила и изгибающий момент. Брус, работающий, в основном на изгиб, называется балкой. Балка, защемленная (жестко заделанная) с одной стороны и безопорная с другой, называется консольной.

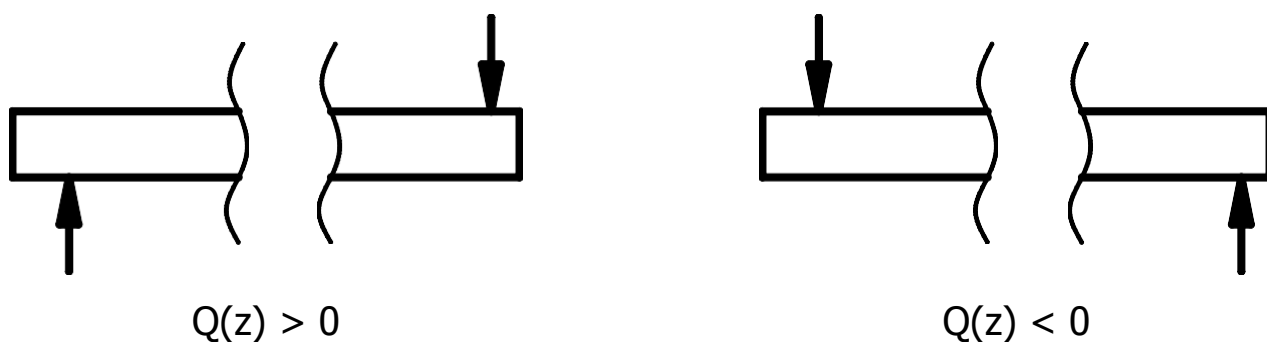


Рисунок 4.1

Поперечной силой $Q(z)$ называется внутренний силовой фактор (составляющая главного вектора $\vec{R}$), численно равный проекции сил, приложенных к отсеченной части балки на ось, перпендикулярную к касательной в данной точке сечения. Внешняя сила, вызывающая поворот

оставшейся части балки относительно сечения по часовой стрелке, считается положительной, против часовой стрелки – отрицательной (рисунок 4.1).

Изгибающим моментом $M(z)$ называется внутренний силовой фактор (составляющая главного момента M), численно равный моменту сил, приложенных к отсеченной части бруса, относительно центра тяжести проведенного сечения. Внешний момент считается положительным, если вызывает изгиб оставшейся части балки выпуклостью вниз (растянутые волокна внизу), и отрицательным, если изгибает оставшуюся часть балки выпуклостью вверх (растянутые волокна вверху) относительно рассматриваемого сечения (рисунок 4.2).

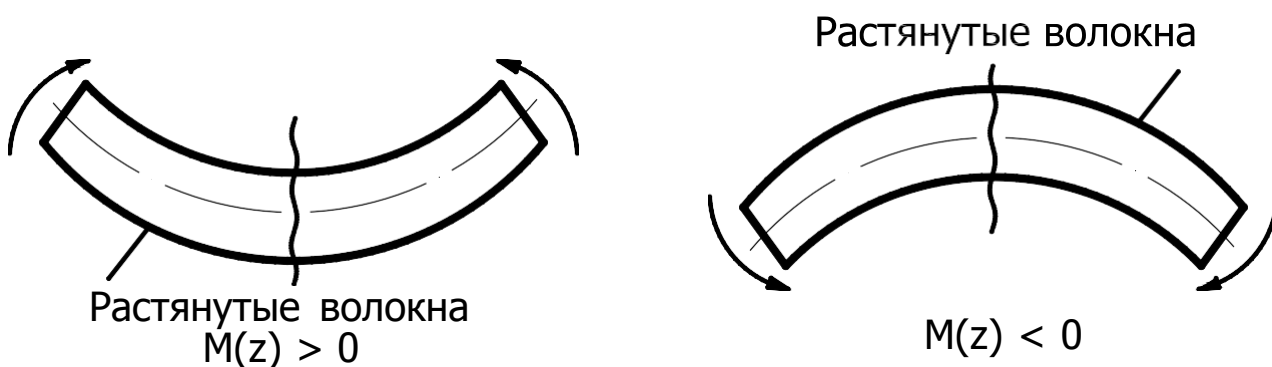


Рисунок 4.2

Строить эпюры поперечных сил $Q(z)$ и изгибающих моментов $M(z)$ можно различными способами, например, аналитическим. При этом способе построения эпюр составляют аналитические уравнения $Q(z)$ и $M(z)$ для каждого участка нагружения балки; решая полученные уравнения для граничных точек участков нагружения, строят графики зависимостей $Q(z)$ и $M(z)$ по участкам.

Эпюры изгибающих моментов следует строить на растянутых волокнах, то есть положительные значения откладываются ниже, отрицательные – выше базовой (нулевой) линии. Эпюры заштриховываются

прямыми линиями, перпендикулярными оси балки, в кружках внутри поля эпюр указываются знаки внутренних усилий.

Построенные эпюры проверяются на соответствие правилам, основанным на дифференциальных зависимостях между поперечной силой, изгибающим моментом и интенсивностью распределенной нагрузки

$$q = \frac{dQ(z)}{dz}; \quad Q = \frac{dM(z)}{dz}; \quad (4.1)$$

1) на участках балки, где отсутствует распределенная нагрузка q , эпюра поперечных сил $Q(z)$ ограничена прямой, параллельной оси балки (поперечная сила $Q(z)$ имеет постоянное значение), а эпюра изгибающих моментов $M(z)$ ограничена наклонной прямой (изгибающий момент $M(z)$ меняется по линейному закону);

2) на участках балки, где приложена равномерно распределенная нагрузка q , эпюра поперечных сил $Q(z)$ ограничена наклонной прямой (поперечная сила $Q(z)$ меняется по линейному закону), а эпюра изгибающих моментов $M(z)$ – квадратной параболой, обращенной выпуклостью в сторону действия нагрузки (изгибающий момент $M(z)$ меняется по закону квадратной параболы);

3) в точке приложения сосредоточенной силы P на эпюре поперечных сил $Q(z)$ имеется скачок (уступ), равный по величине приложенной в этой точке силе P , а на эпюре изгибающих моментов $M(z)$ – точка перегиба (излом) в сторону действия силы;

4) в точке приложения сосредоточенного момента M на эпюре изгибающих моментов $M(z)$ имеется скачок (уступ), равный по величине приложенному в этой точке моменту M . Сосредоточенный момент $M(z)$, приложенный в любом сечении балки, на эпюре поперечных сил $Q(z)$ не отражается;

5) если в пределах одного участка нагружения знак поперечной силы $Q(z)$ меняется в направлении слева направо с (+) на (–), то в сечении, где

$Q(z)=0$, на эпюре изгибающих моментов $M(z)$ для этого участка будет экстремальное значение (точка максимума);

6) если в пределах одного участка нагружения знак поперечной силы $Q(z)$ меняется в направлении слева направо с $(-)$ на $(+)$, то в сечении, где $Q(z)=0$, на эпюре изгибающих моментов $M(z)$ для этого участка будет экстремальное значение (точка минимума);

7) тангенс угла наклона к оси абсцисс (оси балки) касательной к кривой изгибающего момента в любом сечении балки численно равен ординате поперечной силы в рассматриваемом сечении, поэтому:

- если на протяжении какого-либо участка балки поперечная сила положительна $Q(z)>0$, то изгибающий момент на этом участке (в направлении слева направо) будет алгебраически возрастать;

- если на протяжении какого-либо участка балки поперечная сила отрицательна $Q(z)<0$, то изгибающий момент на этом участке (в направлении слева направо) будет алгебраически убывать;

- если на протяжении какого-либо участка балки поперечная сила равна нулю $Q(z)=0$, то изгибающий момент на этом участке не будет меняться (имеет постоянное значение);

8) для линейных участков эпюры изгибающих моментов рекомендуется выполнить дифференциальную, а для нелинейных участков – интегральную проверку. При выполнении дифференциальной и интегральной проверок начало и конец участка выбираются в направлении слева направо. Дифференциальная проверка выполняется по формуле

$$Q = \frac{dM(z)}{dz} = \operatorname{tg} \alpha, \quad (4.2)$$

где $\operatorname{tg} \alpha$ – тангенс угла наклона эпюры изгибающих моментов к продольной оси балки z . Положительный знак $Q(z)$ определяется совмещением оси балки с эпюрой $M(z)$ поворотом по часовой стрелке, отрицательный знак $Q(z)$

определяется совмещением оси балки с эпюрой $M(z)$ поворотом против часовой стрелки. Интегральная проверка выполняется по формуле

$$M_K - M_H = \int_H^K Q(z) dz = \Omega_Q^{HK}, \quad (4.3)$$

где Ω_Q^{HK} – площадь эпюры поперечных сил на рассматриваемом участке;

M_K – значение изгибающего момента в конечной точке участка;

M_H – значение изгибающего момента в начальной точке участка.

В общем случае задача по построению эпюр внутренних усилий при изгибе решается в следующей последовательности.

- 1) Определяются опорные реакции.
- 2) Балка разбивается на участки нагружения, границами которых являются сечения:
 - начала и конца балки;
 - в которых приложены сосредоточенные (активные и реактивные) внешние силы;
 - в которых приложены внешние моменты (активные и реактивные);
 - в которых начинается и заканчивается действие распределенной нагрузки.
- 3) Строятся эпюры поперечных сил $Q(z)$ и изгибающих моментов $M(z)$.
- 4) Проверяется построение эпюр $Q(z)$ и $M(z)$ по правилам 1 – 8.
- 5) Определяется опасное сечение.

Пример 4.1

Построить эпюры внутренних усилий для балки, схема которой приведена на рисунке 4.3.

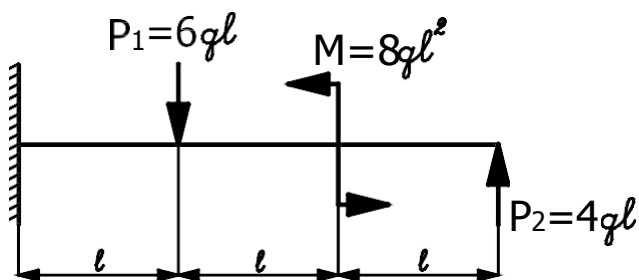


Рисунок 4.3

Решение

Используя правила, разобьем балку на три участка нагружения, пронумеровав их в соответствии с планом решения задачи. Из каждого сечения, обозначенного как граница участка нагружения, проводим

тонкую вертикальную прямую.

1

– й участок

$$0 \leq z_1 \leq l_1 = l$$

$$в(\cdot)A \quad в(\cdot)B$$

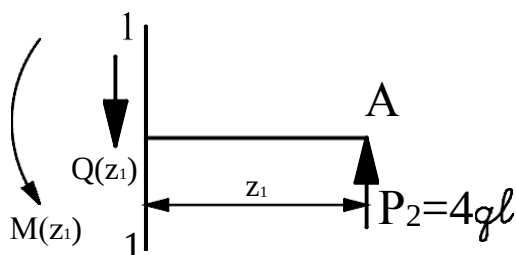


Рисунок 4.4

$$M(z_1) = P_2 \cdot z_1 = 4ql \cdot z_1:$$

в точке A:

$$z_1=0; \quad M(z_1=0) = P_2 \cdot z_1 = 4ql \cdot 0 = 0;$$

в точке B:

$$z_1=l; \quad M(z_1=l) = 4ql \cdot l = 4ql^2.$$

$Q(z_1) = -P_2 = -4ql = const$. По полученным данным строим эпюры $Q(z_1)$ и $M(z_1)$. Эпюру изгибающего момента строим на растянутых волокнах. Проводим две линии, параллельные оси балки – нулевые (базовые) линии эпюр изгибающих моментов и поперечных сил, рядом с которыми записываем величины ql^2 на эпюре $M(z)$ и ql на эпюре $Q(z)$. Откладываем значения изгибающего момента, записав лишь цифры «0» и «4» на растянутых волокнах в начале и в конце первого участка. Знак на эпюре $M(z)$ опускаем; соединяем точки «0» и «4» прямой, так как выражение момента есть функция первой степени от текущей координаты z_1 . Эпюра моментов

заштриховывается перпендикулярно оси балки, и каждая ордината покажет величину изгибающего момента в любой интересующей нас точке рассматриваемого участка.

На эпюре $Q(z)$ величина поперечной силы постоянна, то есть эпюра представляет собой прямоугольник; отложив «4» ниже оси балки так как $Q(z) < 0$, заканчиваем эпюру штриховкой перпендикулярно оси балки. Внутри поля эпюры в кружке необходимо проставить знак поперечной силы.

Ввиду линейности эпюры $M(z)$ выполним дифференциальную проверку по формуле (4.2):

$$Q(z_1) = -\frac{dM(z_1)}{dz_1} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{0 - 4q\ell^2}{\ell} = -4q\ell.$$

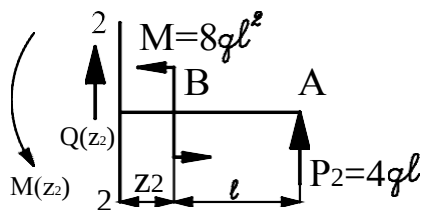
2

–й участок

$$0 \leq z_2 \leq \ell_2 = \ell$$

$$B \quad C$$

$$M(z_2) = P_2(\ell + z_2) + M = 4q\ell(\ell + z_2) + 8q\ell^2:$$



при $z_2 = 0$

$$M(z_2) = P_2(\ell + 0) + M = 4q\ell(\ell + 0) + 8q\ell^2 = 12q\ell^2; \quad \text{при } z_2 = \ell$$

Рисунок 4.5

$$M(z_2) = P_2(\ell + \ell) + M = 4q\ell \cdot 2\ell + 8q\ell^2 = 16q\ell^2.$$

$Q(z_2) = -P_2 = -4q\ell = \text{const.}$ В выражение поперечной силы на втором участке внешний момент M не вошел, так как проекция пары сил всегда равна нулю.

По полученным данным строим эпюры $Q(z_2)$ и $M(z_2)$ и выполняем дифференциальную проверку:

$$Q(z_2) = \frac{dM(z_2)}{dz_2} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{12ql^2 - 16ql^2}{l} = -4ql.$$

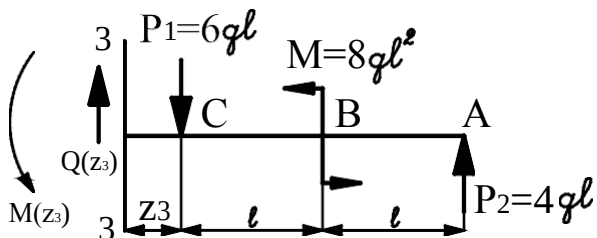
3

– й участок

$$0 \leq z_3 \leq l_3 = 2l$$

$$e(\cdot)C \quad e(\cdot)D$$

$$M(z_3) = P_2(2l + z_3) + M - P_1 \cdot z_3 = 4ql(2l + z_3) + 8ql^2 - 6ql \cdot z_3$$



при $z_3 = 0$;

$$M(z_3) = 4ql(2l + 0) + 8ql^2 - 6ql \cdot 0 = 16ql^2;$$

Рисунок 4.6

при $z_3 = 2l$;

$$M(z_3) = 4ql(2l + l) + 8ql^2 - 6ql \cdot l = 14ql^2;$$

$$Q(z_3) = -P_2 + P_1 = -4ql + 3ql = ql = \text{const}.$$

По полученным данным строим эпюры $Q(z_3)$ и $M(z_3)$ (рисунок 4.13) и выполняем дифференциальную проверку:

$$Q(z_3) = \frac{dM(z_3)}{dz_3} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{16ql^2 - 18ql^2}{l} = -4ql.$$

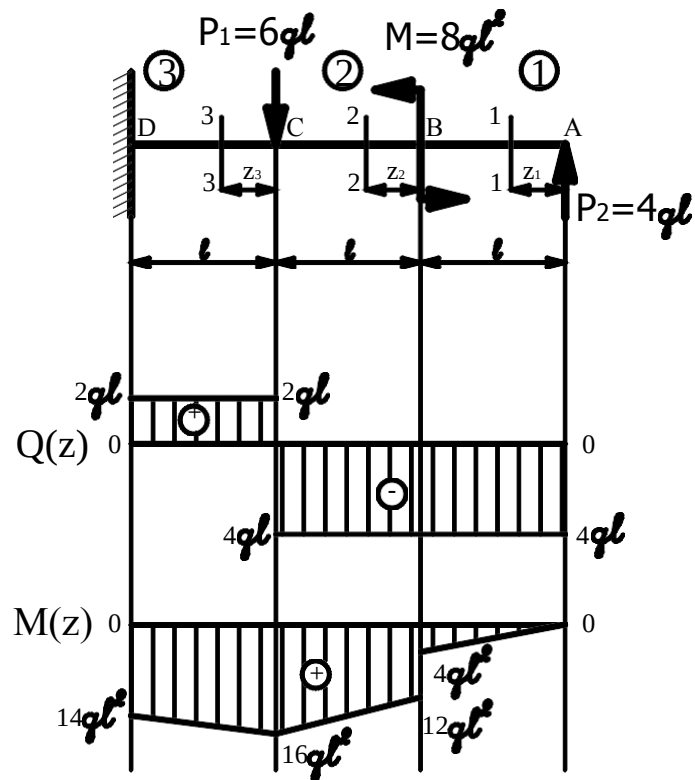


Рисунок 4.7

Задание 4.1

Для консольной балки, схема нагружения которой представлена на рисунке 4.8, исходные значения по таблице 4.1, построить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил, выполнить проверки.

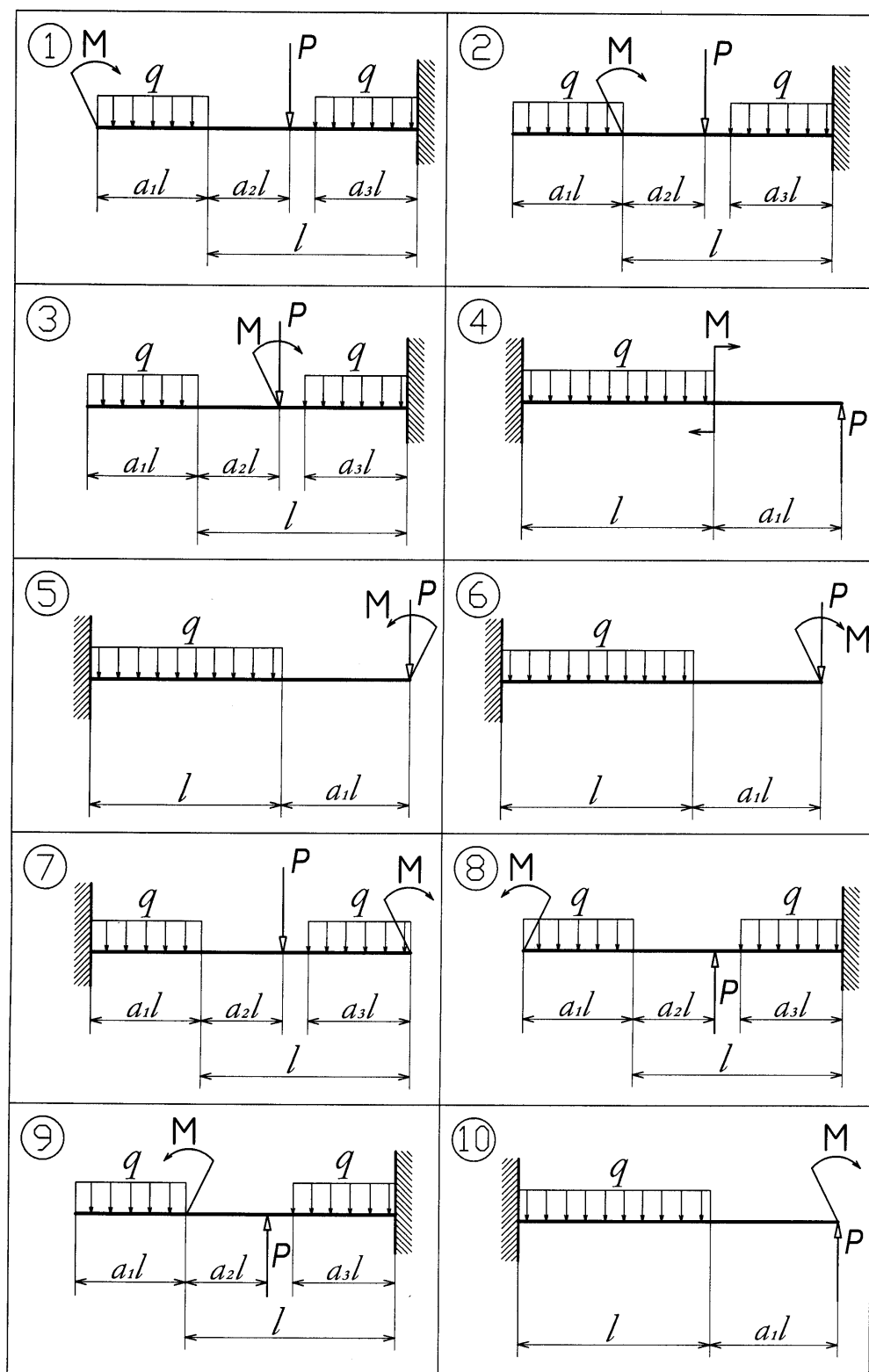
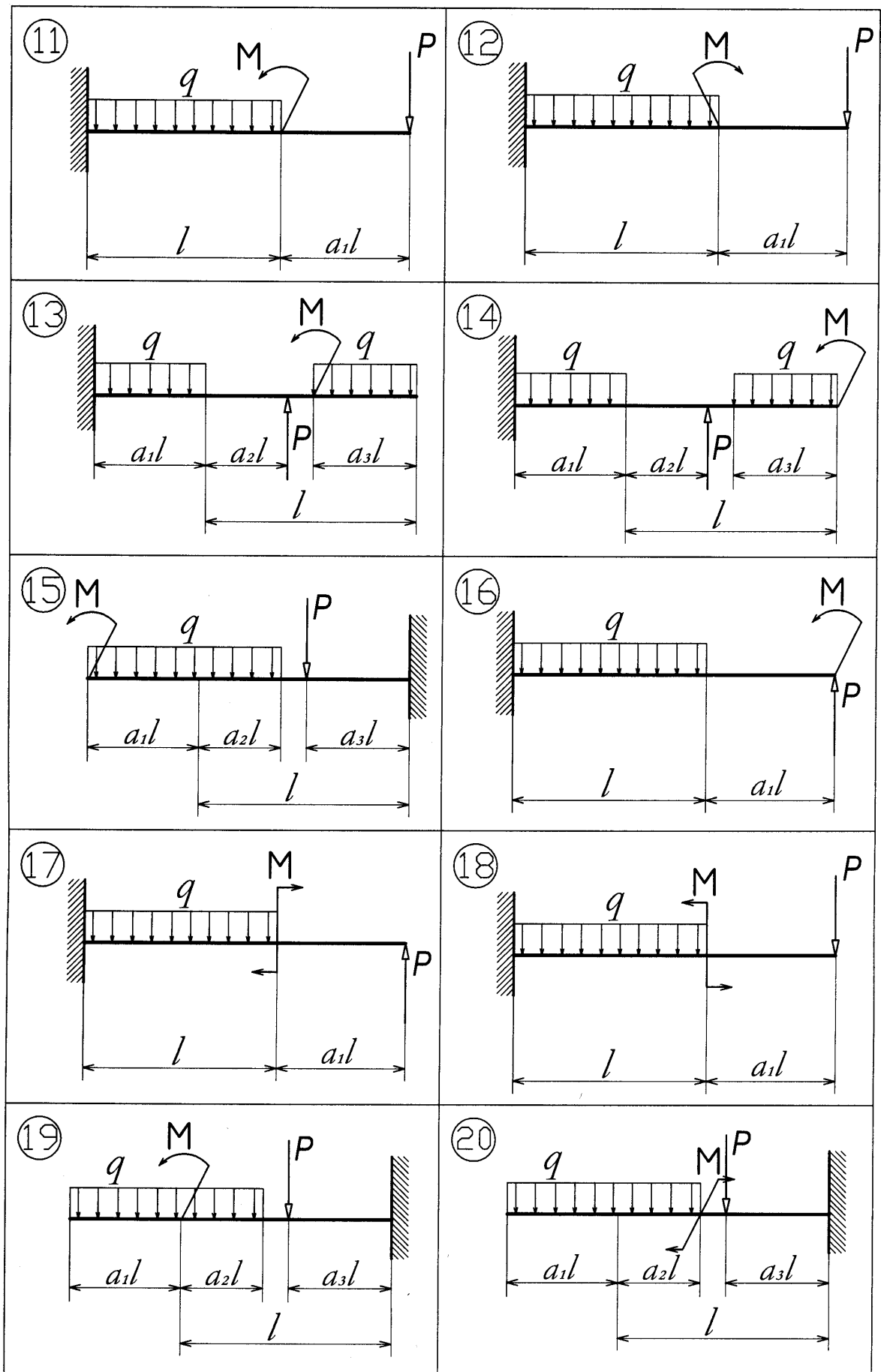
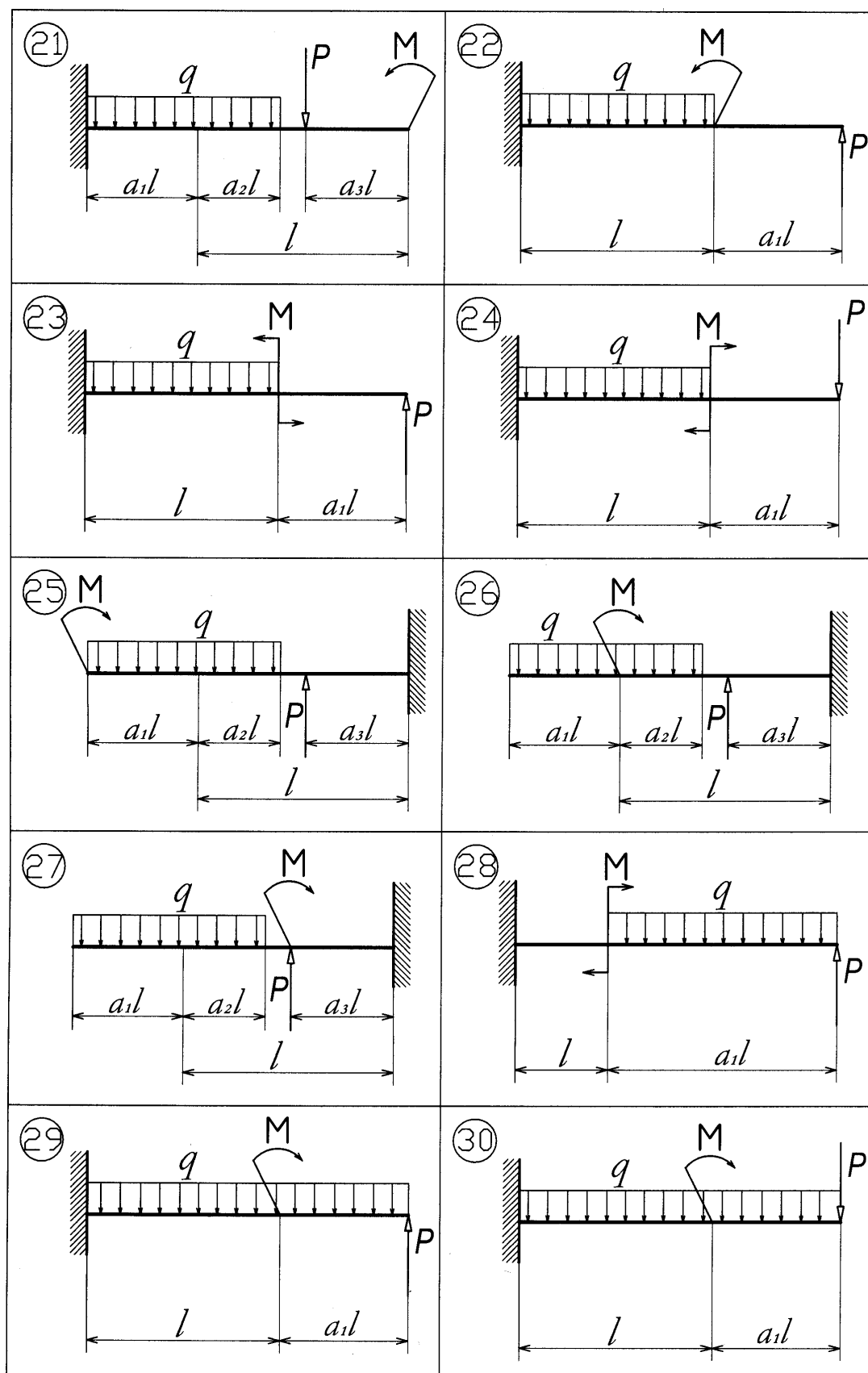


Рисунок 4.8



Продолжение рисунка 4.8



Продолжение рисунка 4.8

Таблица 4.1

№ строки	P	M	a ₁	a ₂	a ₃	№ строки	P	M	a ₁	a ₂	a ₃
1	qℓ	qℓ ²	1	0,5	0,5	16	0,5qℓ	qℓ ²	2	0,5	0,5
2	qℓ	qℓ ²	1	0,2	0,7	17	0,5qℓ	qℓ ²	2	0,2	0,7
3	qℓ	qℓ ²	1	0,3	0,6	18	0,5qℓ	qℓ ²	2	0,3	0,6
4	qℓ	qℓ ²	1	0,4	0,5	19	0,5qℓ	qℓ ²	2	0,4	0,5
5	qℓ	qℓ ²	1	0,6	0,2	20	0,5qℓ	qℓ ²	2	0,6	0,2
6	2qℓ	qℓ ²	0,5	0,5	0,5	21	1,5qℓ	qℓ ²	2,5	0,5	0,5
7	2qℓ	qℓ ²	0,5	0,2	0,7	22	1,5qℓ	qℓ ²	2,5	0,2	0,7
8	2qℓ	qℓ ²	0,5	0,3	0,6	23	1,5qℓ	qℓ ²	2,5	0,3	0,6
9	2qℓ	qℓ ²	0,5	0,4	0,5	24	1,5qℓ	qℓ ²	2,5	0,4	0,5
10	2qℓ	qℓ ²	0,5	0,6	0,2	25	1,5qℓ	qℓ ²	2,5	0,6	0,2
11	3qℓ	qℓ ²	1,5	0,5	0,5	26	2,5qℓ	qℓ ²	3	0,5	0,5
12	3qℓ	qℓ ²	1,5	0,2	0,7	27	2,5qℓ	qℓ ²	3	0,2	0,7
13	3qℓ	qℓ ²	1,5	0,3	0,6	28	2,5qℓ	qℓ ²	3	0,3	0,6
14	3qℓ	qℓ ²	1,5	0,4	0,5	29	2,5qℓ	qℓ ²	3	0,4	0,5
15	3qℓ	qℓ ²	1,5	0,6	0,2	30	2,5qℓ	qℓ ²	3	0,6	0,2

Вопросы к практическому занятию

1. Сформулируйте правила проверки правильности построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.

2. Запишите дифференциальные и интегральные зависимости, используемые при построении эпюр внутренних усилий при изгибе.
3. Какие сечения являются границами участков нагружения балок?
4. Почему положительные значения изгибающих моментов откладываются ниже, а отрицательные – выше базовой (нулевой) линии?
5. Обязательно ли определять опорные реакции для построения эпюр внутренних усилий в консольных балках?
6. Постройте эпюры внутренних усилий для консольных балок, схемы которых предложены преподавателем.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ПРИ ИЗГИБЕ ДВУХОПОРНЫХ БАЛОК

Теоретическая часть

Правила построения и проверки эпюр внутренних усилий при изгибе изложены в теоретической части к практическому занятию 4.

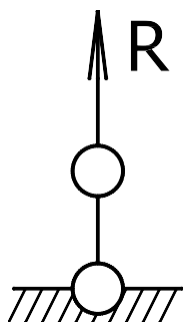


Рисунок 5.1

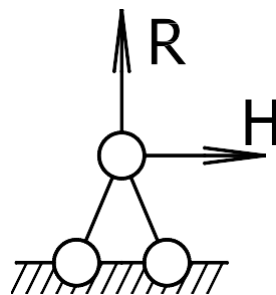


Рисунок 5.2

При конструировании двухопорных балок, как правило, используют два основных типа опорных закреплений. В шарнирно-подвижной опоре (рисунок 5.1) направление реакции R совпадает с направлением связи. В шарнирно-неподвижной опоре (рисунок 5.2) направление реакции неизвестно, поэтому пользуются двумя составляющими – вертикальной R и горизонтальной H , совпадающих с направлением связей. В частных случаях некоторые опорные реакции могут быть равны нулю; например, если балка нагружена только вертикальными усилиями, то горизонтальная составляющая опорной реакции равна нулю.

Пример 5.1

Построить эпюры внутренних усилий для двухопорной балки, нагруженной по всему пролету равномерно распределенной нагрузкой q (рисунок 5.3).

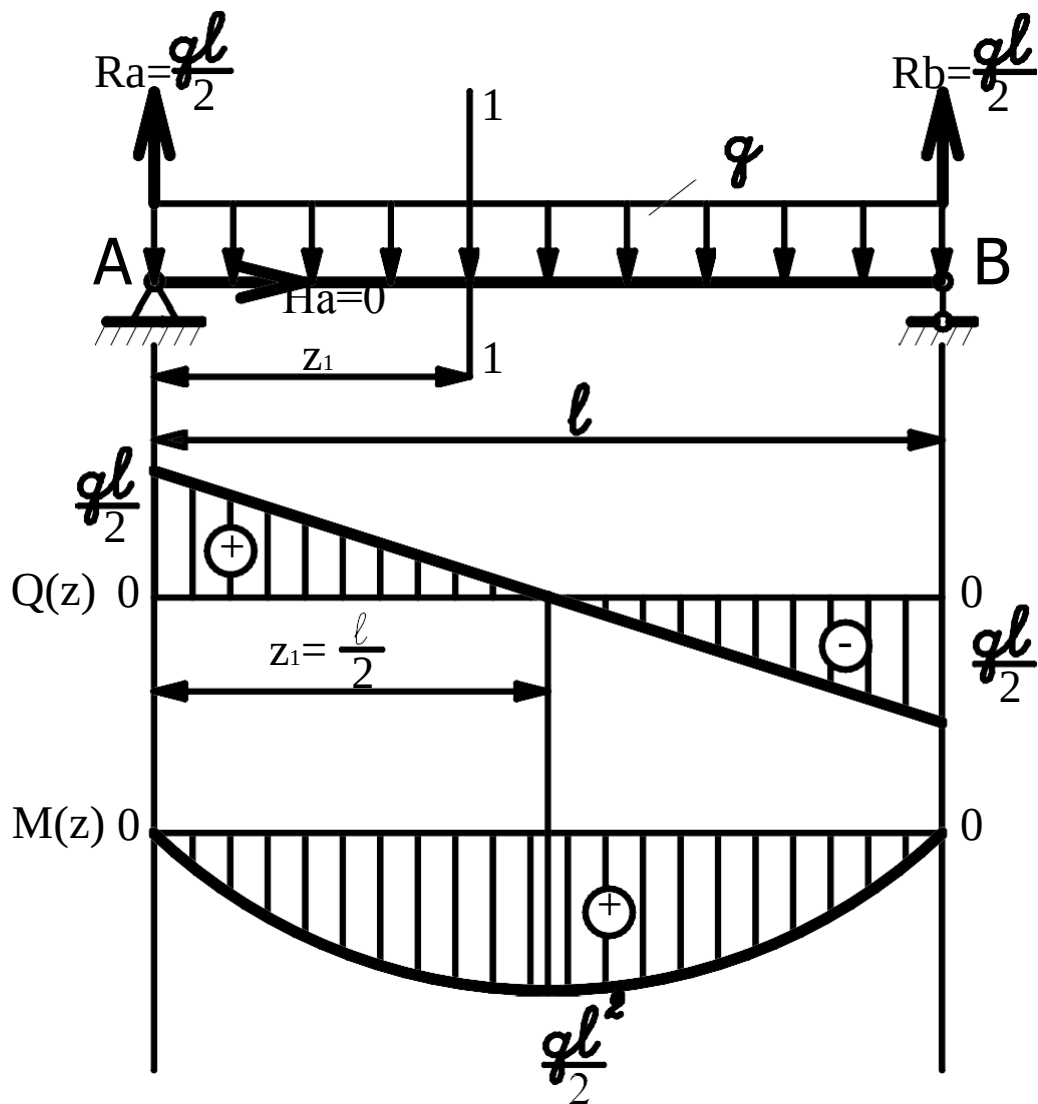


Рисунок 5.3

Решение

Определяем опорные реакции:

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0, \quad -q \cdot \frac{l}{2} + R_B \cdot l = 0; \quad R_B &= \frac{ql^2}{2l} = \frac{ql}{2}, \\ \sum M_B = 0, \quad ql \cdot \frac{l}{2} - R_A \cdot l = 0; \quad R_A &= \frac{ql^2}{2l} = \frac{ql}{2}. \end{aligned}$$

Проверка:

$$\sum y = 0, \quad R_A + R_B - q\ell = 0, \quad \frac{q\ell}{2} + \frac{q\ell}{2} - P = 0, \quad 0 \equiv 0.$$

Балка имеет один участок нагружения, для которого определяем внутренние усилия.

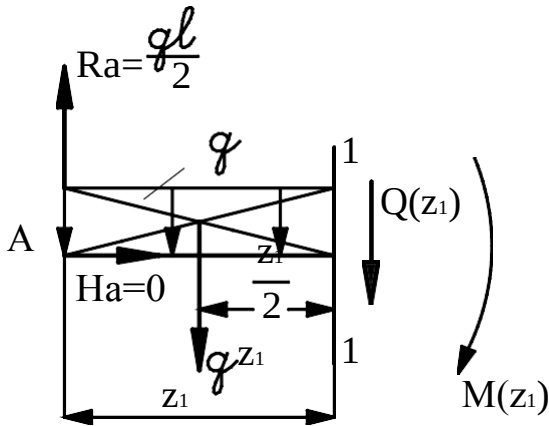


Рисунок 5.4

1 – й участок

$$0 \leq z_1 \leq \ell_1 = \ell$$

$\epsilon(\cdot)A$

$\epsilon(\cdot)B$

$$M(z_1) = R_A \cdot z_1 - qz_1 \frac{z_1}{2} = \frac{q\ell}{2} z_1 - \frac{qz_1^2}{2} :$$

$$\text{в точке } A: z_1=0; \quad M(z_1) = -R_A \cdot 0 = 0;$$

$$\text{в точке } B: \quad z_1=\ell;$$

$$M(z_1) = \frac{q\ell}{2} z_1 - \frac{qz_1^2}{2} = 0.$$

$$Q(z_1) = R_A - qz_1 = \frac{q\ell}{2} - qz_1 :$$

$$\text{в точке } A: z_1=0; \quad Q(z_1) = \frac{q\ell}{2} - 0 = \frac{q\ell}{2};$$

$$\text{в точке } B: z_1=\ell; \quad Q(z_1) = \frac{q\ell}{2} - q\ell = -\frac{q\ell}{2}.$$

Поскольку поперечная сила в пределах одного участка нагружения меняет знак с плюса на минус, то на эпюре изгибающих моментов в сечении, где поперечная сила равна нулю, будет экстремум (точка максимума). Определим, при каком значении координаты z_1 поперечная сила $Q(z_1)$ обращается в ноль. Для этого приравняем к нулю уравнение поперечной силы $Q(z_1)=0$ для рассматриваемого участка:

$$Q(z_1) = R_A - qz_1 = \frac{q\ell}{2} - qz_1 = 0; \quad \frac{q\ell}{2} = qz_1; \quad z_1 = \frac{\ell}{2}.$$

Определим значение изгибающего момента $M(z_1)$ при $z_1 = \ell/2$:

$$M(z_1) = \frac{q\ell}{2} \cdot \frac{\ell}{2} - \frac{q}{2} \cdot \left(\frac{\ell}{2} \right)^2 = \frac{q\ell^2}{4} - \frac{q\ell^2}{8} = \frac{q\ell^2}{8}.$$

По полученным данным строим эпюры $Q(z_1)$ и $M(z_1)$. Эпюру изгибающего момента строим на растянутых волокнах.

Ввиду нелинейности эпюры $M(z)$ выполним интегральную проверку по формуле (4.2):

$$\Omega_Q^{AB} = M_B - M_A; \quad \frac{1}{2} \cdot \frac{q\ell}{2} \cdot \frac{\ell}{2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{q\ell}{2} \cdot \frac{\ell}{2} = 0 - 0; \quad 0 \equiv 0,$$

где Ω_Q^{AB} – площадь эпюры поперечных сил на рассматриваемом участке AB ; поскольку на рассматриваемом участке часть эпюры лежит ниже базовой линии, ее площадь полагаем отрицательной, а площадь части эпюры, расположенной выше базовой линии – положительной;

M_B – значение изгибающего момента в точке B – конечной точке рассматриваемого участка;

M_A – значение изгибающего момента в точке A – начальной точке рассматриваемого участка.

Для середины участка нагружения сечения C , где $z_1 = \ell/2$, интегральная проверка выполняется по тем же правилам:

$$\Omega_Q^{AC} = M_C - M_A; \quad \frac{1}{2} \cdot \frac{q\ell}{2} \cdot \frac{\ell}{2} - 0 = \frac{q\ell^2}{8} - 0; \quad \frac{q\ell^2}{8} = \frac{q\ell^2}{8}; \quad 0 \equiv 0.$$

Пример 5.2

Построить эпюры внутренних усилий для двухопорной балки, нагруженной как показано на рисунке 5.5.

Решение

Определяем опорные реакции:

$$\sum M_A = 0,$$

$$R_B \cdot 6 - 6q \cdot 2 + 2q \cdot 2 \cdot 4 - 6q \cdot 2 - 2q \cdot 2 \cdot 4 = 0; \quad R_B = \frac{q \cdot 2^2}{6} (6 + 12) = 3q;$$

$$\sum M_B = 0,$$

$$-R_A \cdot 6 + 6q \cdot 2 + 2q \cdot 4 \cdot 6 + 6q \cdot 2 = 0; \quad R_A = \frac{q \cdot 2^2}{6} (48 + 24 - 6) = 11q.$$

Проверка:

$$\sum y = 0, \quad R_A + R_B - 6q - 2q \cdot 4 = 0, \quad 11q + 3q - 6q - 2q \cdot 4 = 0, \quad 0 \equiv 0.$$

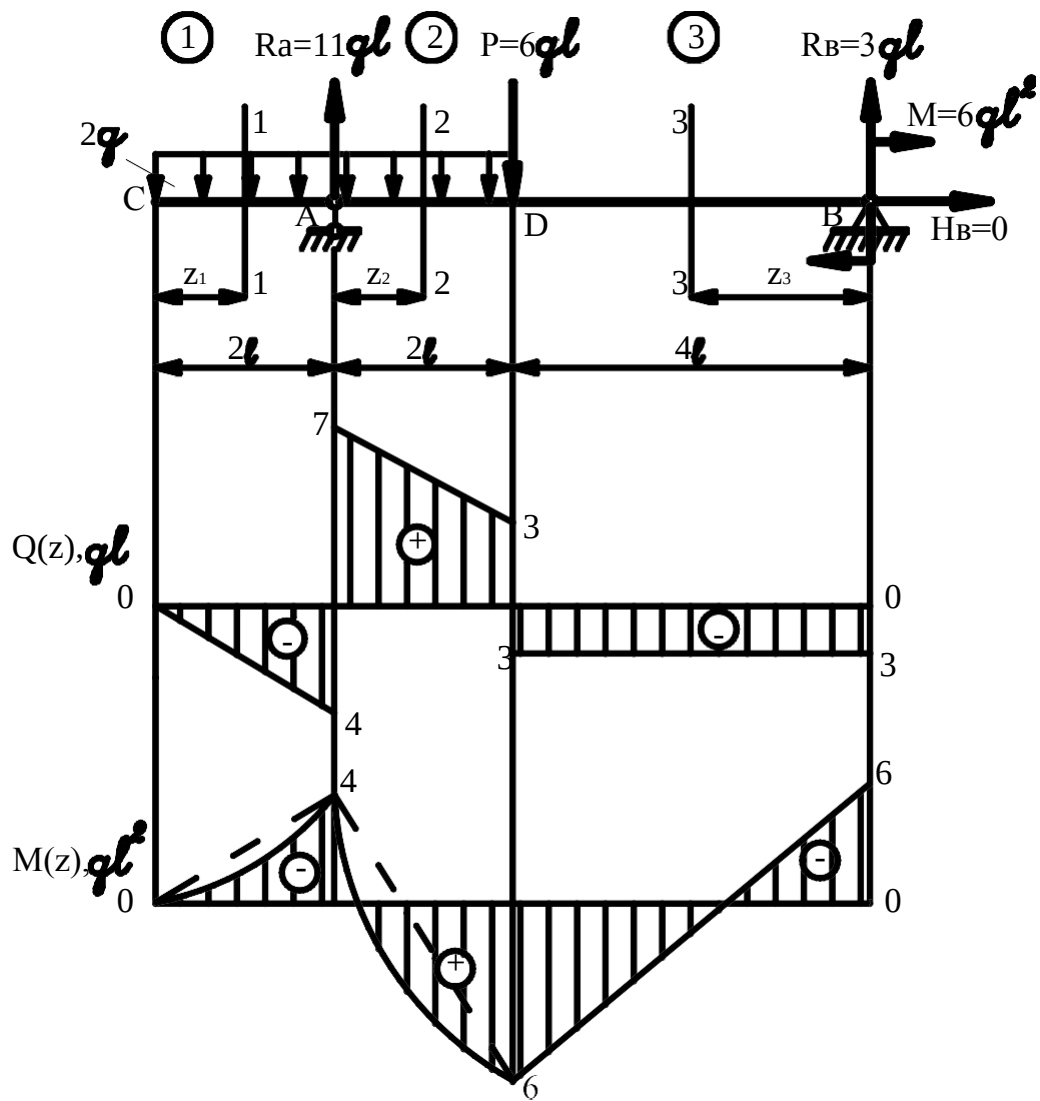


Рисунок 5.5

1 – й участок

$$0 \leq z_1 \leq 2l$$

$$v(\cdot)C \quad v(\cdot)A$$

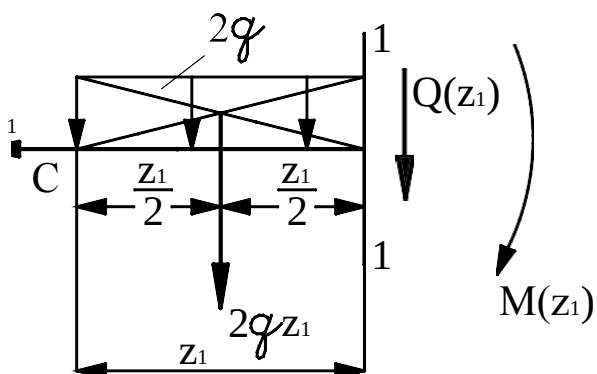


Рисунок 5.6

$$M(z_1) = -2qz_1 \frac{z_1}{2} = -qz_1^2 :$$

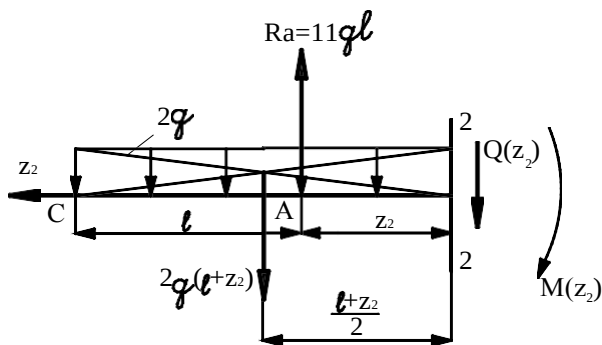
в точке $C: z_1=0; M(z_1) = 0;$

в точке $A: z_1=2\ell; M(z_1) = -4q\ell^2.$

$$Q(z_1) = -2qz_1 :$$

в точке $C: z_1=0; Q(z_1) = 0;$

в точке $A: z_1=4\ell; Q(z_1) = -4q\ell.$



2 – й участок

$$0 \leq z_2 \leq 2\ell$$

$\sigma(\cdot)A$ $\sigma(\cdot)D$

$$M(z_2) = -2q(2\ell + z_2) \frac{2\ell + z_2}{2} + R_A \cdot z_2 :$$

Рисунок 5.7

в точке $A: z_2=0; M(z_2) = -4q\ell^2;$

в точке $D: z_2=2\ell; M(z_2) = 6q\ell^2.$

$$Q(z_1) = -2q(2\ell + z_2) + R_A :$$

в точке $A: z_1=0; Q(z_1) = 7q\ell;$

в точке $B: z_1=4\ell; Q(z_1) = 3q\ell.$

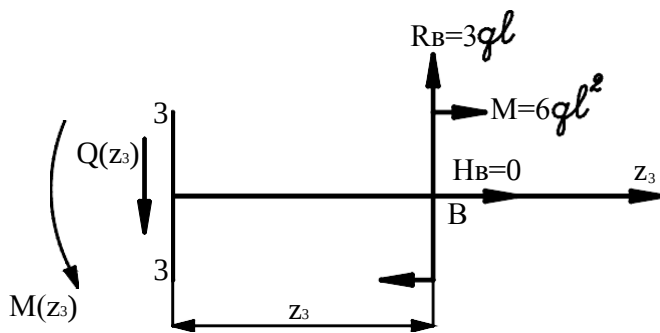


Рисунок 5.8

3 – й участок

$$0 \leq z_3 \leq 4\ell$$

$\epsilon(\cdot)B$ $\epsilon(\cdot)D$

$$M(z_3) = -6q\ell^2 + R_B \cdot z_3:$$

в точке B : $z_3=0$; $M(z_3) = -6q\ell^2$;

в точке D : $z_3=4\ell$; $M(z_3) = 6q\ell^2$.

$$Q(z_1) = -R_B = -3q\ell = \text{const.}$$

Задание 5.1

Для двухопорной балки, схема нагружения которой представлена на рисунке 5.9, построить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил, выполнить проверки и определить положение опасного сечения. Значения нагрузок и размеры элементов балки принять по таблице 5.1.

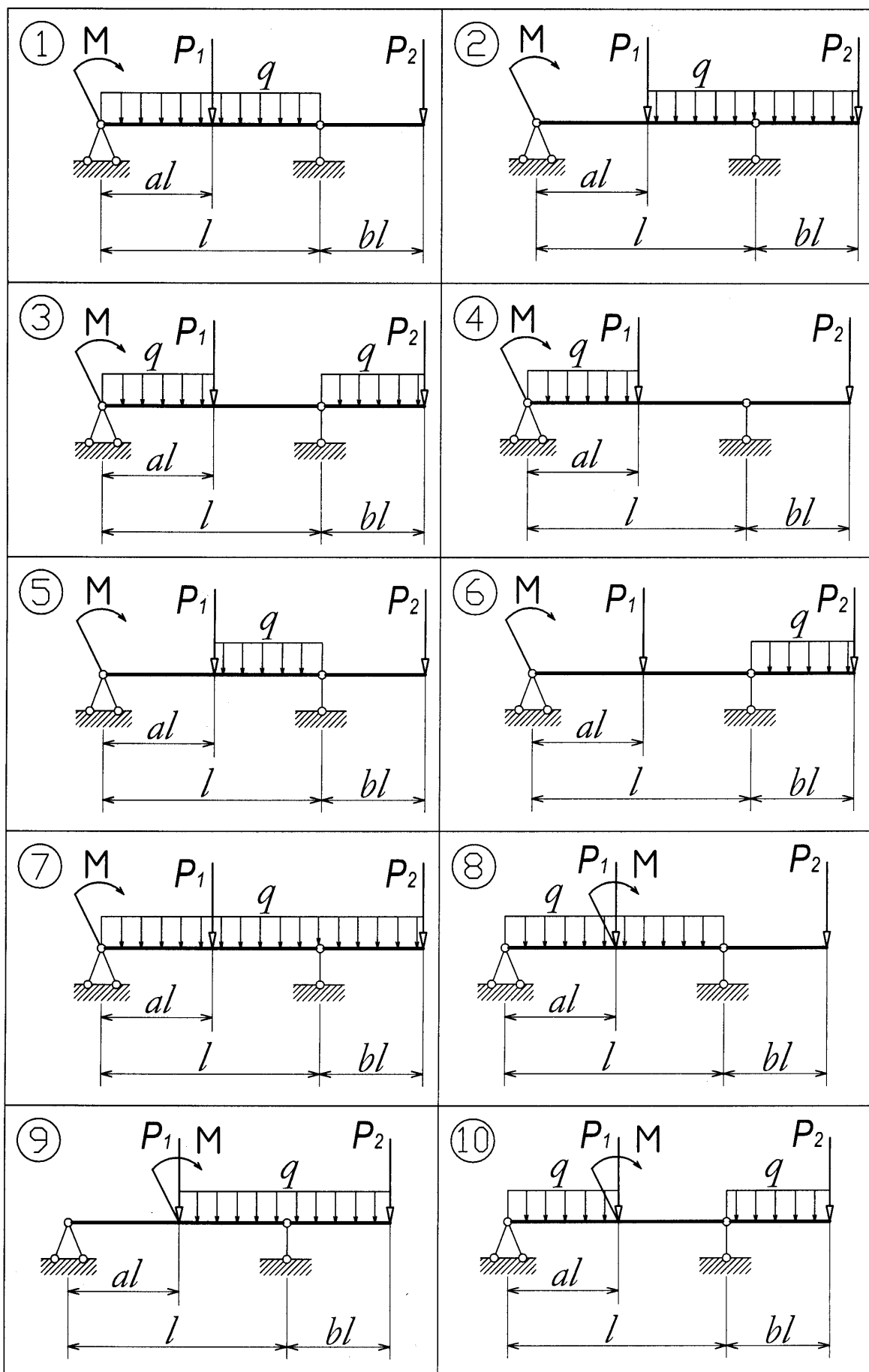
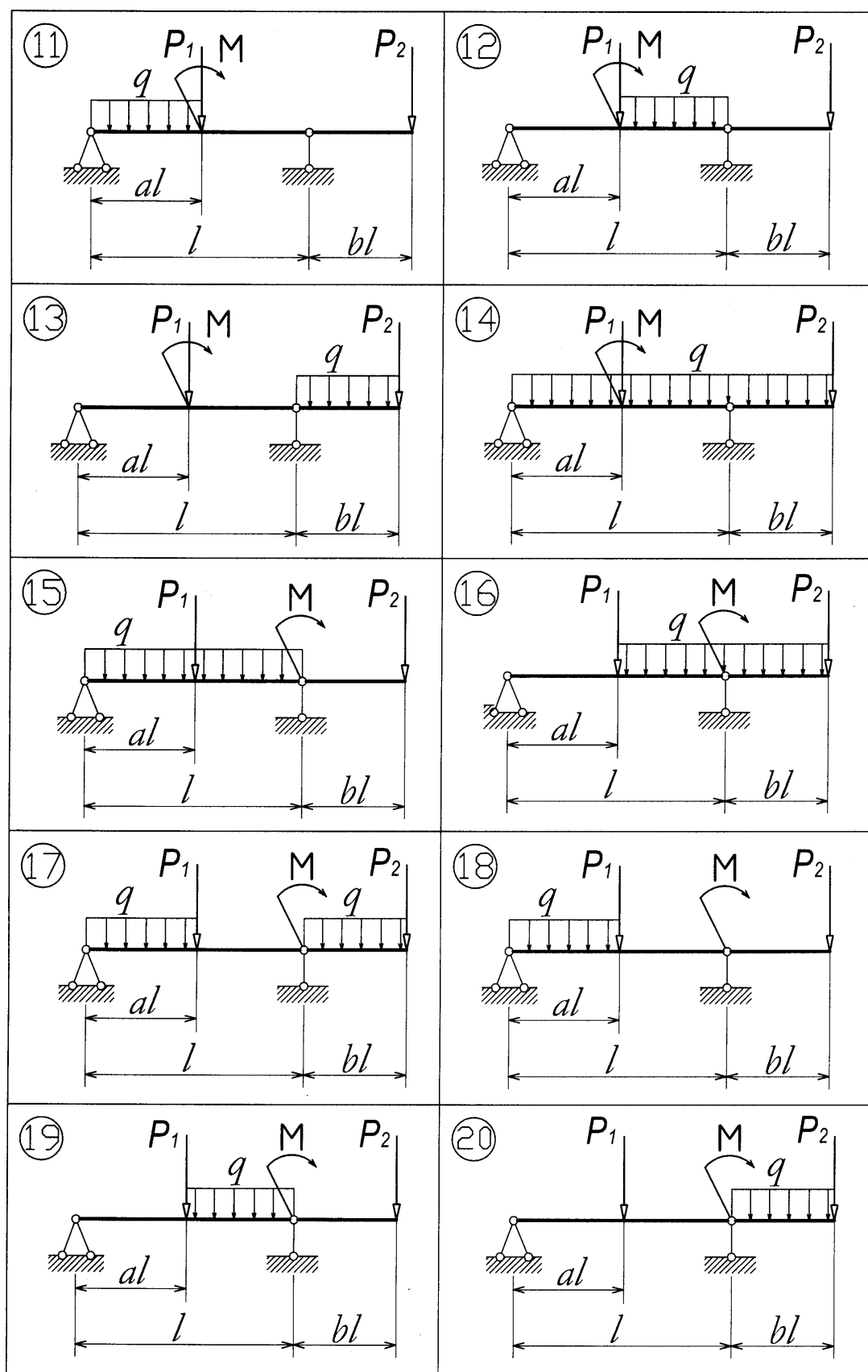
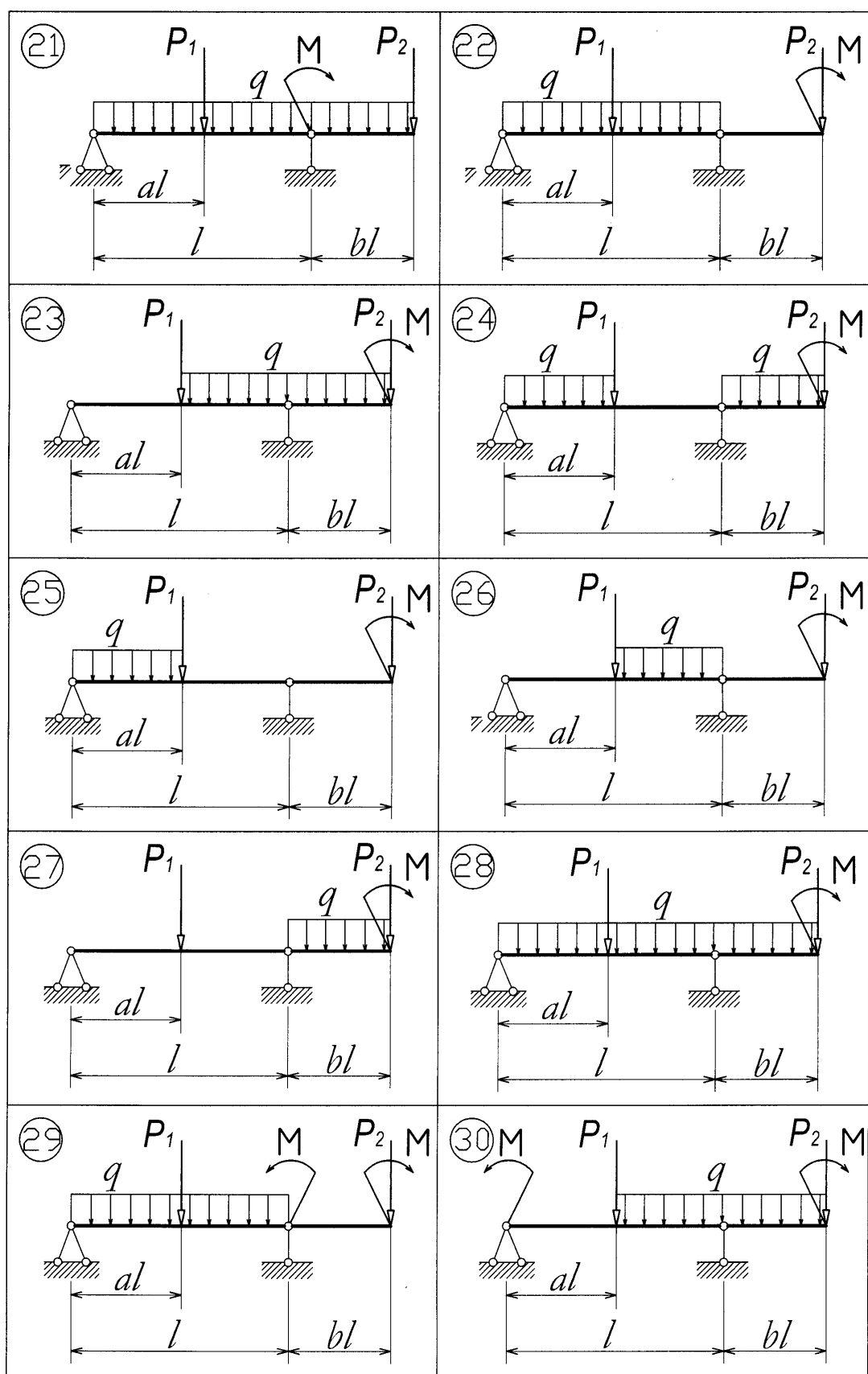


Рисунок 5.9



Продолжение рисунка 5.9



Продолжение рисунка 5.9

Таблица 5.1

№ строки	P_1	P_2	M	a	b	№ строки	P_1	P_2	M	a	b
1	$q\ell$	$0,5q\ell$	$q\ell^2$	0,5	1	16	$0,5q\ell$	$0,5q\ell$	$q\ell^2$	0,5	2,5
2	$q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	0,2	1	17	$0,5q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	0,2	2,5
3	$q\ell$	$1,5q\ell$	$q\ell^2$	0,3	1	18	$0,5q\ell$	$1,5q\ell$	$q\ell^2$	0,3	2,5
4	$q\ell$	$2q\ell$	$q\ell^2$	0,4	1	19	$0,5q\ell$	$2q\ell$	$q\ell^2$	0,4	2,5
5	$q\ell$	$2,5q\ell$	$q\ell^2$	0,6	1	20	$0,5q\ell$	$2,5q\ell$	$q\ell^2$	0,6	2,5
6	$2q\ell$	$0,5q\ell$	$q\ell^2$	0,5	1,5	21	$1,5q\ell$	$0,5q\ell$	$q\ell^2$	0,5	3
7	$2q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	0,2	1,5	22	$1,5q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	0,2	3
8	$2q\ell$	$1,5q\ell$	$q\ell^2$	0,3	1,5	23	$1,5q\ell$	$1,5q\ell$	$q\ell^2$	0,3	3
9	$2q\ell$	$2q\ell$	$q\ell^2$	0,4	1,5	24	$1,5q\ell$	$2q\ell$	$q\ell^2$	0,4	3
10	$2q\ell$	$2,5q\ell$	$q\ell^2$	0,6	1,5	25	$1,5q\ell$	$2,5q\ell$	$q\ell^2$	0,6	3
11	$3q\ell$	$0,5q\ell$	$q\ell^2$	0,5	2	26	$2,5q\ell$	$0,5q\ell$	$q\ell^2$	0,5	0,5
12	$3q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	0,2	2	27	$2,5q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	0,2	0,5
13	$3q\ell$	$1,5q\ell$	$q\ell^2$	0,3	2	28	$2,5q\ell$	$1,5q\ell$	$q\ell^2$	0,3	0,5
14	$3q\ell$	$2q\ell$	$q\ell^2$	0,4	2	29	$2,5q\ell$	$2q\ell$	$q\ell^2$	0,4	0,5
15	$3q\ell$	$2,5q\ell$	$q\ell^2$	0,6	2	30	$2,5q\ell$	$2,5q\ell$	$q\ell^2$	0,6	0,5

Вопросы к практическому занятию

1. Сформулируйте правила проверки правильности построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.

2. Объясните дифференциальные и интегральные зависимости, используемые для проверки правильности построения эпюр внутренних усилий при изгибе.

3. Какие сечения являются границами участков нагружения балок?

4. Обязательно ли определять опорные реакции для построения эпюр внутренних усилий в двухопорных балках?

5. Постройте эпюры внутренних усилий для двухопорных балок, схемы которых предложены преподавателем.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ДЛЯ ПЛОСКИХ ДВУХОПОРНЫХ РАМ

Теоретическая часть

В сопротивлении материалов основным объектом изучения является брус. Соединяя в одну общую конструкцию несколько брусьев (прямых или кривых), получают так называемую стержневую систему (рисунок 6.1). Стержневая система, у которой оси всех стержней лежат в одной плоскости, называют плоской стержневой системой.

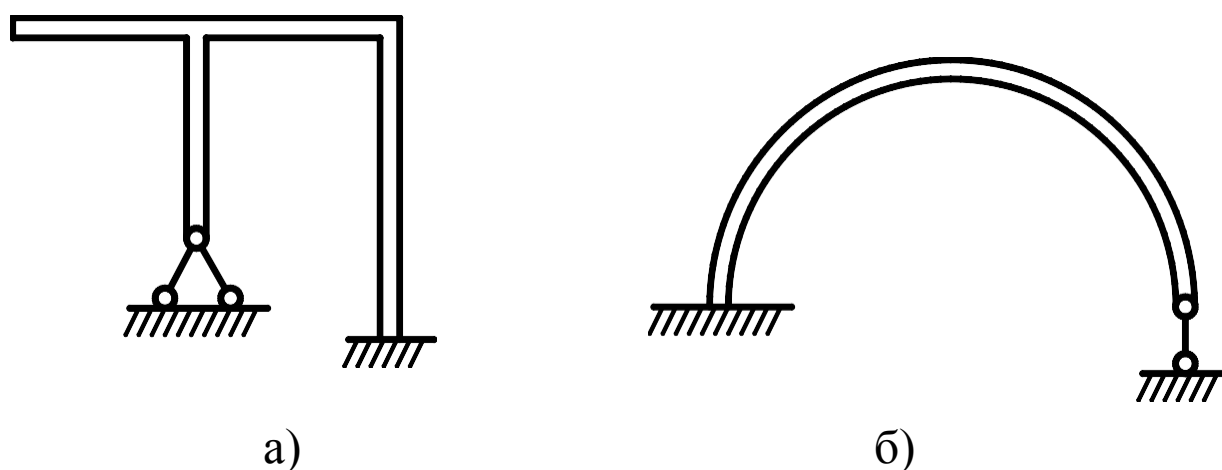


Рисунок 6.1

Соединения стержней в узловых точках называют узлами, причем, в зависимости от конструкции, узлы могут быть жесткими или шарнирными. Конструкция узлов оказывает существенное влияние на распределение и характер нагрузки, передающейся на отдельные стержни системы.

Все стержневые системы можно разделить на три группы: фермы, при расчете которых соединения в узлах считаются шарнирными; рамы с жестким соединением стержней; смешанные конструкции, в которых одни стержни соединены в узлах жестко, другие – шарнирно.

Соединение двух или нескольких стержней называется жестким, если углы, образованные в узловой точке осями соединяемых стержней, остаются неизменными и после упругой деформации стержневой системы. На рисунке 6.2 приведены примеры жесткого соединения прямых стержней. Под действием заданной нагрузки стержни системы могут растягиваться или изгибаться, но в непосредственной близости от узла угол, образуемый осями стержней, не изменяется при упругой деформации стержней.

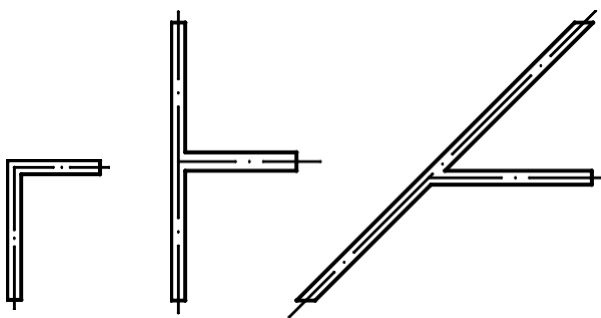


Рисунок 6.2

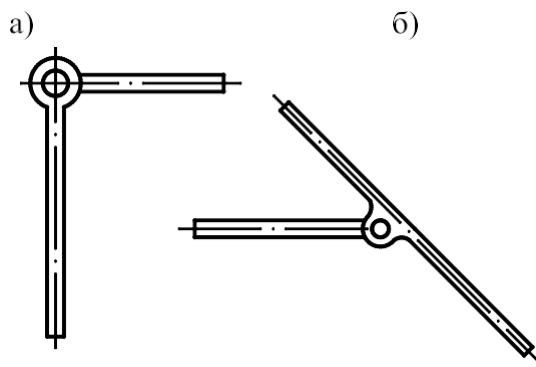


Рисунок 6.3

В шарнирных соединениях угол, образуемый осями стержней, под влиянием упругой деформации всей конструкции изменяется. Шарнирный способ соединения стержней показан на рисунке 6.3. На рисунке 6.3 а представлено шарнирное соединение концов стержней посредством так называемого полного шарнира. На рисунке 6.3 б приведена схема соединения путем присоединительного шарнира.

Горизонтальные элементы рам принято называть ригелями, вертикальные – стойками.

Для расчета рам на прочность, жесткость и устойчивость необходимо знать величины N_z , $Q(z)$, $M(z)$ во всех сечениях. Для этого строят эпюры продольных и поперечных сил и изгибающих моментов, передающихся через отдельные сечения стержней. По наибольшим ординатам эпюр находят опасные сечения, в которых возникают наибольшие напряжения.

Для плоских стержневых систем рекомендуется следующий порядок построения эпюр внутренних усилий:

- определяются опорные реакции; если конструкция имеет жесткую заделку, то эпюры можно строить и без предварительного определения опорных реакций, начиная решение со свободных концов, постепенно продвигаясь в направлении жесткой заделки;

- при расчете рам используется скользящая система координат: для каждого участка ось z_i направляется вдоль разрезаемого элемента от сечения, оси x_i и y_i перпендикулярно оси z_i ;
- для каждого участка записываются уравнения для N_z , $Q(z)$, $M(z)$ и строятся эпюры внутренних усилий. Правила знаков N_z , $Q(z)$ остаются такими же, как при построении эпюр продольных сил для стержней (практическое занятие 2) и поперечных сил для балок (практические занятия 4 и 5), эпюра изгибающих моментов строится на растянутых волокнах;
- для каждого участка выполняются дифференциально-интегральные проверки по формулам (4.2) и (4.3);
- для каждого узла выполняется проверка равновесия из условия, что сумма моментов и сумма проекций всех сил, передающиеся на узел через сечения, непосредственно примыкающие к узлу, равны нулю.

Пример 6.1

Построить эпюры внутренних усилий для двухопорной рамы (рисунок 6.4 а).

Решение

Определяем опорные реакции:

$$\begin{aligned}\sum X &= 0; \quad -4 \cdot 3 + H_A = 0; \quad H_A = 12 \text{ кН}; \\ \sum M_A &= 0; \quad 6 - 36 \cdot 1 + 4 \cdot 3 \cdot 1,5 + 2R_B = 0; \quad R_B = 6 \text{ кН}; \\ \sum M_B &= 0; \quad 6 + 36 \cdot 1 + 4 \cdot 3 \cdot 1,5 - 2R_A = 0; \quad R_A = 30 \text{ кН}.\end{aligned}$$

$$\text{Проверка: } \sum Y = 0; \quad -36 + 30 + 6 = 0; \quad -36 + 36 = 0.$$

Определяем внутренние усилия в характерных сечениях каждого участка рамы.

Участок AD :

Сечение A : $N_z = -R_A = -30 \text{ кН}$ (сжатие),
 $Q(z) = -H_A = -12 \text{ кН}$, $M(z) = 0$;

Сечение D : $N_z = -R_A = -30 \text{ кН}$ (сжатие),
 $Q(z) = -H_A = -12 \text{ кН}$,
 $M(z) = 12 \cdot 3 = 36 \text{ кН} \cdot \text{м}$ (растянуты левые волокна).

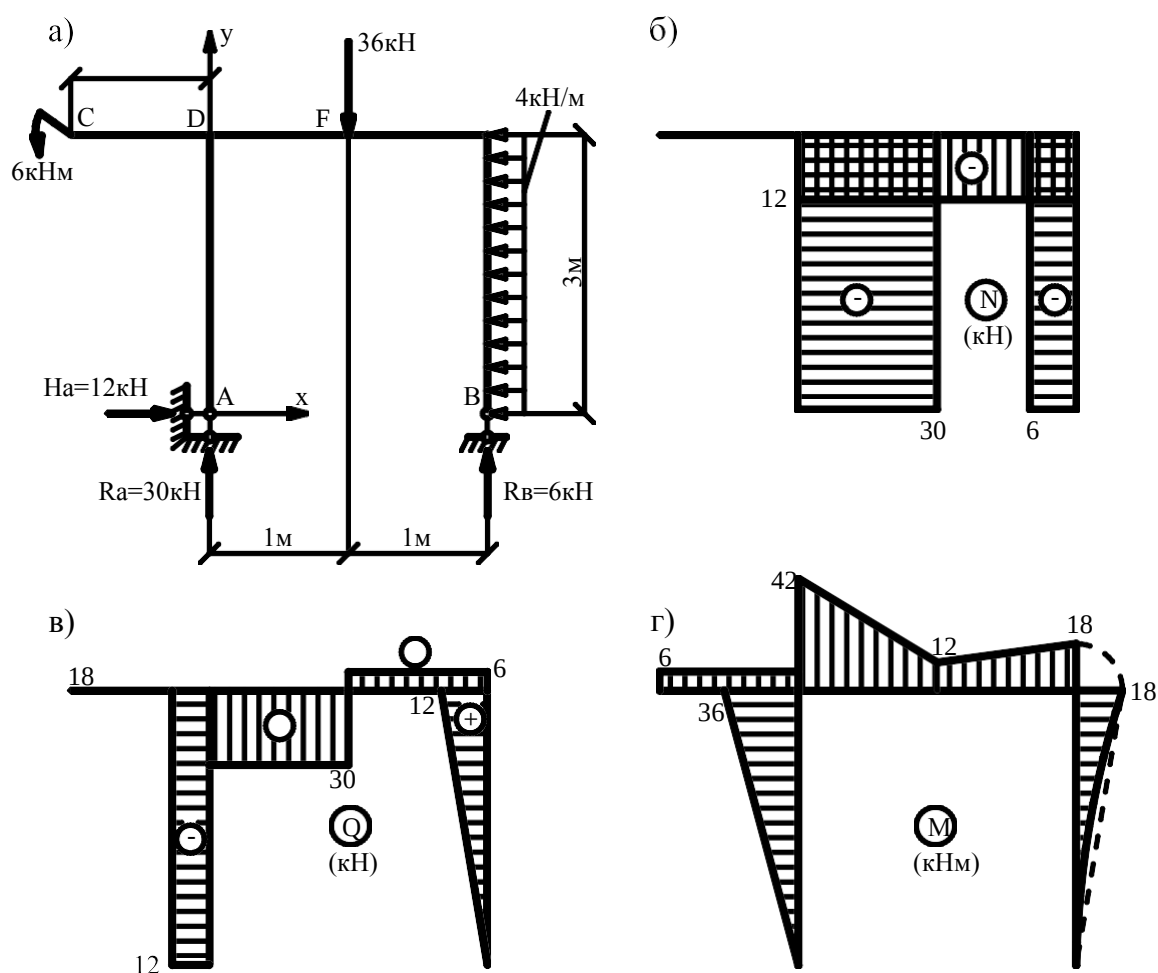


Рисунок 6.4

Участок BE :

Сечение B : $N_z = -R_B = -6 \text{ кН (сжатие)},$
 $Q(z) = 0, \quad M(z) = 0;$

Сечение E : $N_z = -R_B = -6 \text{ кН (сжатие)},$
 $Q(z) = 4 \cdot 3 = 12 \text{ кН},$
 $M(z) = 4 \cdot 3 \cdot 1,5 = 18 \text{ кН} \cdot \text{м (растянуты правые волокна)}.$

Ригель CE :

Сечение C : $N_z = 0,$
 $Q(z) = 0, \quad M(z) = 6 \text{ кН} \cdot \text{м (растянуты верхние волокна)};$

Сечение D $N_z = 0,$
 (слева): $Q(z) = 0, \quad M(z) = 6 \text{ кН} \cdot \text{м (растянуты верхние волокна)};$

Сечение D $N_z = -H_A = -12 \text{ кН (сжатие)},$
 (справа): $Q(z) = R_A = 30 \text{ кН},$
 $M(z) = 6 + 12 \cdot 3 = 42 \text{ кН} \cdot \text{м (растянуты верхние волокна)};$

Сечение F $N_z = -H_A = -12 \text{ кН (сжатие)},$
 (слева): $Q(z) = R_A = 30 \text{ кН},$
 $M(z) = 42 - 30 \cdot 1 = 12 \text{ кН} \cdot \text{м (растянуты верхние волокна)};$

Сечение F $N_z = -H_A = -12 \text{ кН (сжатие)},$
 (справа): $Q(z) = R_A - P = 30 - 36 = -6 \text{ кН},$
 $M(z) = 4 \cdot 3 \cdot 1,5 - 6 \cdot 1 = 12 \text{ кН} \cdot \text{м (растянуты верхние волокна)};$

Сечение E : $N_z = -H_A = -12 \text{ кН (сжатие)},$
 $Q(z) = -R_B = -6 \text{ кН},$
 $M(z) = 4 \cdot 3 \cdot 1,5 = 18 \text{ кН} \cdot \text{м (растянуты верхние волокна)}.$

Эпюры внутренних усилий приведены на рисунке 6.4 б, в, г.

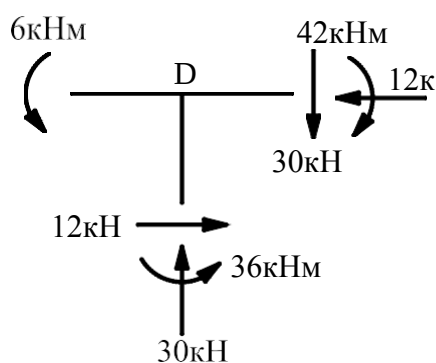


Рисунок 6.5

Вырежем мысленно узел D и проверим его равновесие под действием внутренних усилий, сходящихся в узле (рисунок 6.5). Проверка показывает, что узел находится в равновесии. Для усвоения проверки равновесия в узлах рекомендуется проверить равновесие в узле E самостоятельно.

Задача 6.1

Построить эпюры внутренних усилий для двухопорной рамы, схема которой приведена на рисунке 6.6.

Вопросы к практическому занятию

1. Назовите типы стержневых систем.
2. Чем отличается жесткий узел стержневой системы от шарнирного узла?
3. Как располагаются оси координат в элементах системы в зависимости от расположения стержней?
4. Как выполняется проверка равновесия в узлах?

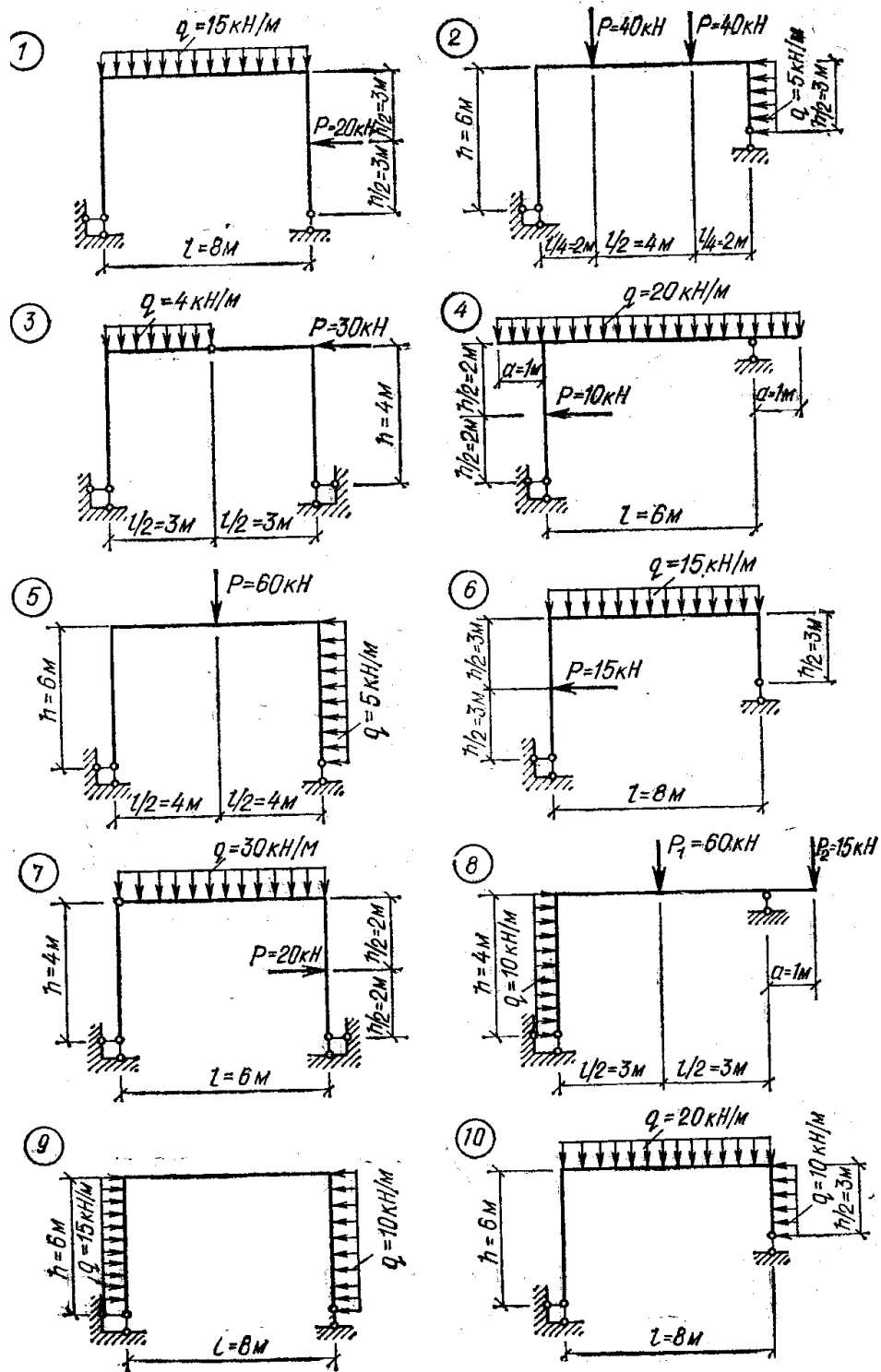
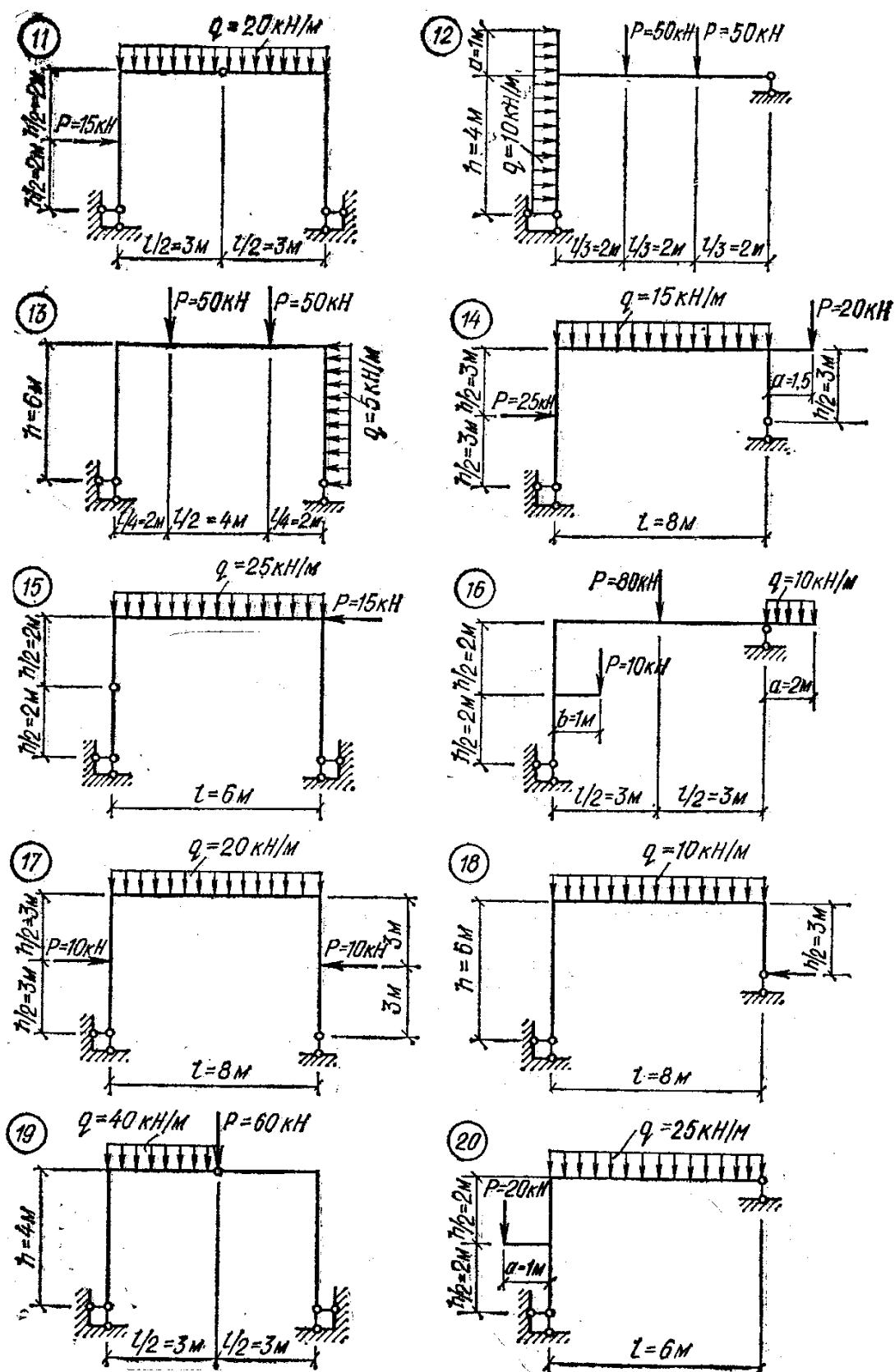
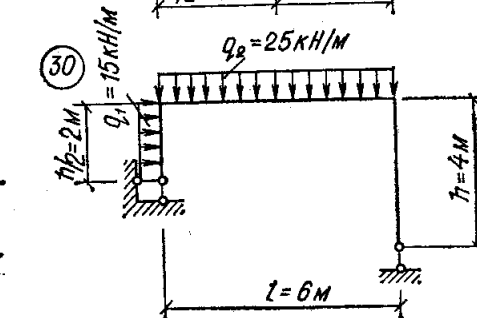
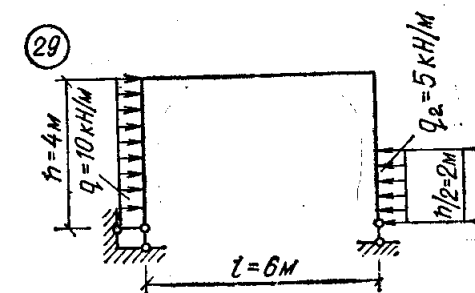
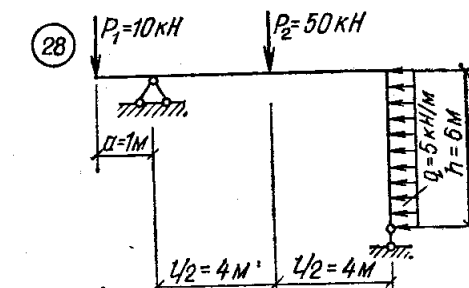
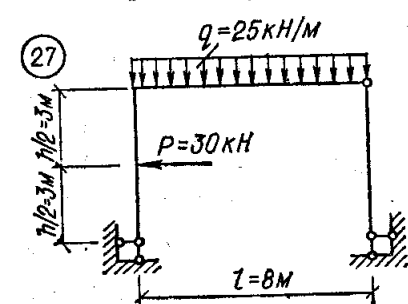
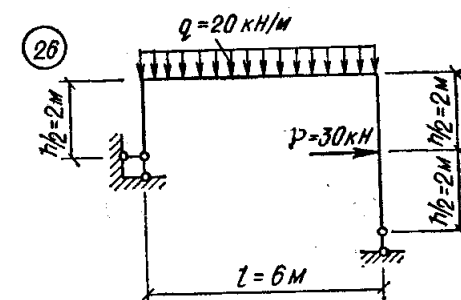
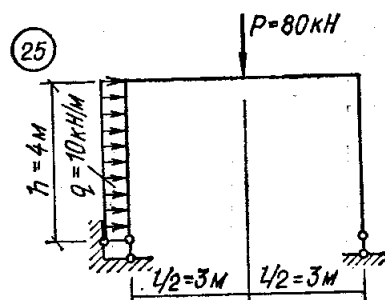
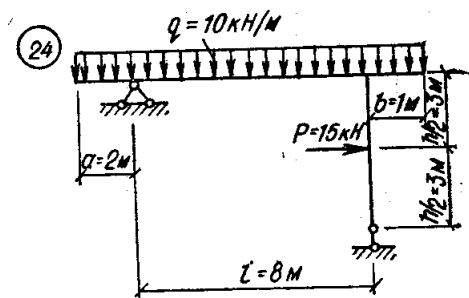
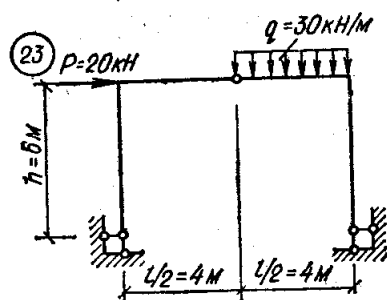
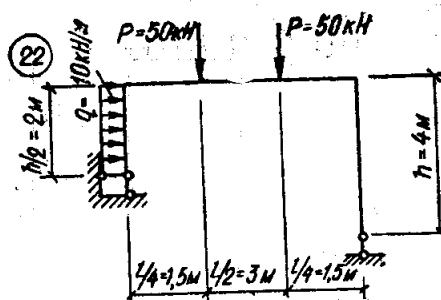
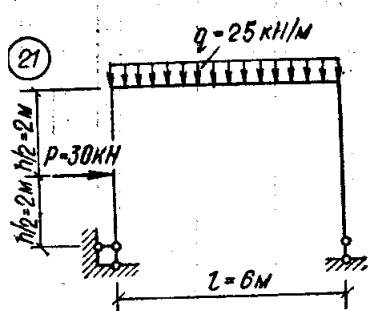


Рисунок 6.6



Продолжение рисунка 6.6



Продолжение рисунка 6.6

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 7

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ДЛЯ ПЛОСКИХ КОНСОЛЬНЫХ РАМ

Теоретическая часть

Основные теоретические положения, касающиеся расчета плоских рам, изложены в теоретической части к практическому занятию 6.

Пример 7.1

Для консольной рамы построить эпюры внутренних усилий.

Решение

Вычисление усилий для консольных балок и ломаных стержней удобно начинать со свободного конца; опорные реакции при этом определять не требуется.

Определяем внутренние усилия в характерных сечениях каждого участка рамы.

Участок AB :

Сечение $N_z = 0$, $Q(z) = 0$,

A : $M(z) = 50 \text{ кН} \cdot \text{м}$ (растянуты нижние волокна);

Сечение $N_z = 0$, $Q(z) = 20 \cdot 2 = 40 \text{ кН}$,

B : $M(z) = 50 - 20 \cdot 2 \cdot 1 = 10 \text{ кН} \cdot \text{м}$ (растянуты нижние волокна).

Участок BC :

Сечение B : $N_z = -20 \cdot 2 = -40$ кН (сжатие), $Q(z) = 0$,
 $M(z) = 10$ кН $\cdot$ м (растянуты правые волокна);

Сечение C : $N_z = -40$ кН (сжатие),
 $Q(z) = 10 \cdot 1,5 = 15$ кН,
 $M(z) = 10 - 10 \cdot 1,5 \cdot 0,75 = 1,25$ кН $\cdot$ м (растянуты левые волокна).

Участок CD :

Сечение C : $N_z = -40$ кН (сжатие),
 $Q(z) = 10 \cdot 1,5 - 40 = -25$ кН,
 $M(z) = 1,25$ кН $\cdot$ м (растянуты левые волокна);

Сечение D : $N_z = -40$ кН (сжатие),
 $Q(z) = -25$ кН,
 $M(z) = 10 - 10 \cdot 1,5 \cdot 2,25 + 40 \cdot 1,5 = 36,25$ кН $\cdot$ м
(растянуты правые волокна).

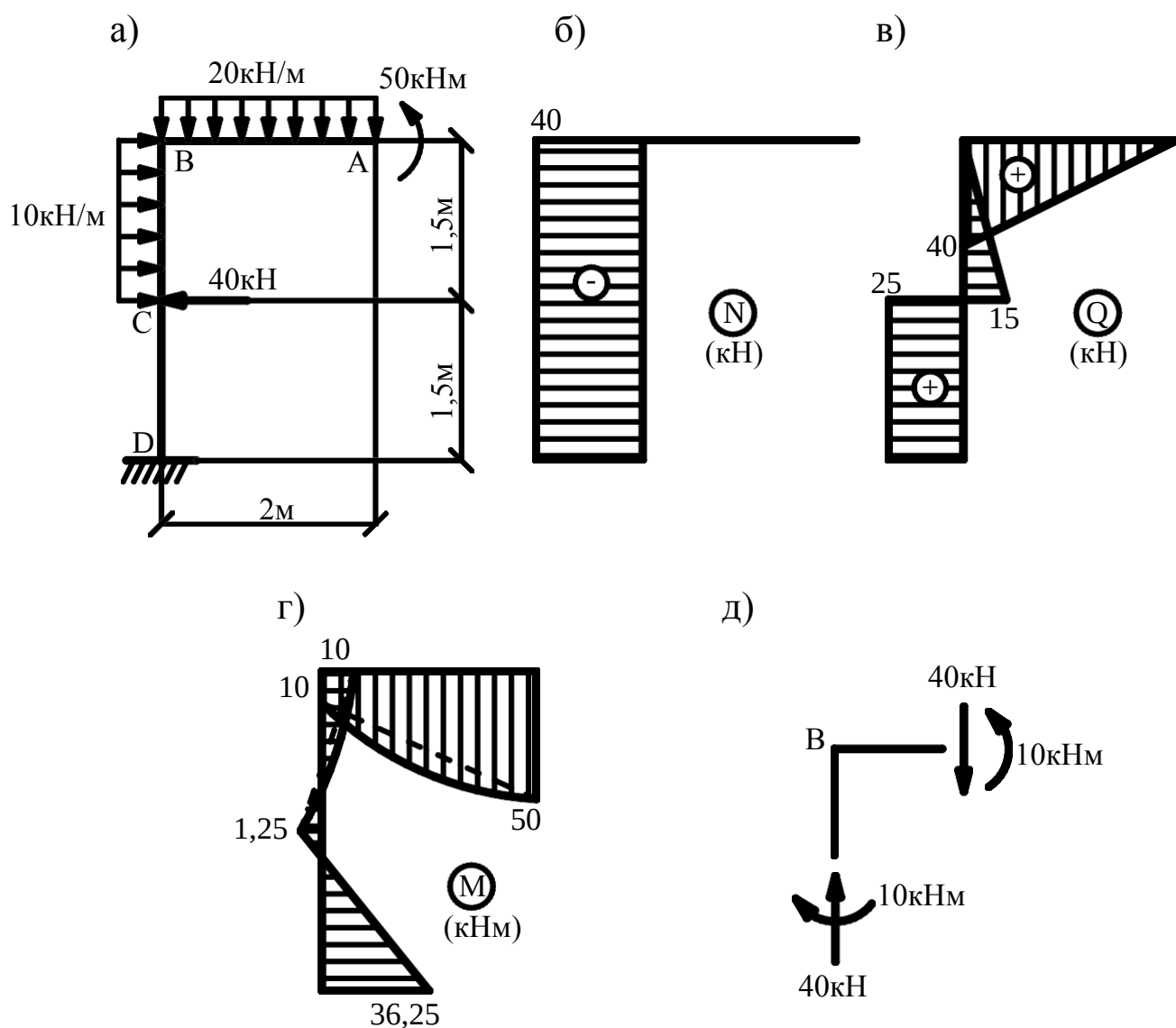


Рисунок 7.1

Эпюры внутренних усилий приведены на рисунке 7.1 б, в, г. Проверим равновесие узла B . Для этого мысленно вырежем этот узел и приложим к нему внутренние усилия, действующие в поперечных сечениях стойки и ригеля (рисунок 7.1 д). Очевидно, что уравнения статики $\sum X = 0$, $\sum Y = 0$, $\sum M_B = 0$ выполняются, следовательно, узел находится в равновесии.

Задание 7.1

Построить эпюры внутренних усилий для консольной рамы, изображенной на рисунке 7.2.

Вопросы к практическому занятию

1. Почему необязательно определять опорные реакции при построении эпюр внутренних усилий для консольных рам?
2. По какому принципу строятся эпюры изгибающих моментов для плоских рам?
3. Решить задачу по построению эпюр внутренних усилий для плоской рамы по заданию преподавателя.

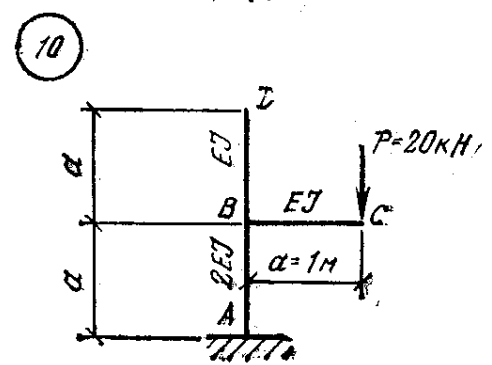
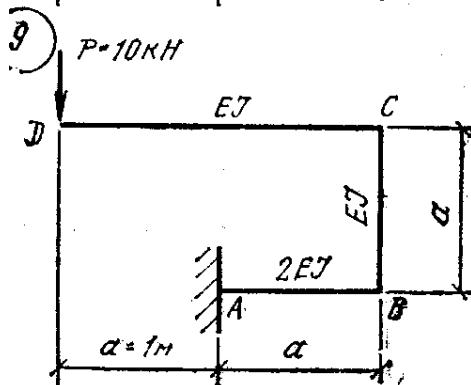
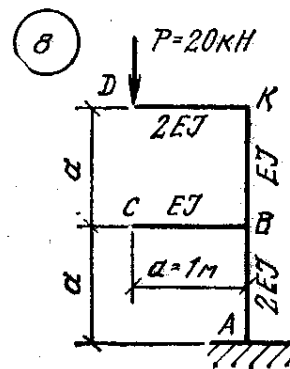
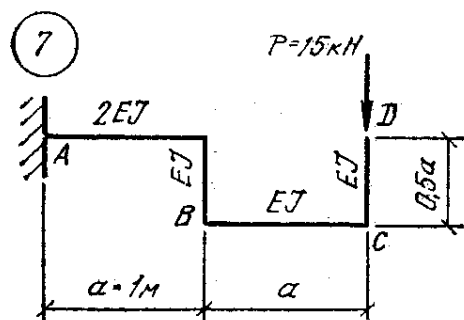
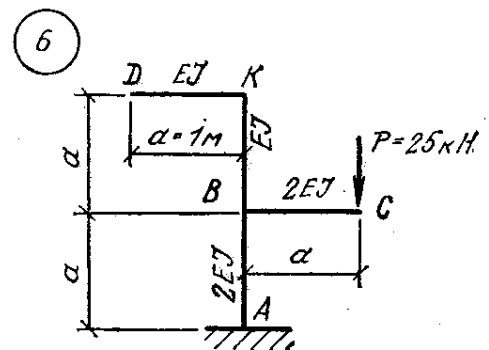
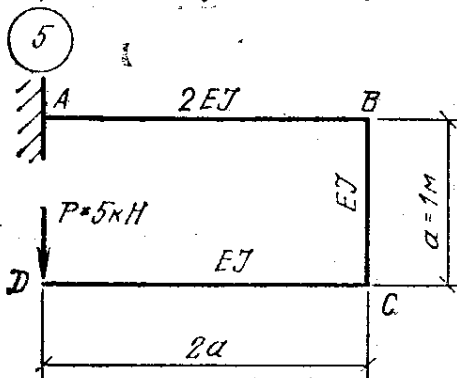
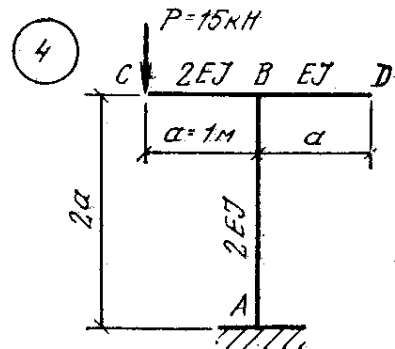
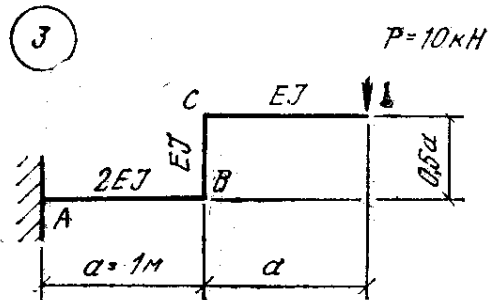
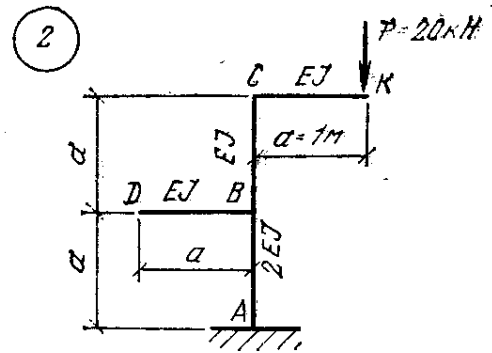
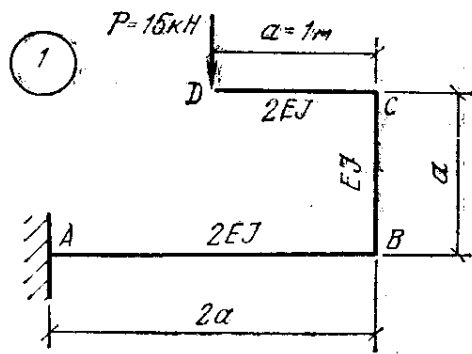
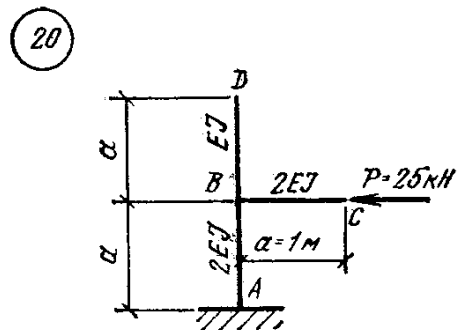
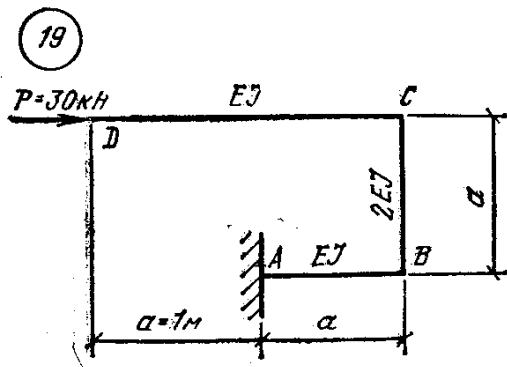
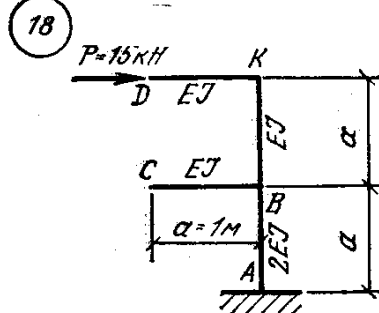
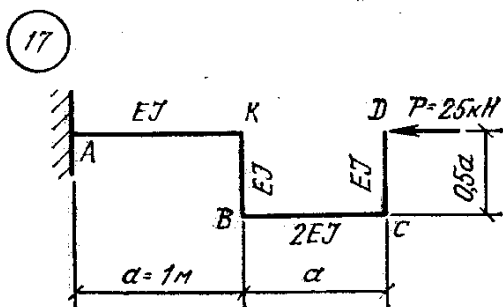
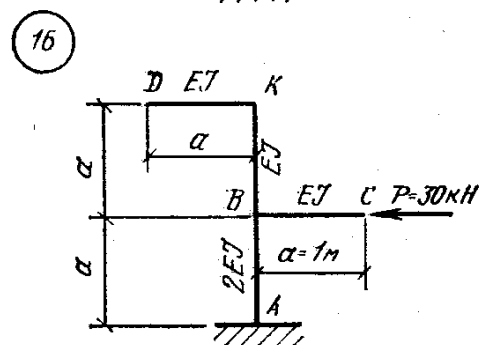
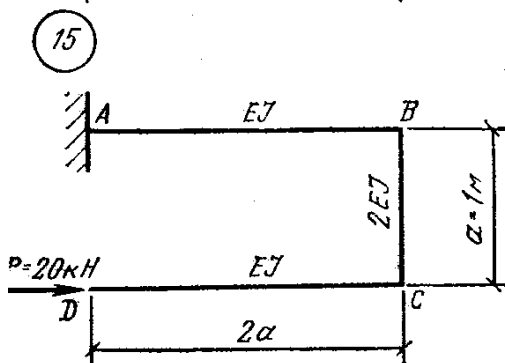
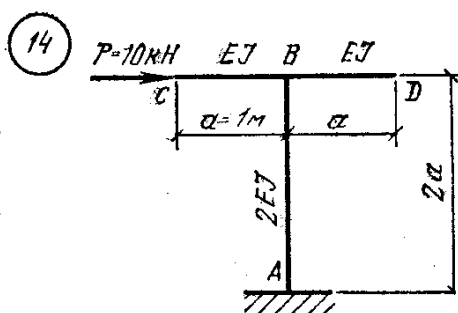
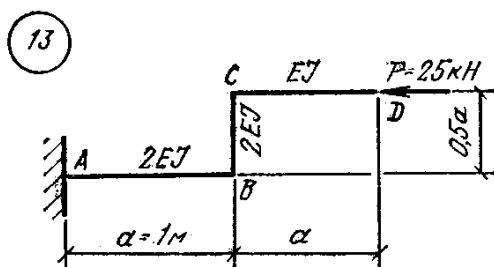
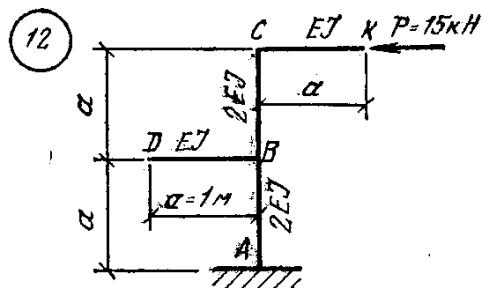
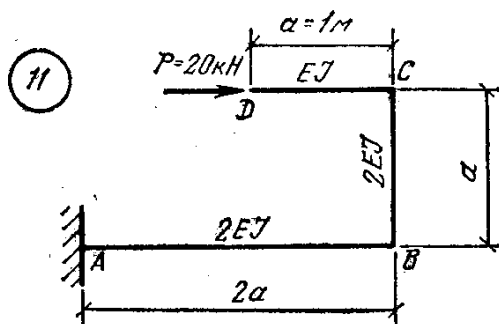
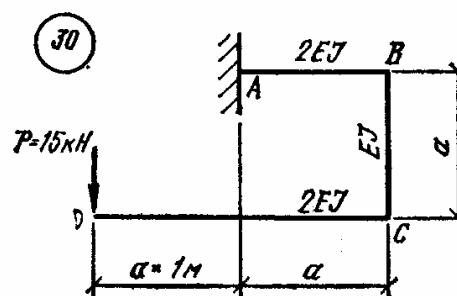
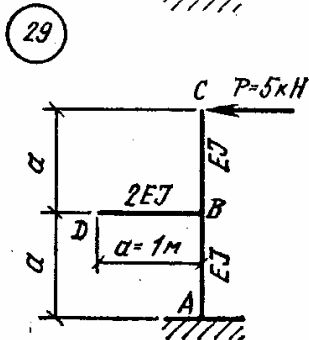
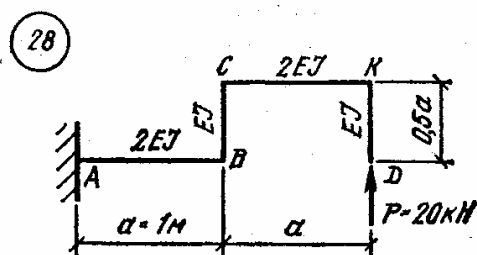
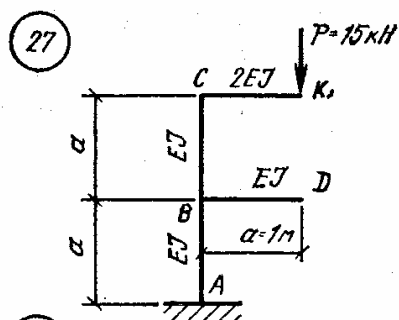
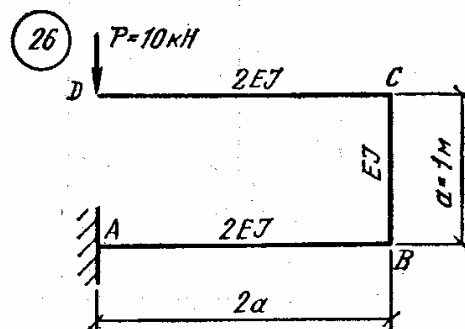
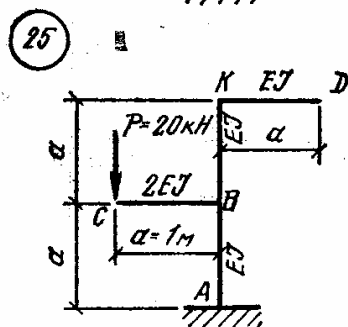
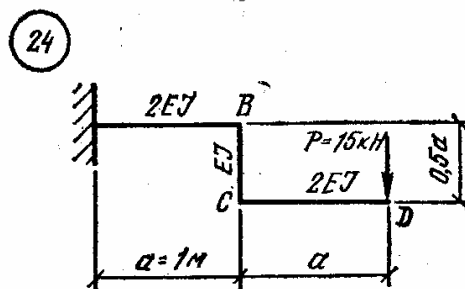
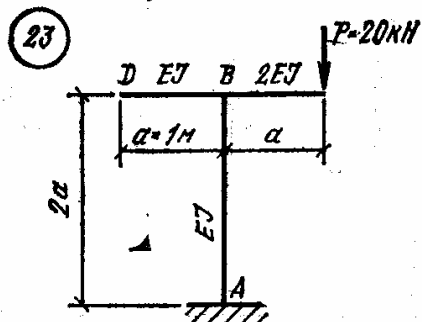
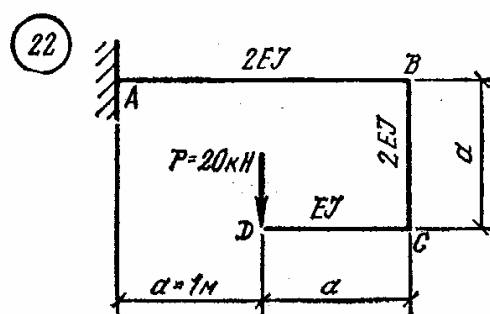
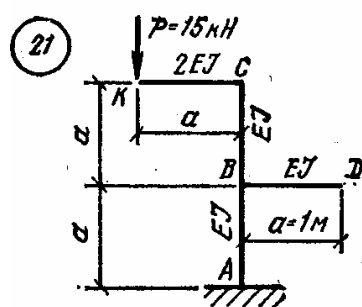


Рисунок 7.2



Продолжение рисунка 7.2



Продолжение рисунка 7.2

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 8

ПОДБОР СЕЧЕНИЙ БАЛОК ИЗ УСЛОВИЯ ПРОЧНОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ

Теоретическая часть

Нормальные напряжения при изгибе определяются по формуле

$$\sigma_{\max} = \left| \frac{M_{\max}}{W_x} \right|, \quad (8.1)$$

$$\text{где } W_x = \frac{J_x}{y_{\max}}. \quad (8.2)$$

Момент сопротивления изгибу W_x характеризует сопротивляемость бруса изгибу. Он измеряется в см^3 , мм^3 , м^3 и т. д., зависит от формы и размеров поперечного сечения. Приведенные формулы позволяют проверить прочность бруса по нормальным напряжениям при заданном изгибающем моменте. Если необходимо определить требуемые размеры бруса при заданном изгибающем моменте (произвести подбор сечения), определяют расчетный момент сопротивления из условия прочности

$$\sigma_{\max} = \left| \frac{M_{\max}}{W_x} \right| \leq [\sigma], \quad (8.3)$$

$$\text{откуда } W_x \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]}, \quad (8.4)$$

а затем назначают размеры сечения так, чтобы его момент сопротивления был близок к расчетному.

В некоторых случаях, например, для двутавровой балки, необходимо произвести проверку прочности в ряде характерных точек поперечного сечения.

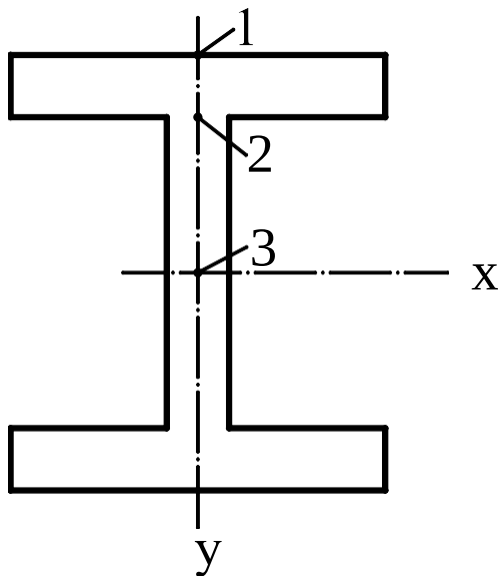


Рисунок 8.1

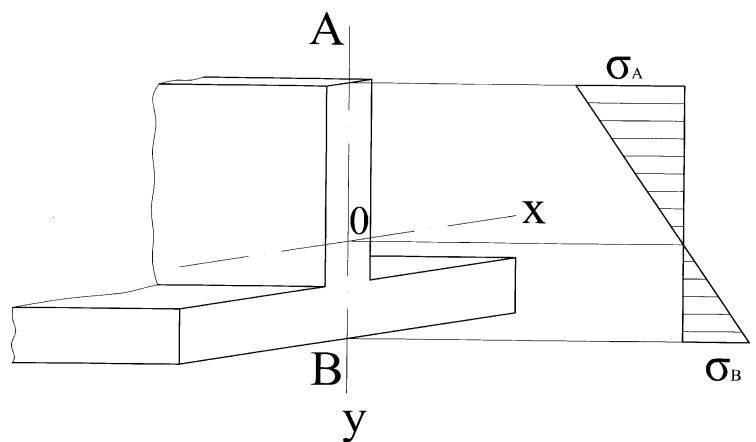


Рисунок 8.2

В точке 1 (рисунок 8.1) касательные напряжения равны нулю, поэтому проверка прочности производится по нормальным напряжениям. В точке 3, наоборот, нормальные напряжения равны нулю, а касательные имеют максимальное значение, поэтому проверку необходимо производить по формуле

$$\tau_{\max} = \frac{QS_x^{\text{отс}}}{J_x b} \leq [\tau]. \quad (8.5)$$

В точке 2 возникают и нормальные и касательные напряжения, при этом и те и другие довольно велики. В этом случае проверку прочности можно произвести по главным напряжениям, рассчитанным с применением различных теорий прочности. В строительной практике чаще всего используется формула

$$\sigma_{\substack{\text{max,} \\ \text{min}}} = \frac{\sigma}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma]. \quad (8.6)$$

Проверка прочности в некоторых точках предусматривает уточнение размеров отдельных элементов сечения, например толщину вертикальной стенки балки.

Если сечение симметрично относительно оси OX , то по формуле (8.1) можно определять как наибольшие растягивающие, так и наибольшие сжимающие напряжения.

Для несимметричных сечений формулой (8.1) можно пользоваться только для определения самых больших по модулю напряжений. Так, для сечения, показанного на рисунке 8.2, по формуле (8.1) можно определить напряжение только в точке A , напряжения в точке B следует рассчитывать по формуле (8.7).

$$\sigma_B = \left| \frac{M_{\text{max}}}{J_x} y_B \right|, \quad (8.7)$$

В тех случаях, когда материал, из которого изготовлен брус, имеет различные допускаемые напряжения при растяжении и сжатии, например чугун, проверку прочности необходимо проводить по формулам (8.8), определяя как максимальное растягивающее, так и наибольшее сжимающее напряжения:

$$\begin{aligned}\sigma_{\min} = \sigma_A &= \left| \frac{M_{\max}}{J_x} y_A \right| \leq [\sigma_c], \\ \sigma_{\max} = \sigma_B &= \left| \frac{M_{\max}}{J_x} y_B \right| \leq [\sigma_p],\end{aligned}\tag{8.8}$$

где $[\sigma_c]$, $[\sigma_p]$ – допускаемые напряжения сжатия и растяжения для материала бруса.

Большое значение при изгибе имеет выбор рациональной формы поперечного сечения балки. При различной площади сечения можно подобрать несколько различных типов сечений, причем каждый из них будет иметь момент сопротивления, близкий к расчетному; наиболее выгодным считается сечение, у которого площадь поперечного сечения наименьшая.

Рассмотрим случай, когда сечение симметрично относительно горизонтальной оси. Так как

$$W_x = \frac{J_x}{y_{\max}} = \frac{J_x}{(h/2)},$$

то при одинаковых высотах необходимо стремиться так расположить материал по высоте, чтобы момент инерции сечения был максимальным:

$$J_x = \int_F y^2 dF.\tag{8.9}$$

Из выражения (8.9) можно заключить, что чем дальше от центрального слоя располагаются частицы площади сечения, тем больше момент инерции, а следовательно (при заданной высоте), больше и момент сопротивления.

Из четырех сечений, показанных на рисунке 8.3, наиболее выгодно двутавровое сечение. Этим объясняется широкое применение в строительной практике двутавровых балок. Круглое сечение и, в особенности,

крестообразное невыгодны, и поэтому, как правило, для балок не применяются.

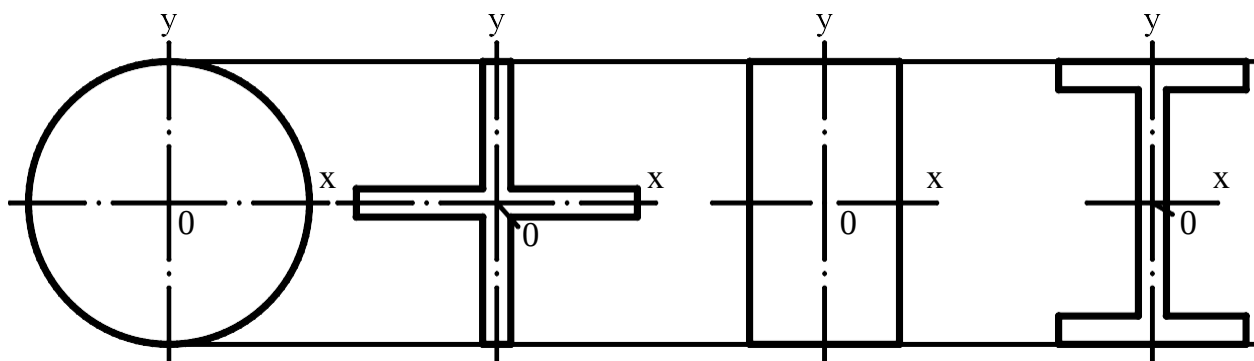


Рисунок 8.3

Прямоугольное сечение употребляют только в тех случаях, когда это оправдано с технологической точки зрения. Например, применяют деревянные брусья или пакеты из деревянных брусьев, так как изготовление деревянных двутавровых балок требует значительных трудозатрат, приводящих к перерасходу материальных средств.

Если в одном и том же поперечном сечении балки одновременно действуют максимальный изгибающий момент и максимальная поперечная сила или величины $Q(z)$ и $M(z)$, близкие к максимальным, то производят проверку прочности балки по главным напряжениям.

Прочность по главным напряжениям проверяют только для балок, поперечное сечение которых имеет тонкую стенку, резко расширяющуюся вблизи крайних волокон. Проверку прочности производят в точках перехода от малой ширины сечения к большой. Балки из пластичного материала проверяют по третьей гипотезе прочности по формуле

$$\sigma_{\text{эш}} = \sigma_1 - \sigma_3 = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma]. \quad (8.10)$$

Балки из хрупкого материала проверяют по первой гипотезе прочности согласно условию

$$\sigma_{\text{эл}} = \frac{1}{2} (\sigma + \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}) \leq [\sigma_p]. \quad (8.11)$$

Пример 8.1

Подобрать двутавровую балку и выполнить полную проверку ее прочности, если $P = 40$ кН, $q = 30$ кН/м, $\alpha = 0,8$ м, $\ell = 4$ м $[\sigma] = 160$ МПа, $[\tau] = 100$ МПа, схема нагружения балки приведена на рисунке 8.4.

1. Определяем опорные реакции и строим эпюры поперечных сил и изгибающих моментов (подробно рассмотрено на практических занятиях 4 и 5).

2. Подберем сечение двутавровой балки. Поскольку $M_{\text{max}} = 45$ кН·м, то

$$W_x = \frac{M_{\text{max}}}{[\sigma]} = \frac{45 \cdot 10^6}{160} = 281 \cdot 10^3 \text{ мм}^3 = 281 \text{ см}^3. \text{ По таблице сортамента}$$

прокатной стали (ГОСТ 8239-72) для двутавра № 22а $W_x = 254 \text{ см}^3$.

$$\frac{\sigma_{\text{max}} - [\sigma]}{[\sigma]} \cdot 100 = \frac{W_x - W_{x\text{№}22a}}{W_{x\text{№}22a}} \cdot 100 = \frac{281 - 254}{254} \cdot 100 = 10,6\% > 5\%$$

(перенапряжение).

Для двутавра № 24 $W_x = 289 \text{ см}^3$.

$$\frac{\sigma_{\max} - [\sigma]}{[\sigma]} \cdot 100 = \frac{W_x - W_{x\text{№}24}}{W_{x\text{№}24}} \cdot 100 = \frac{281 - 289}{289} \cdot 100 = -2,77\% < 5\%$$

(недонапряжение).

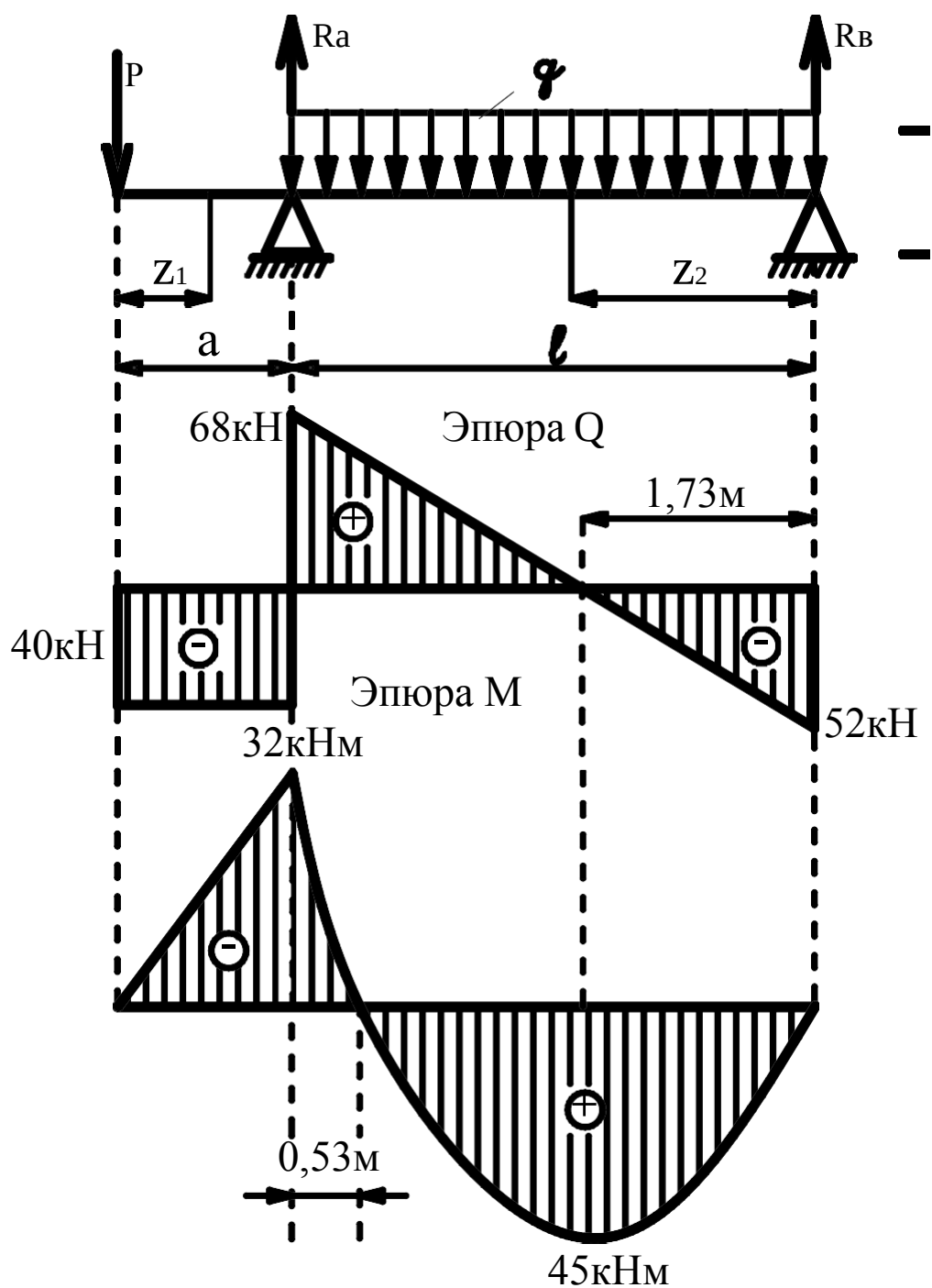


Рисунок 8.4

Выбираем двутавр №24, для которого выписываем геометрические характеристики из таблицы сортамента: $W_X = 289 \text{ см}^3$, $I_X = 3460 \text{ см}^4$, $S_X^{omc} = 163 \text{ см}^3$, $h = 24 \text{ см}$, $b = 11,5 \text{ см}$, $t = 0,95 \text{ см}$, $d = b_0 = 0,56 \text{ см}$, $h_0 = h - 2t = 22,1 \text{ см}$ (рисунок 8.5). Этот двутавр будет работать при максимальном нормальном напряжении в крайних волокнах опасного сечения:

$$\sigma_{\max} = -\frac{M_{\max}}{W_X} = \frac{45 \cdot 10^3}{289 \cdot 10^{-6}} = 156 \cdot 10^6 \text{ Па} = 156 \text{ МПа}.$$

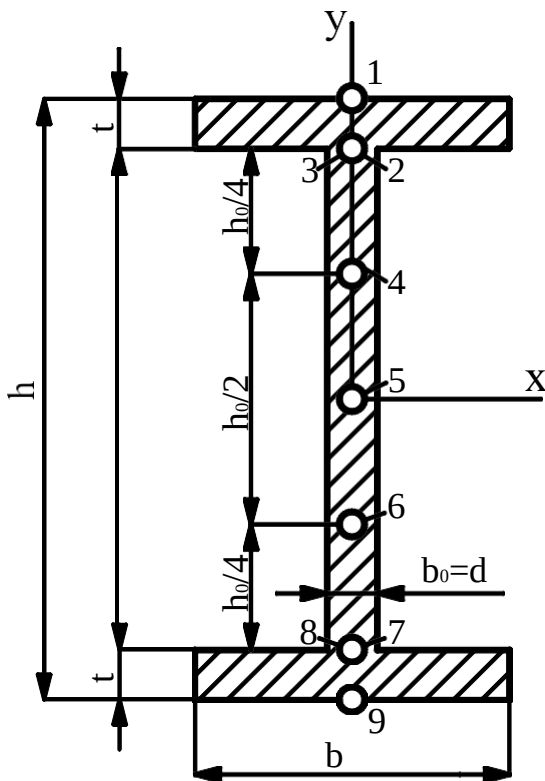


Рисунок 8.5

3. Проверим прочность сечения балки по касательным напряжениям.

Так как $Q_{\max} = 68 \text{ кН}$, то

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_X^{omc}}{b_0 \cdot J} = \frac{68 \cdot 10^3 \cdot 163 \cdot 10^{-6}}{0,56 \cdot 10^{-2} \cdot 3460 \cdot 10^{-8}} \approx 56 \cdot 10^6 \text{ Па} = 56 \text{ МПа} < [\tau] = 100 \text{ МПа}.$$

4. Построим эпюры нормальных σ , касательных τ , главных $\sigma_{1,3}$ и экстремальных касательных $\tau_{\max, \min}$ напряжений в неблагоприятном сечении балки и определим их направления.

В отношении главных напряжений неблагоприятным является сечение над левой опорой (при подходе к ней справа), в котором $M = -32 \text{ кН}$, $Q = 68 \text{ кН}$.

Нормальное напряжение в произвольной точке, находящейся на расстоянии y от нейтральной оси, по формуле (8.7)

$$\sigma = \left| \frac{M}{J_x} y \right| = \frac{32 \cdot 10^3 \cdot y}{3460 \cdot 10^{-8}} = 92,5 y.$$

Статический момент площади полки относительно оси x

$$S_n = bt \frac{h-t}{2} = 11,5 \cdot 0,95 \frac{24 - 0,95}{2} \approx 126 \text{ см}^3.$$

Статический момент части площади стенки по одну сторону ординаты y

$$S_c = \frac{b_0}{2} \left(\frac{h_0^2}{4} - y^2 \right) = \frac{0,56}{2} \left(\frac{22,1^2}{4} - y^2 \right) = 0,28 \cdot (122 - y^2).$$

Статический момент части сечения по одну сторону ординаты y

$$S = S_n + S_c = 126 + 0,28(122 - y^2) \approx 160 - 0,28y^2.$$

Касательные напряжения определим по формуле Журавского для

точек полки $\tau = \frac{Q \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)}{2J_x}$, а для точек стенки $\tau = \frac{QS_x^{omc}}{J_x b}$.

Экстремальные касательные напряжения определим по формуле

$$\tau_{\frac{\max}{\min}} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2},$$

главные напряжения σ_1 и σ_3 находим из выражения

$$\sigma_{1,3} = \frac{1}{2} \left(\sigma \pm \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \right),$$

углы наклона главных площадок α_1 и α_2 определим по тангенсу

$$tg 2\alpha = -2 \frac{\tau}{\sigma}.$$

Значения каждой расчетной величины для пяти точек сечения сведены в таблицу 8.1.

Таблица 8.1

Номер точек	y, см	σ	τ	$\tau_{\max, \min}$	σ_1	σ_3	$tg2\alpha$	α_1	α_2
		МПа							
1	12,00	111	0	$\pm 55,5$	111	0	-0,00	0°	90°
2	11,05	102	2	± 51	102	0	-0,039	-1°7′	88°53′
3	11,5	102	44	± 67	118	-16	-0,863	- 20°24′	69°36′
4	5,52	51	53	± 59	84	-34	-2,08	- 32°10′	57°50′
5	0,00	0	56	± 56	56	-56	∞	45°	45°
6	-5,52	-51	53	± 59	34	-84	2,08	32°10′	122°10′
7	-11,05	-102	44	± 67	16	-118	0,863	20°24′	110°24′
8	-11,05	-102	2	± 51	0	-102	0,0392	1°7′	91 ° 7′
9	-12,00	-111	0	$\pm 55,5$	0	-111	0,00	0°	90°

Эпюры напряжений изображены на рисунке 8.6. Направления главных напряжений в рассмотренных точках показаны на рисунке 8.7.

5. Проверим прочность балки по главным напряжениям. Наиболее опасной точкой в неблагоприятном сечении является точка 3. В этой точке $\sigma_1 = 118$ МПа и $\sigma_3 = -16$ МПа. Проверяем прочность в этой точке по третьей гипотезе прочности согласно неравенству $\sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma]$. Так как $118 + 16 = 134 < 160$, то выбранное сечение удовлетворяет условию прочности по главным напряжениям.

6. Методику подбора прямоугольных, квадратных и круглых сечений балок изучите самостоятельно по рекомендуемой литературе [1], [2].

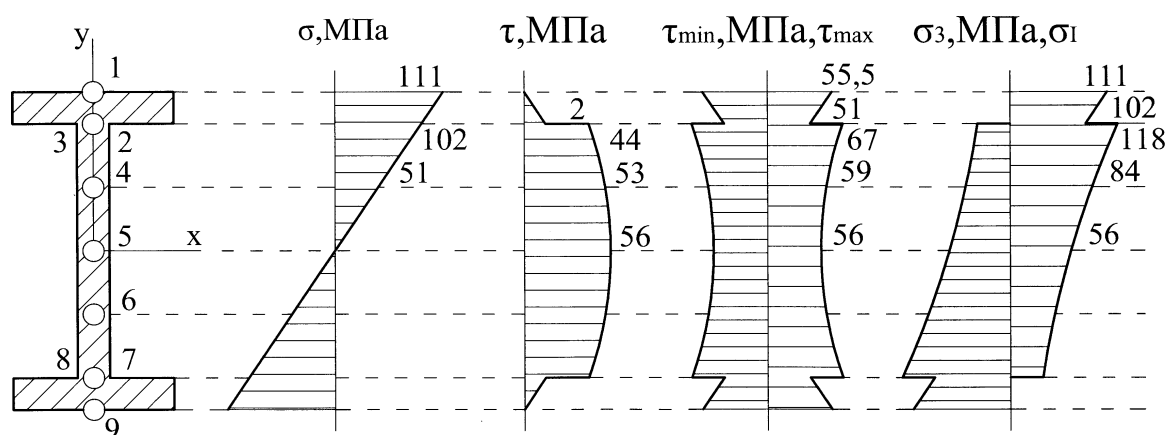


Рисунок 8.6

Задание 8.1

Для балки, схема нагружения которой изображена на рисунке 5.9, подобрать двутавр и выполнить для выбранного номера профиля полную проверку прочности, если $\ell = 2$ м, $q = 10$ кН/м, $[\sigma] = 160$ МПа.

Вопросы к практическому занятию

1. В каких случаях выполняется полная проверка прочности балки?
2. По каким формулам рассчитываются

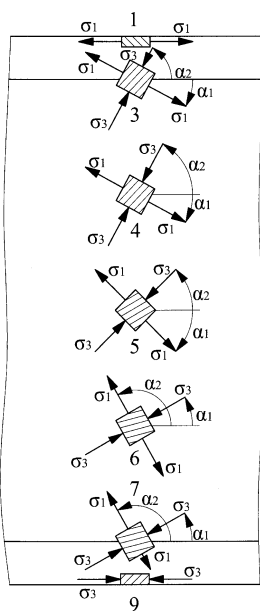


Рисунок 8.7

главные напряжения для пластичных и хрупких материалов?

3. Подберите номер двутавровой балки, схема нагружения которой предложена преподавателем.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
(наименование дисциплины)**

Направление подготовки
Направленность (профиль)

08.03.01 Строительство
Проектирование зданий

Ставрополь

1. ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАНИЯ И ЕГО ОБЪЕМ

Задание к расчетно-графической работе 1

Расчетно-графическая работа 1 выполняется в III семестре. Работа состоит из четырех заданий. Вариант заданий выбирается индивидуально каждым студентом в следующей последовательности:

- получить у преподавателя индивидуальный четырехзначный шифр;
- по двум первым цифрам индивидуального шифра выбрать расчетную схему: по таблице 1 для задания 1, по таблице 3 для задания 2, по таблице 5 для задания 3, по таблице 7 для задания 4;
- вариант исходных данных выбирается по двум последним цифрам индивидуального двузначного шифра: по таблице 2 для задания 1, по таблице 4 для задания 2, по таблице 6 для задания 3, по таблице 8 для задания 4.

Например, преподаватель выдал студенту индивидуальный четырехзначный шифр 3213. Студент должен выбрать:

- расчетную схему номер 32 (из таблицы 1 – для задания 1, из таблицы 3 для задания 2, из таблицы 5 для задания 3, из таблицы 7 для задания 4);
- исходные данные по строке 13 (из таблицы 2 для задания 1, из таблицы 4 для задания 2, из таблицы 6 для задания 3, из таблицы 8 для задания 4).

Задание 1. ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ

Для ступенчатого стержня (схема 1) построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений. Указать опасное сечение.

Для круглого вала постоянной жесткости (схема 2) построить эпюру крутящих моментов и указать опасное сечение.

Для балок постоянной жесткости (схемы 3 – 10) определить опорные реакции (для консольных балок на схемах 3 и 4 опорные реакции определять не обязательно), построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, указать опасное сечение. Выполнить дифференциально-интегральные проверки правильности построения эпюр для каждого участка. Эпюры изгибающих моментов строить на растянутых волокнах.

Для плоских статически определимых рам (схемы 11 – 12) построить эпюры продольных сил, поперечных сил и изгибающих моментов, предварительно определив для схемы 11 опорные реакции. Выполнить дифференциально-интегральные проверки правильности построения эпюр для каждого участка. Эпюры изгибающих моментов строить на растянутых волокнах. Выполнить проверку равновесия в узлах.

Схемы нагружения выбрать по таблице 1, расчетные данные – по таблице 2 в соответствии с индивидуальным четырехзначным шифром, выданным преподавателем в начале семестра.

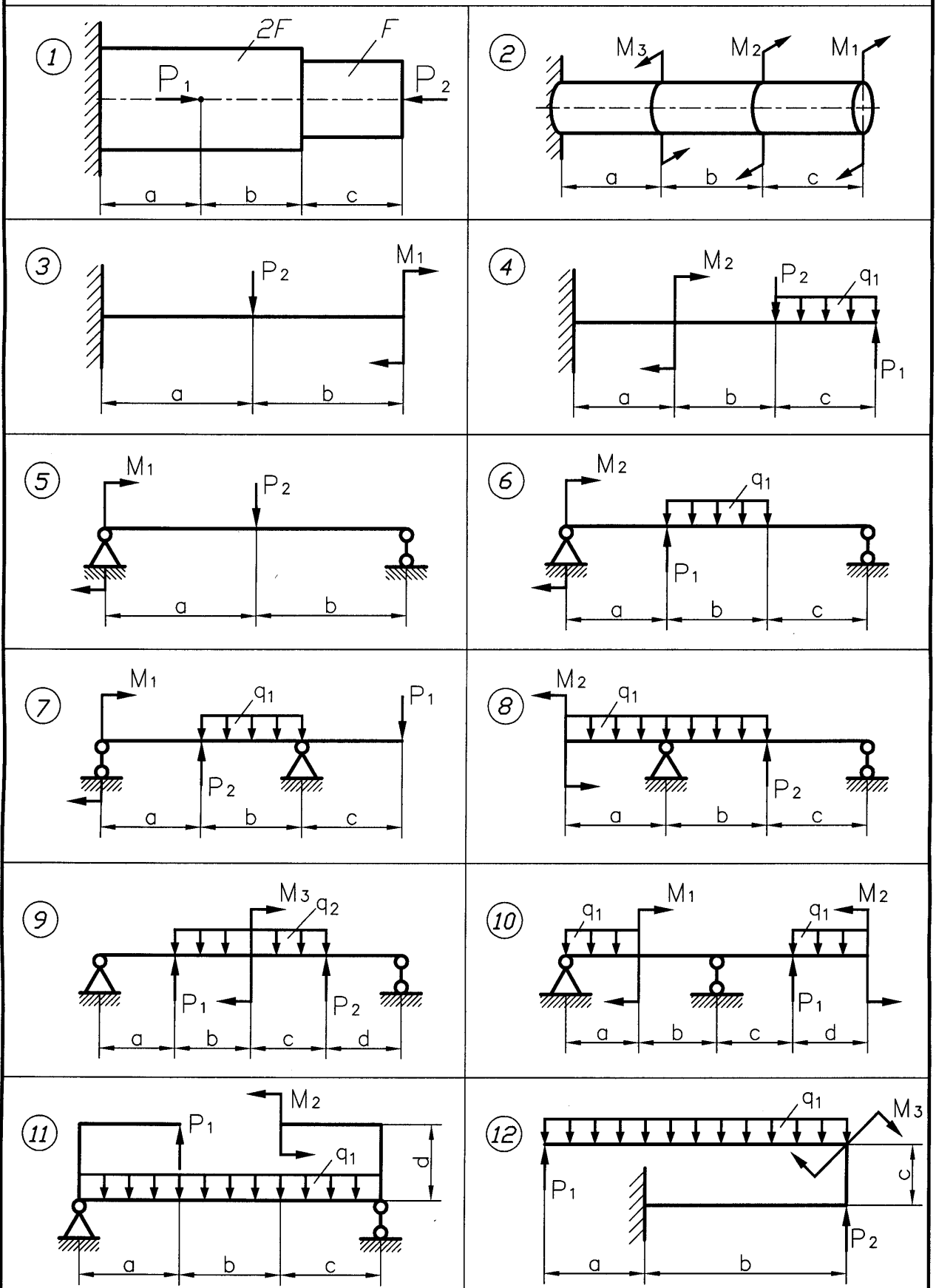
Таблица 1 – Расчетные схемы к заданию 1

Вариант 1	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 2	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

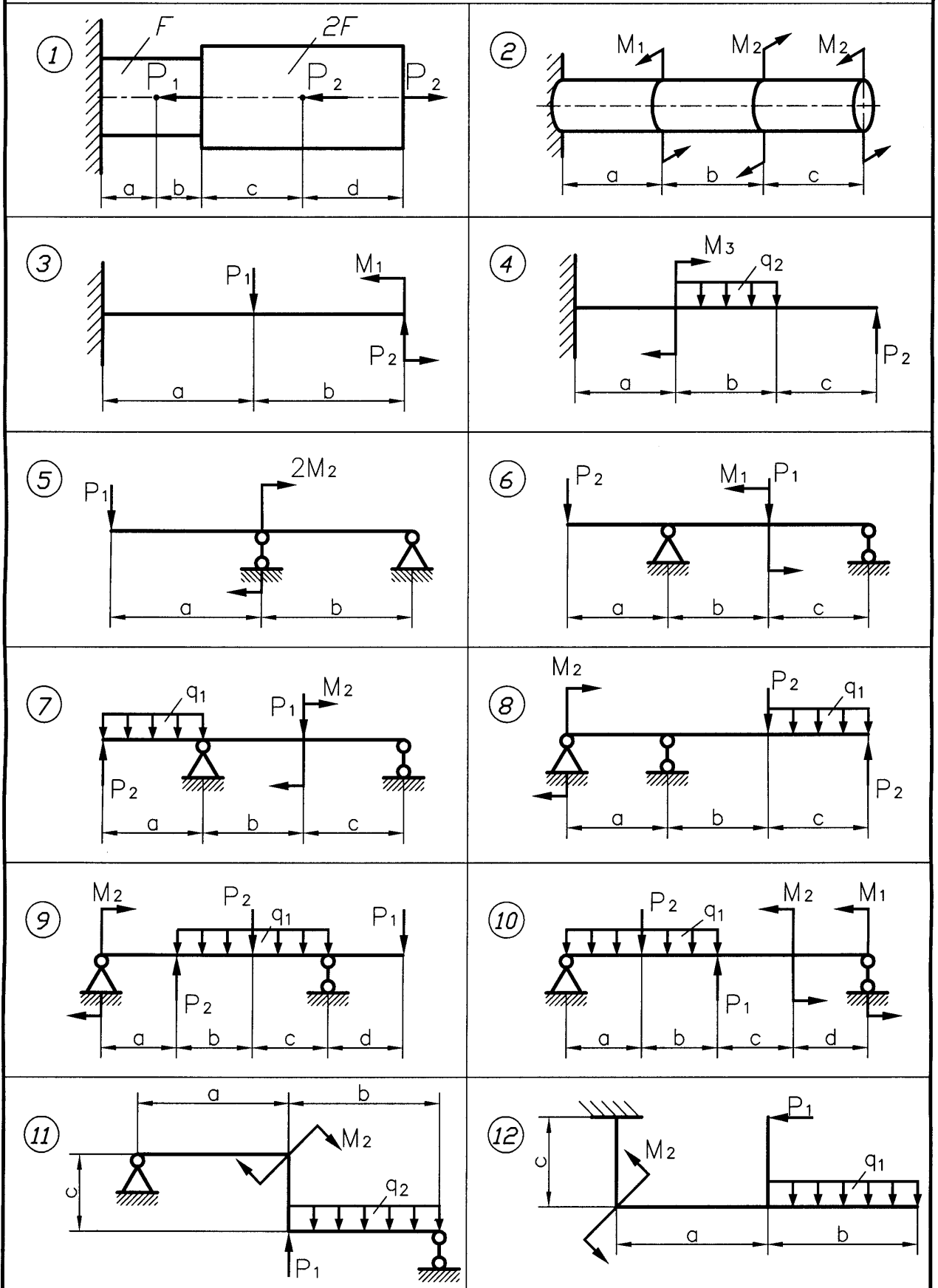
Вариант 3	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 4



Вариант 5	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 6



Вариант 7

①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

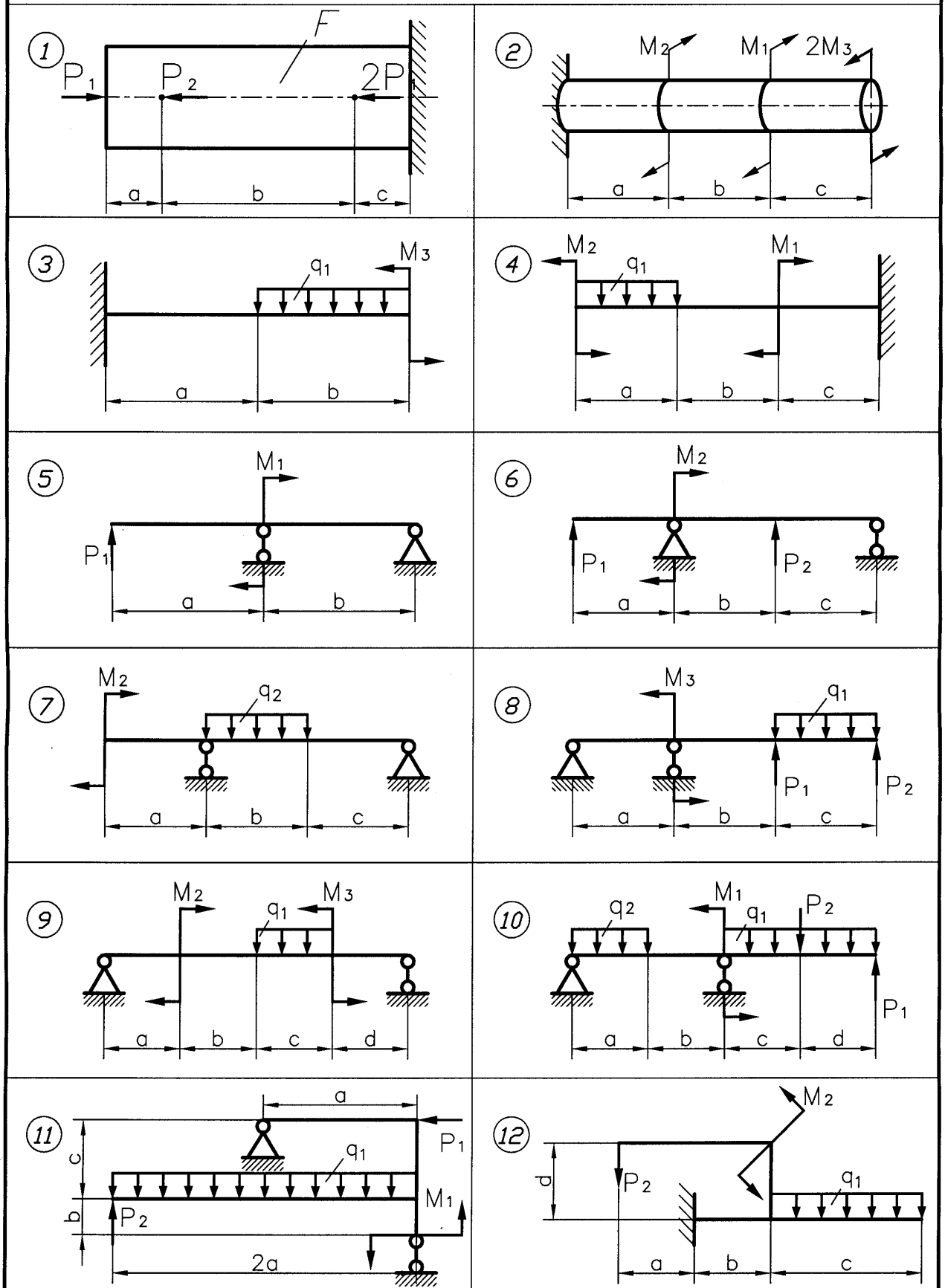
Вариант 8

①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 9

①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

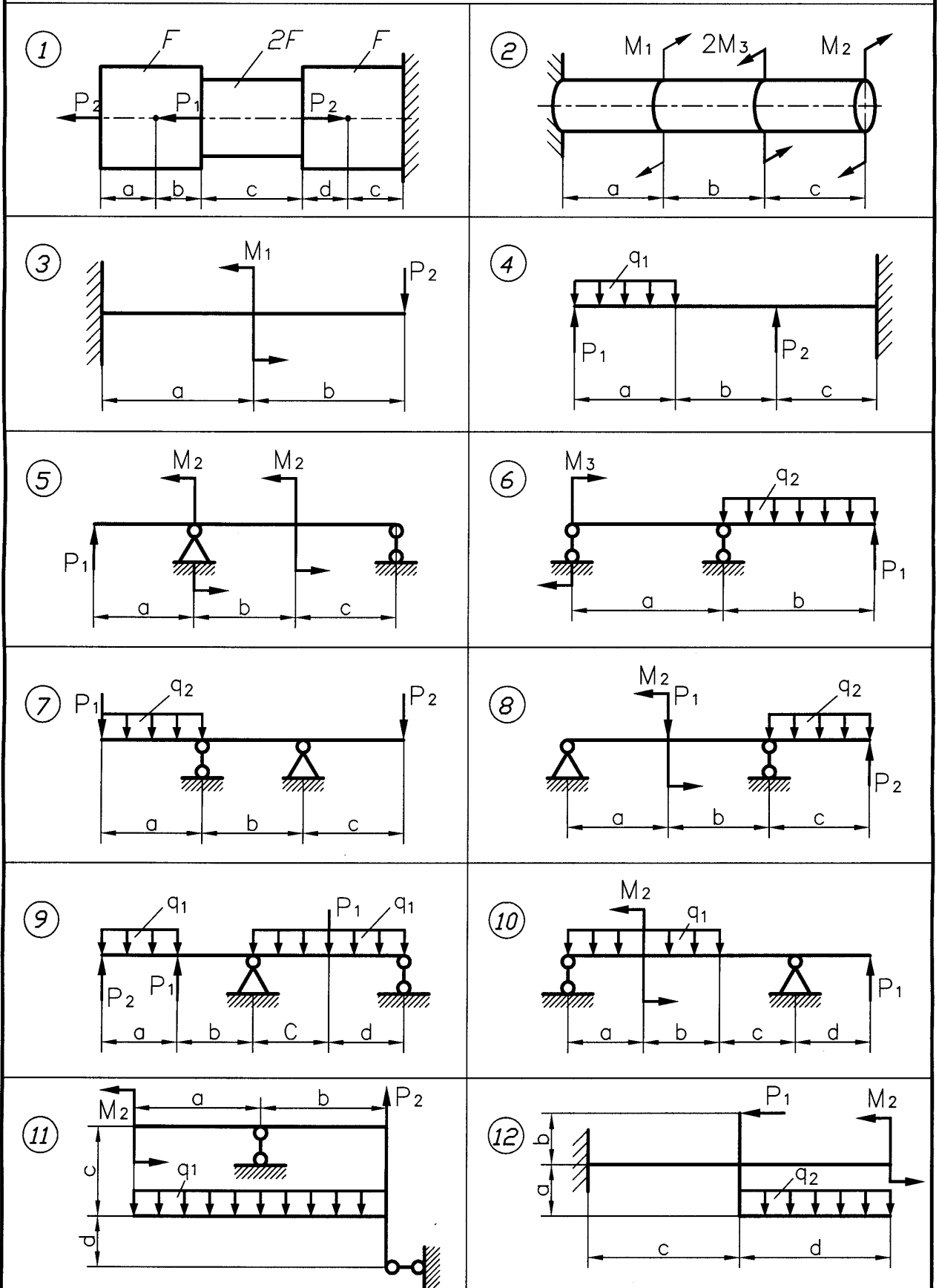
Вариант 10



Вариант 11	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 12	
1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12

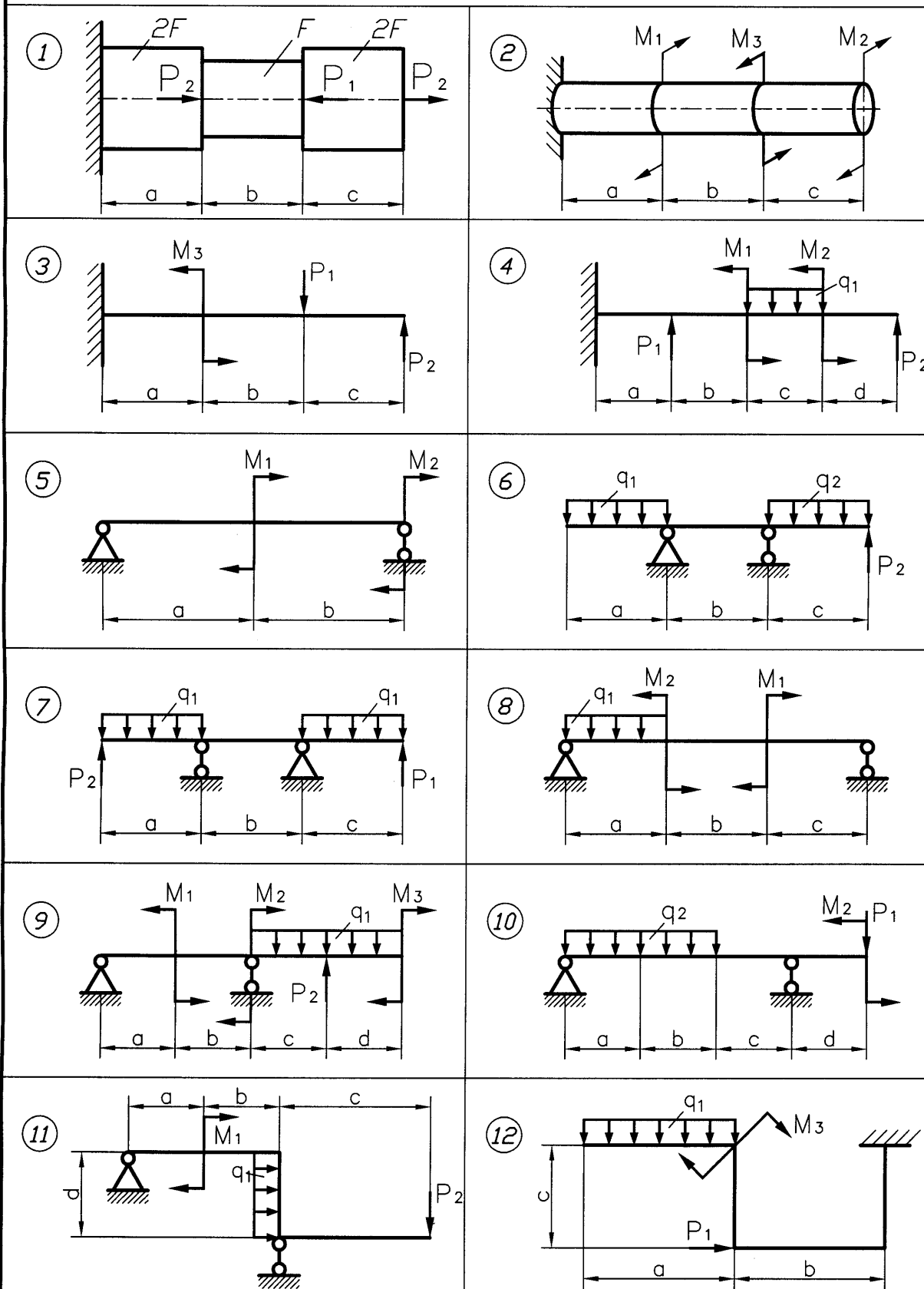
Вариант 13



Вариант 14

①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 15



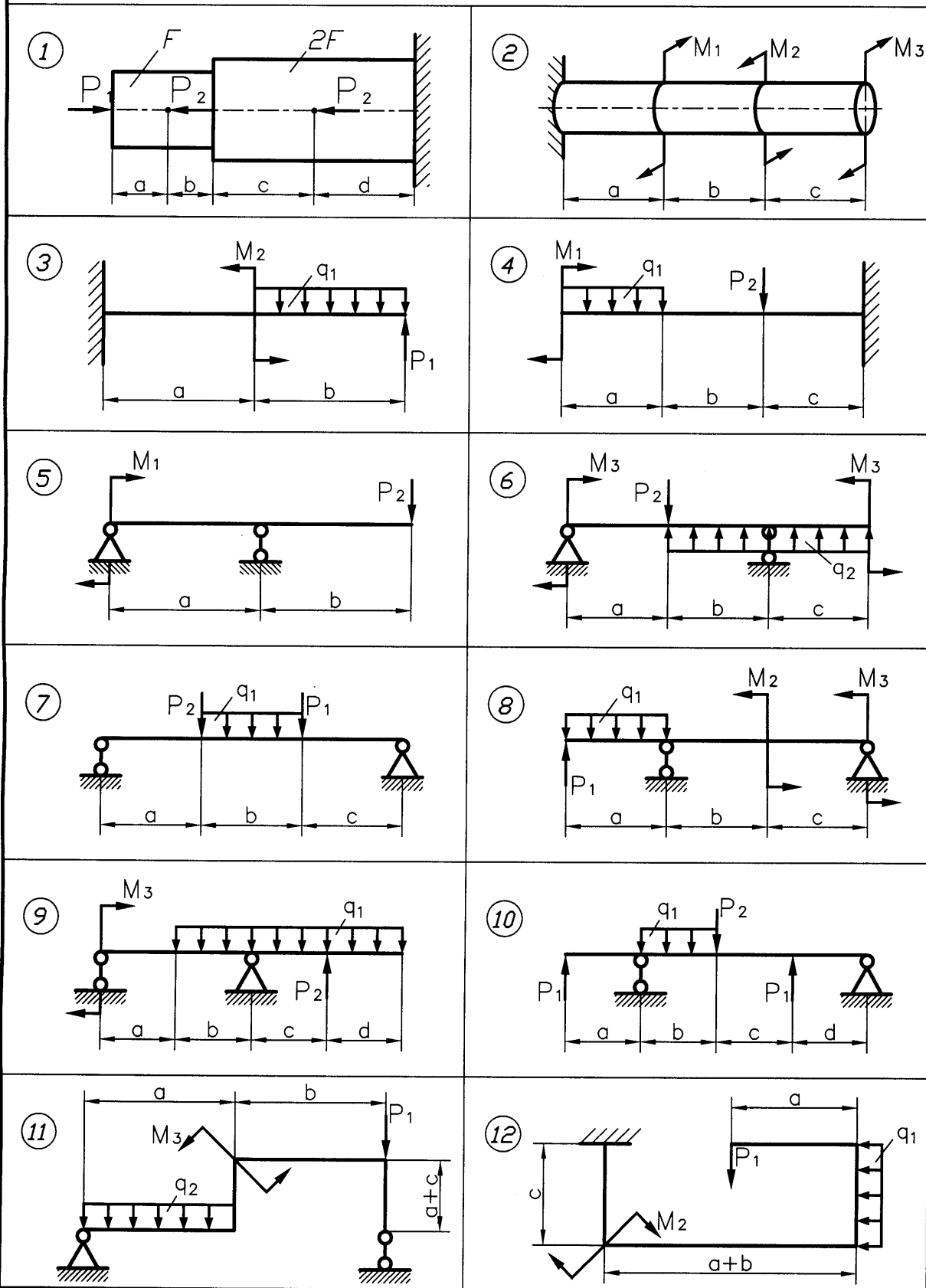
Вариант 16

1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12

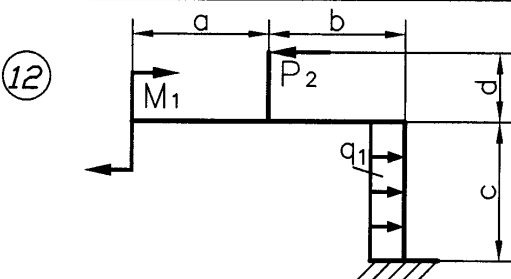
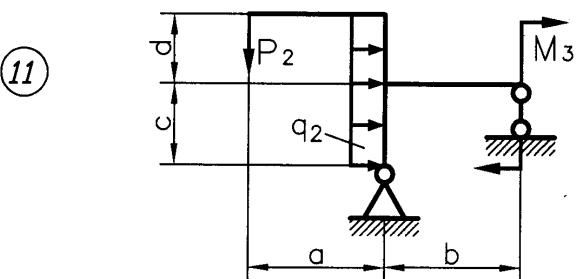
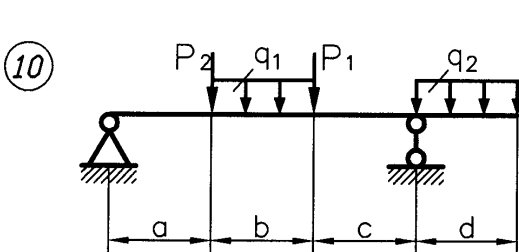
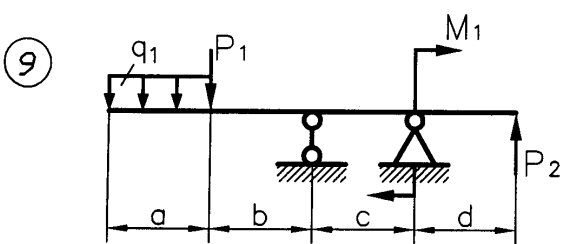
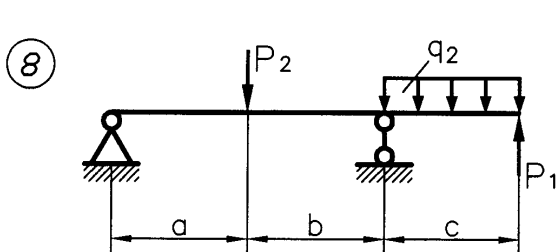
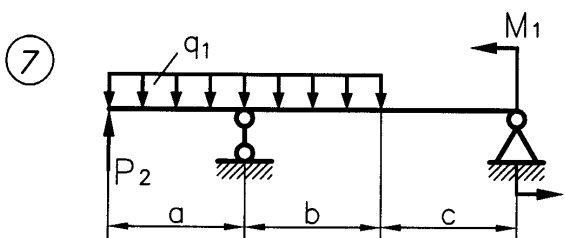
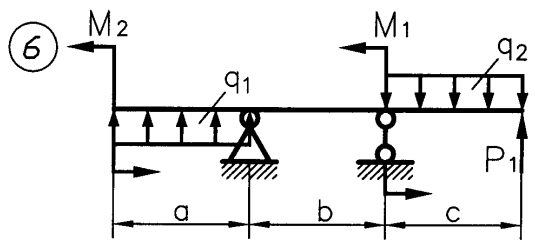
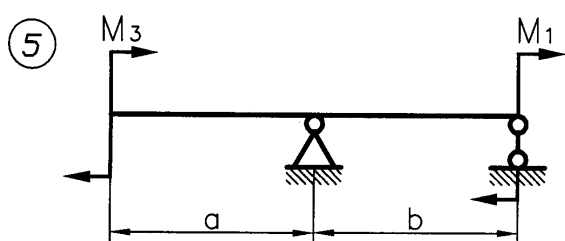
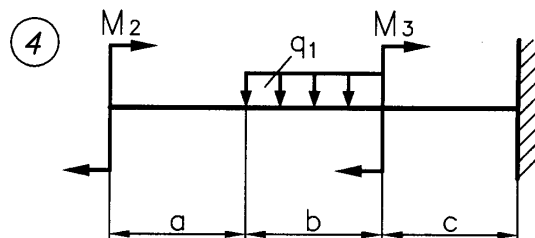
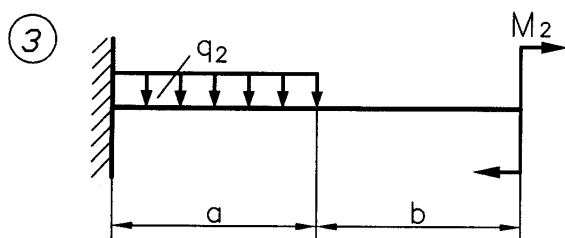
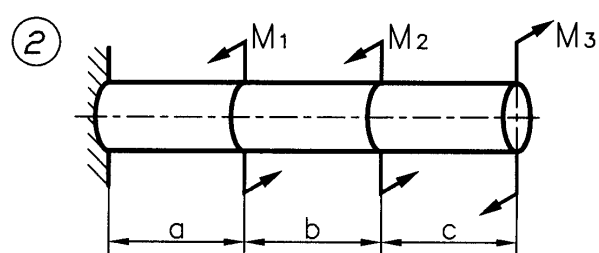
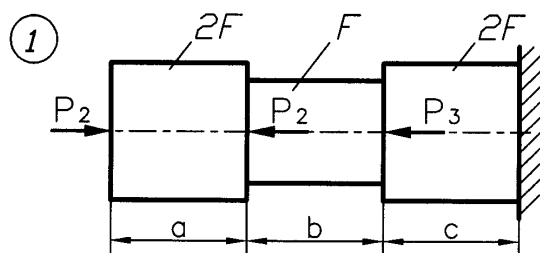
Вариант 17	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 18	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 19

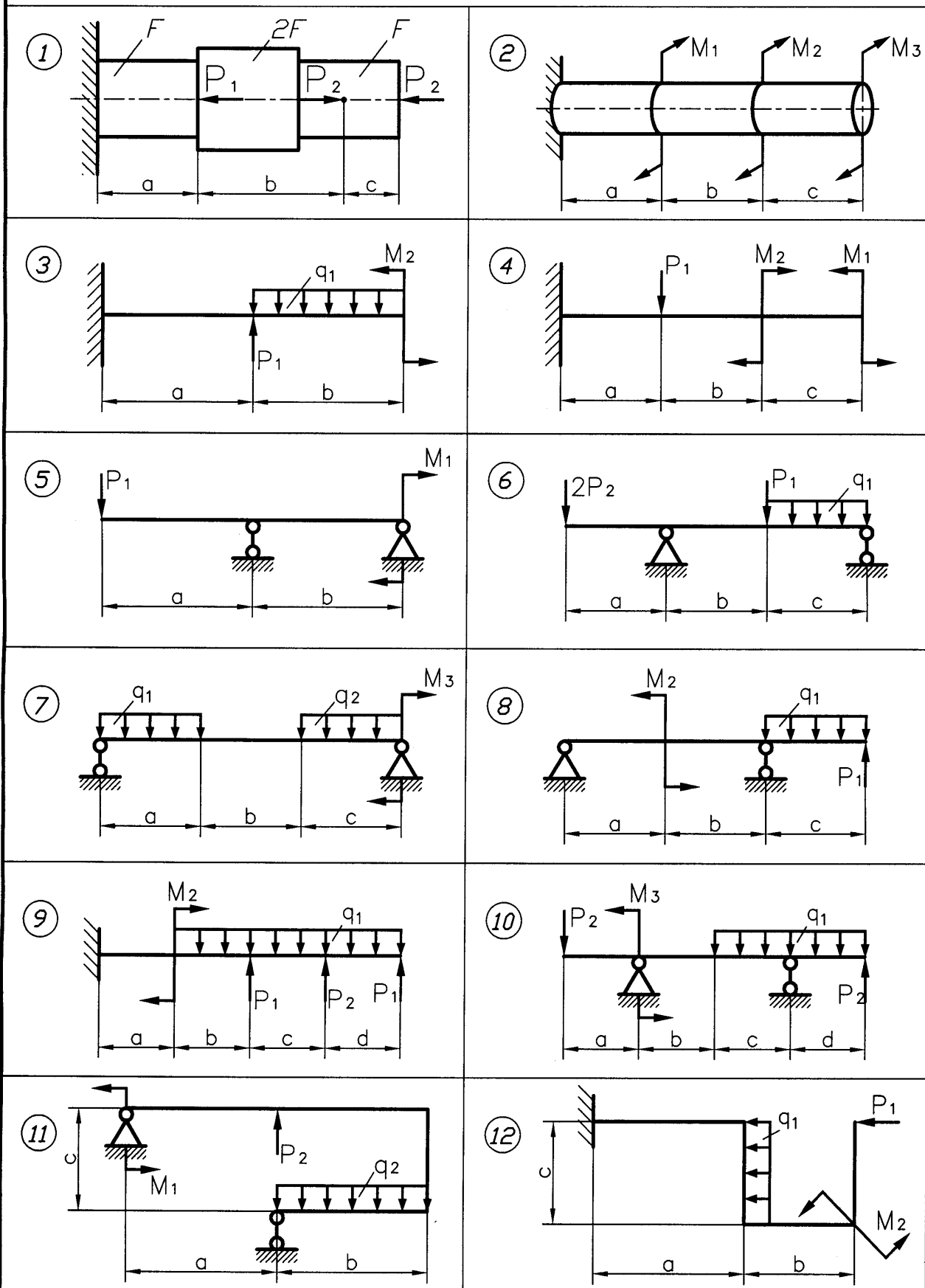


Вариант 20



Вариант 21	
1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12

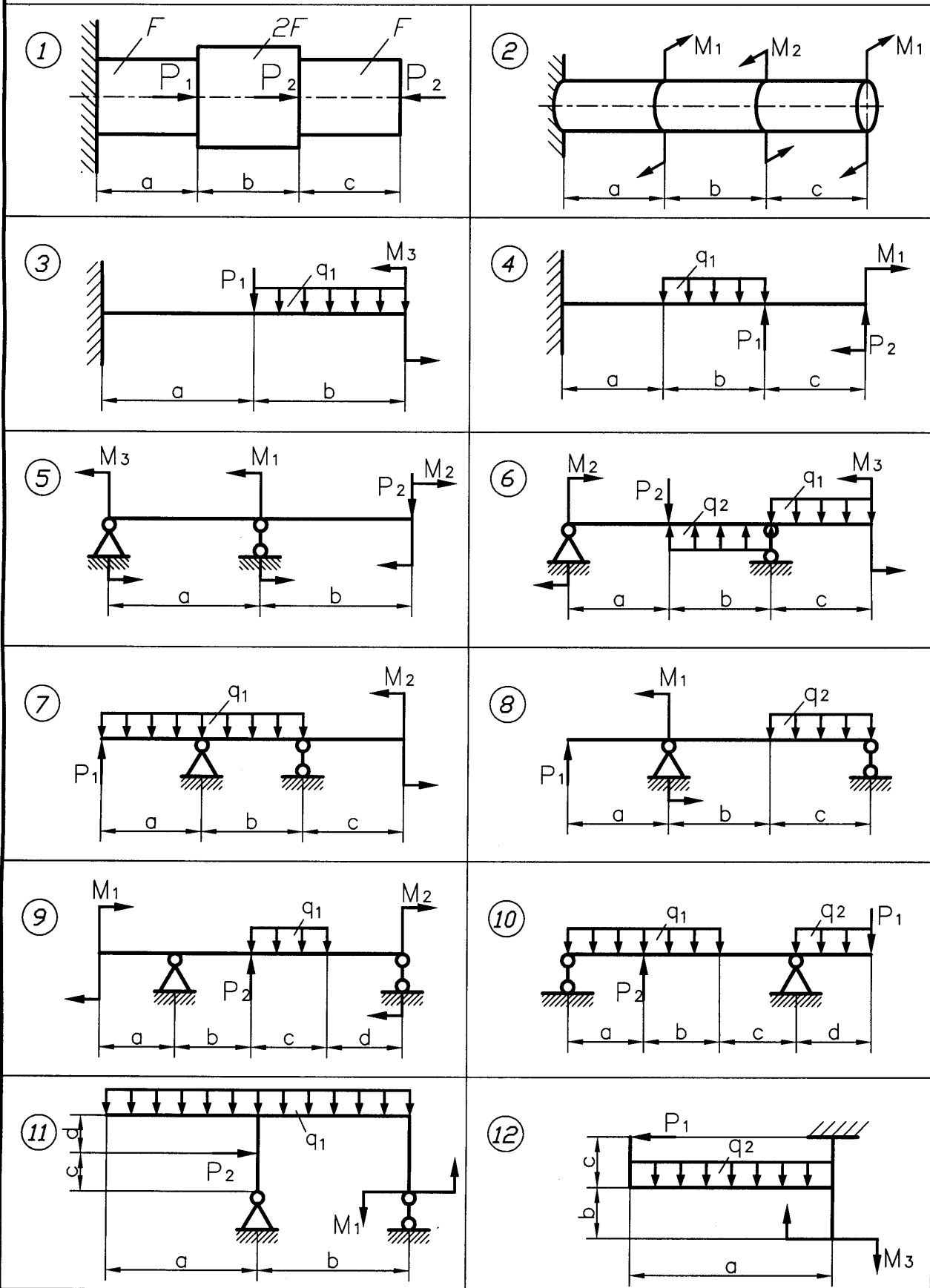
Вариант 22



Вариант 23

①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 24



Вариант 25	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

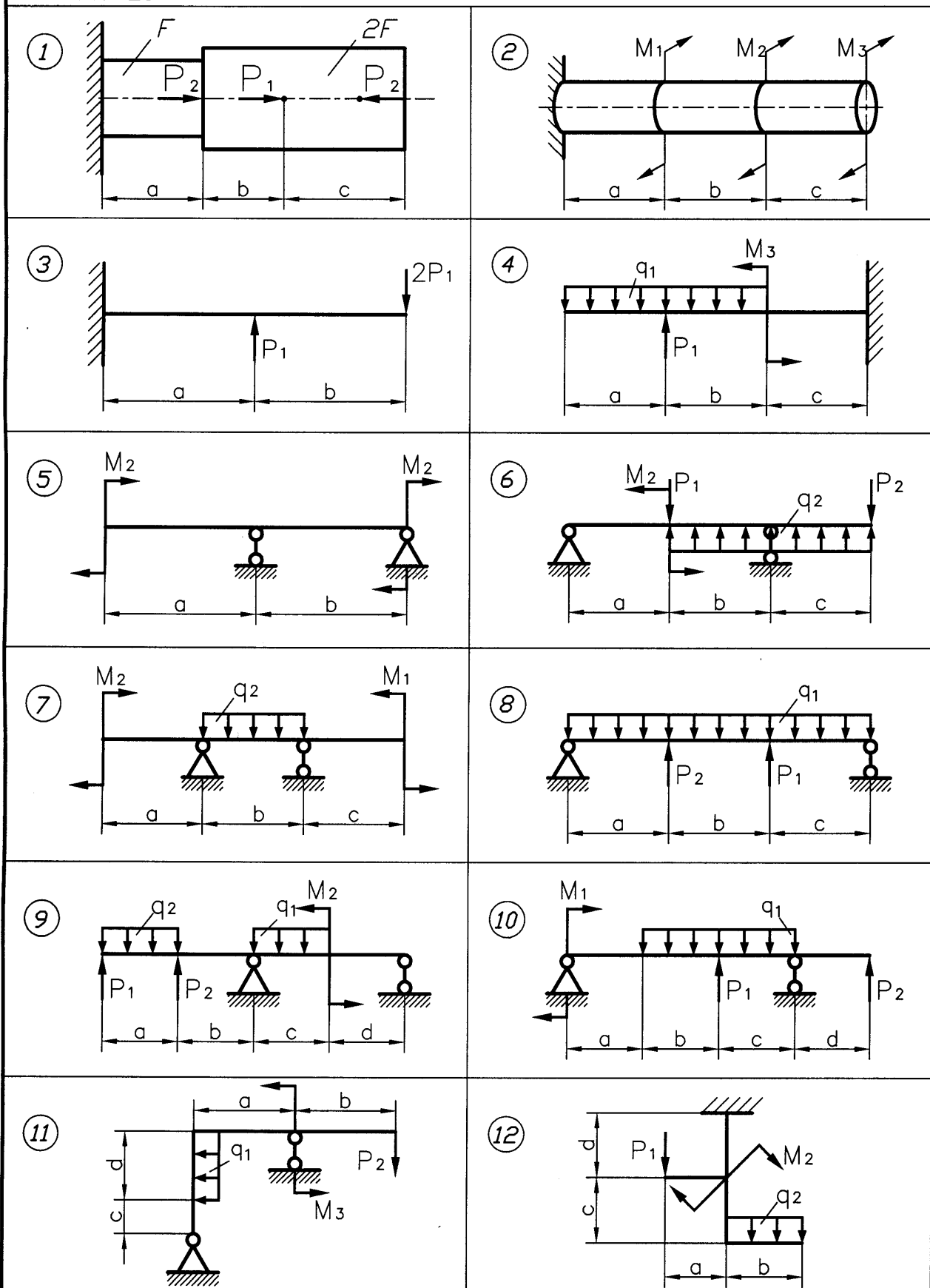
Вариант 26	
1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12

Вариант 27

①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 28	
1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12

Вариант 29



Вариант 30

①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 31	
1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12

Вариант 32

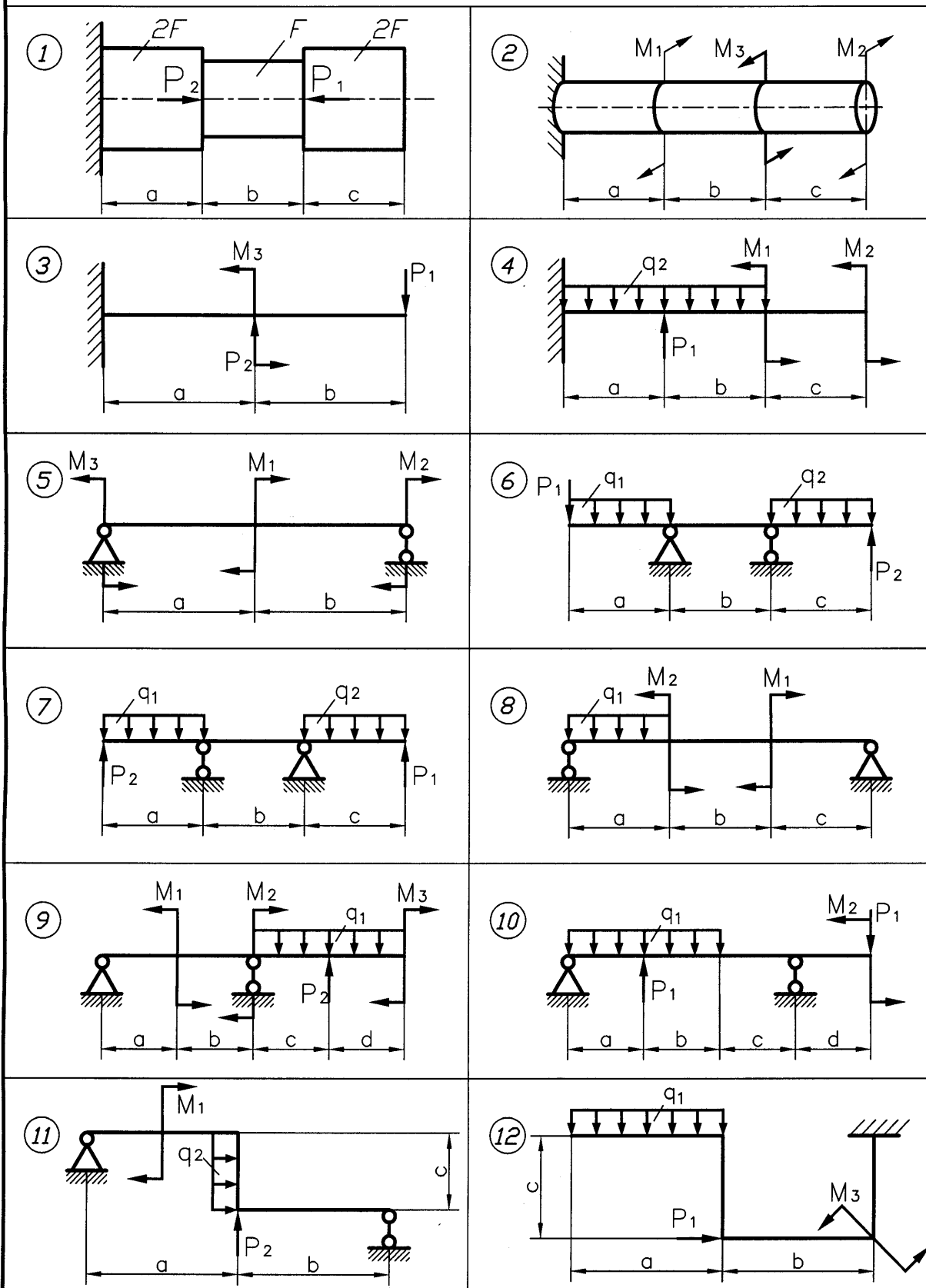


Таблица 2 – Расчетные данные к заданию 1

№ варианта	P_1	P_2	M_1	M_2	M_3	q_1	q_2	a	b	c	d
1	$2q\ell$	$3q\ell$	$q\ell^2$	$5q\ell^2$	$q\ell^2$	q	$2q$	ℓ	2ℓ	$1,5\ell$	$0,5\ell$
2	$q\ell$	$2q\ell$	$2q\ell^2$	$4q\ell^2$	$2q\ell^2$	$2q$	q	2ℓ	3ℓ	2ℓ	ℓ
3	$1,5q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	$3q\ell^2$	$3q\ell^2$	q	$3q$	3ℓ	4ℓ	$0,5\ell$	$1,5\ell$
4	$2q\ell$	$4q\ell$	$2q\ell^2$	$2q\ell^2$	$4q\ell^2$	$3q$	$3q$	4ℓ	ℓ	$1,5\ell$	2ℓ
5	$0,5q\ell$	$3q\ell$	$q\ell^2$	$q\ell^2$	$5q\ell^2$	q	q	ℓ	2ℓ	2ℓ	$2,5\ell$
6	$2q\ell$	$2q\ell$	$2q\ell^2$	$5q\ell^2$	$q\ell^2$	$4q$	q	2ℓ	3ℓ	$0,5\ell$	$0,5\ell$
7	$q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	$4q\ell^2$	$2q\ell^2$	q	$0,5q$	3ℓ	4ℓ	$1,5\ell$	ℓ
8	$1,5q\ell$	$4q\ell$	$2q\ell^2$	$3q\ell^2$	$3q\ell^2$	$2q$	$0,5q$	4ℓ	5ℓ	2ℓ	$1,5\ell$
9	$2q\ell$	$3q\ell$	$q\ell^2$	$2q\ell^2$	$4q\ell^2$	q	$1,5q$	5ℓ	ℓ	$0,5\ell$	2ℓ
10	$0,5q\ell$	$2q\ell$	$2q\ell^2$	$q\ell^2$	$5q\ell^2$	$0,5q$	$2q$	ℓ	2ℓ	$1,5\ell$	$2,5\ell$
11	$2q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	$5q\ell^2$	$q\ell^2$	q	$2,5q$	2ℓ	3ℓ	2ℓ	$0,5\ell$
12	$q\ell$	$4q\ell$	$2q\ell^2$	$4q\ell^2$	$2q\ell^2$	$2q$	$3q$	3ℓ	4ℓ	$0,5\ell$	ℓ
13	$1,5q\ell$	$3q\ell$	$q\ell^2$	$3q\ell^2$	$3q\ell^2$	q	$3,5q$	4ℓ	5ℓ	$1,5\ell$	$1,5\ell$
14	$2q\ell$	$2q\ell$	$2q\ell^2$	$2q\ell^2$	$4q\ell^2$	$3q$	q	5ℓ	ℓ	2ℓ	2ℓ
15	$0,5q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	$q\ell^2$	$5q\ell^2$	q	$2q$	ℓ	2ℓ	$0,5\ell$	$2,5\ell$
16	$2q\ell$	$4q\ell$	$2q\ell^2$	$5q\ell^2$	$q\ell^2$	$0,5q$	$1,5q$	2ℓ	3ℓ	$1,5\ell$	$0,5\ell$
17	$q\ell$	$3q\ell$	$q\ell^2$	$4q\ell^2$	$2q\ell^2$	q	$0,5q$	3ℓ	4ℓ	2ℓ	ℓ
18	$1,5q\ell$	$2q\ell$	$2q\ell^2$	$3q\ell^2$	$3q\ell^2$	$2q$	$2q$	4ℓ	5ℓ	$0,5\ell$	$1,5\ell$
19	$2q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	$2q\ell^2$	$4q\ell^2$	q	$1,5q$	5ℓ	ℓ	$1,5\ell$	2ℓ
20	$0,5q\ell$	$4q\ell$	$2q\ell^2$	$q\ell^2$	$5q\ell^2$	$3q$	q	ℓ	2ℓ	2ℓ	$0,5\ell$

21	$2q\ell$	$3q\ell$	$q\ell^2$	$5q\ell^2$	$q\ell^2$	q	$2,5q$	2ℓ	3ℓ	$0,5\ell$	ℓ
22	$q\ell$	$2q\ell$	$2q\ell^2$	$4q\ell^2$	$2q\ell^2$	$0,5q$	$3q$	3ℓ	4ℓ	$1,5\ell$	$1,5\ell$
23	$1,5q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	$3q\ell^2$	$3q\ell^2$	q	$3,5q$	4ℓ	5ℓ	2ℓ	2ℓ
24	$2q\ell$	$4q\ell$	$2q\ell^2$	$2q\ell^2$	$4q\ell^2$	$2q$	$1,5q$	5ℓ	ℓ	$0,5\ell$	$2,5\ell$
25	$0,5q\ell$	$3q\ell$	$q\ell^2$	$q\ell^2$	$5q\ell^2$	q	$2,5q$	ℓ	2ℓ	$1,5\ell$	$0,5\ell$
26	$2q\ell$	$2q\ell$	$2q\ell^2$	$5q\ell^2$	$q\ell^2$	$3q$	$3q$	2ℓ	3ℓ	2ℓ	ℓ
27	$q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	$4q\ell^2$	$2q\ell^2$	q	$2q$	3ℓ	4ℓ	$0,5\ell$	$1,5\ell$
28	$1,5q\ell$	$4q\ell$	$2q\ell^2$	$3q\ell^2$	$3q\ell^2$	$0,5q$	q	4ℓ	5ℓ	$1,5\ell$	2ℓ
29	$2q\ell$	$3q\ell$	$q\ell^2$	$2q\ell^2$	$4q\ell^2$	q	$2,5q$	5ℓ	ℓ	2ℓ	$2,5\ell$
30	$0,5q\ell$	$2q\ell$	$2q\ell^2$	$q\ell^2$	$5q\ell^2$	$2q$	$4q$	ℓ	2ℓ	$0,5\ell$	$0,5\ell$
31	$2q\ell$	$q\ell$	$q\ell^2$	$5q\ell^2$	$q\ell^2$	$3q$	$2q$	2ℓ	3ℓ	$1,5\ell$	ℓ
32	$q\ell$	$4q\ell$	$2q\ell^2$	$4q\ell^2$	$2q\ell^2$	$0,5q$	$1,5q$	3ℓ	4ℓ	2ℓ	$1,5\ell$

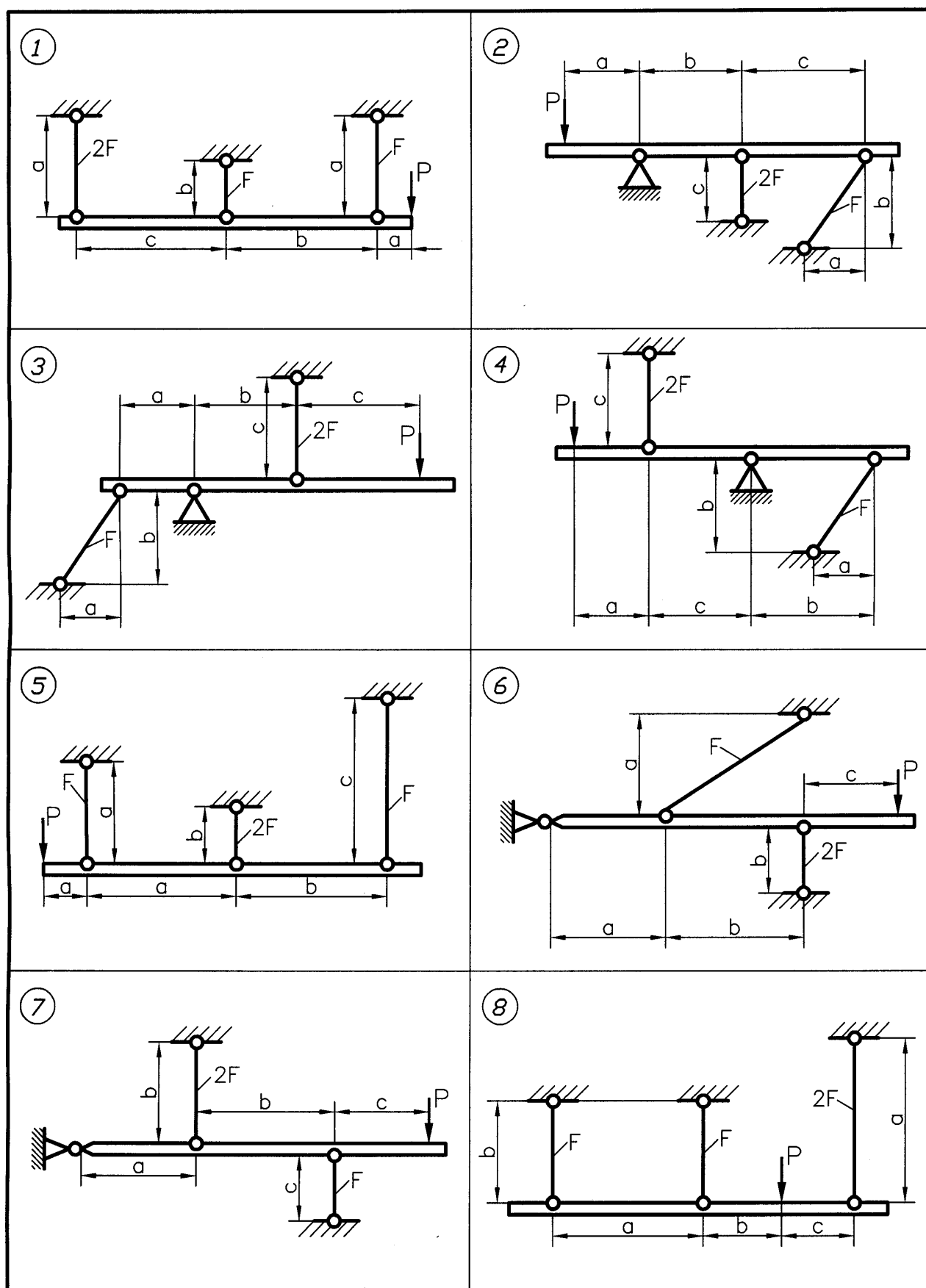
Задание 2. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ – СЖАТИИ

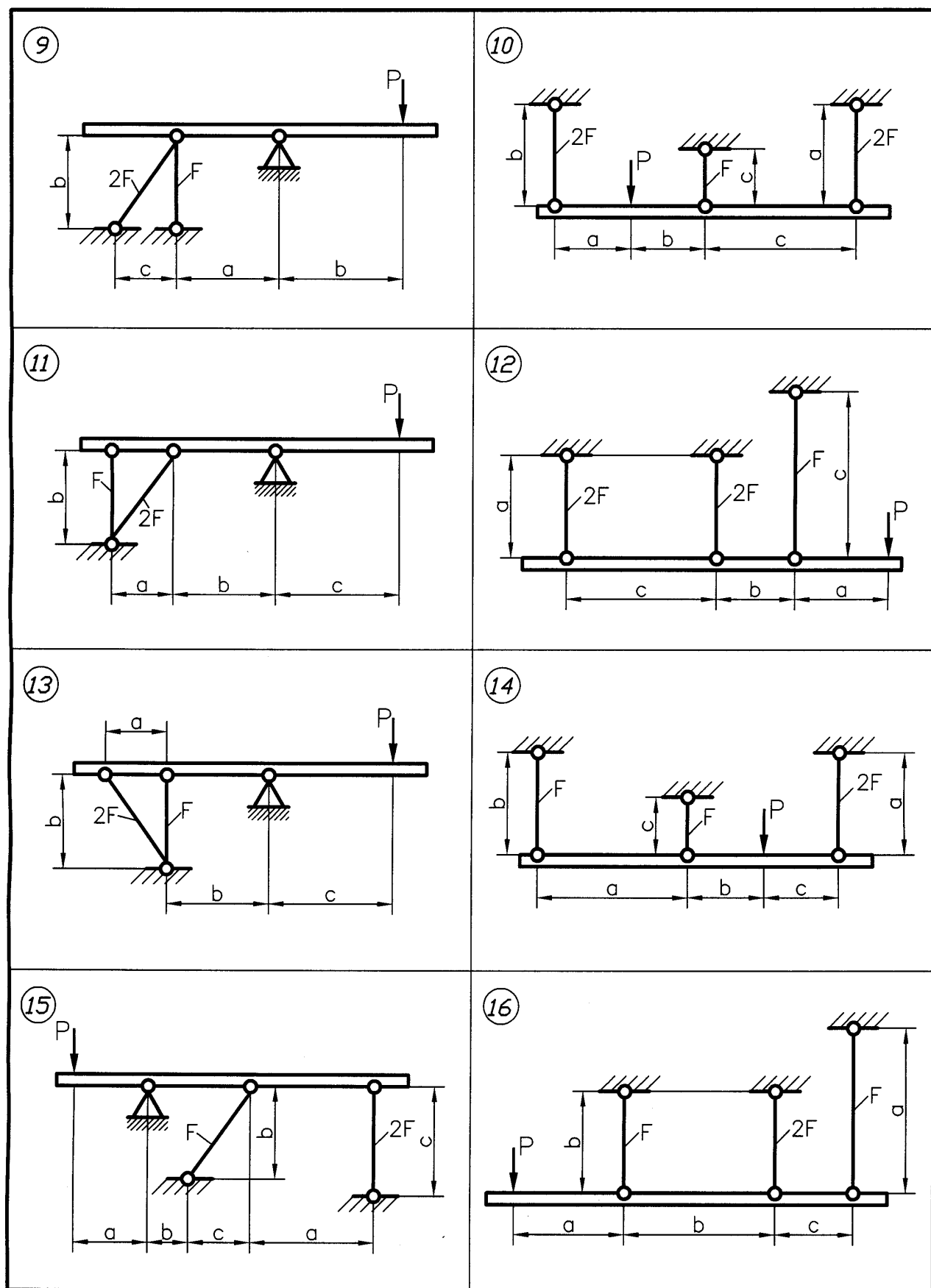
Весьма жесткий брус, деформацией которого можно пренебречь, опирается на шарнирно неподвижную опору и прикреплен к стержням при помощи шарниров. Требуется найти:

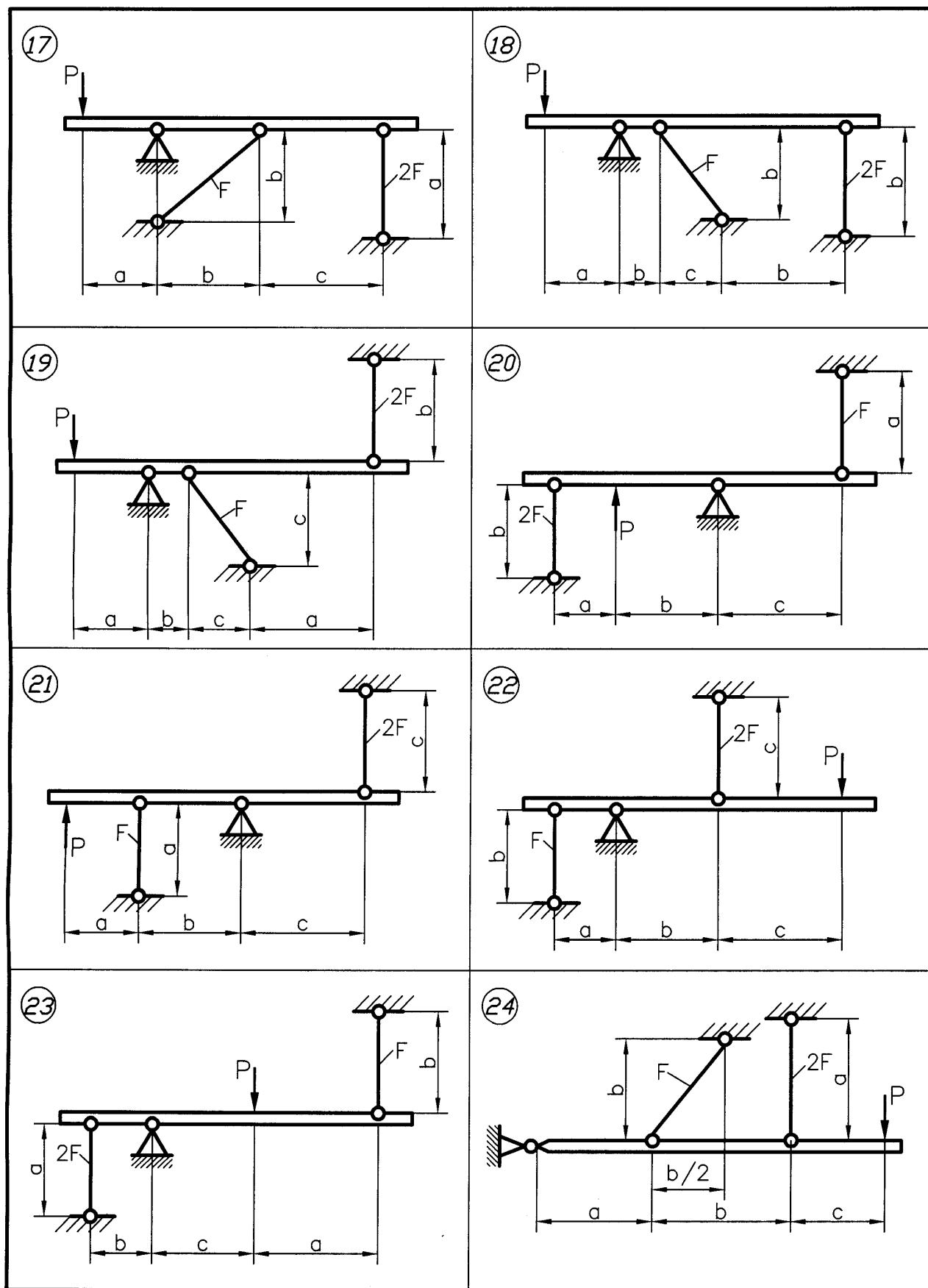
- 1) усилия и напряжения в стержнях, выразив их через силу P ;
- 2) потенциальную энергию упругой деформации системы и работу силы P ;
- 3) допускаемую нагрузку $[P]$, приняв допускаемое напряжение $[\sigma]=160\text{МПа}$;
- 4) предельную грузоподъемность системы $P_{\text{пред}}^T$ и допускаемую нагрузку $[P^T]$, если предел текучести $\sigma_T=240\text{МПа}$ и коэффициент запаса прочности $n_T=1,5$;
- 5) сравнив величины $[P]$ и $[P^T]$, сделать вывод о том, какой из методов расчетов (допускаемых напряжений или разрушающих нагрузок) дает более экономичное решение и объяснить почему.

Схему бруса выбрать по таблице 3, расчетные данные – по таблице 4 в соответствии с индивидуальным четырехзначным шифром, выданным преподавателем в начале семестра.

Таблица 3 – Расчетные схемы к заданию 2







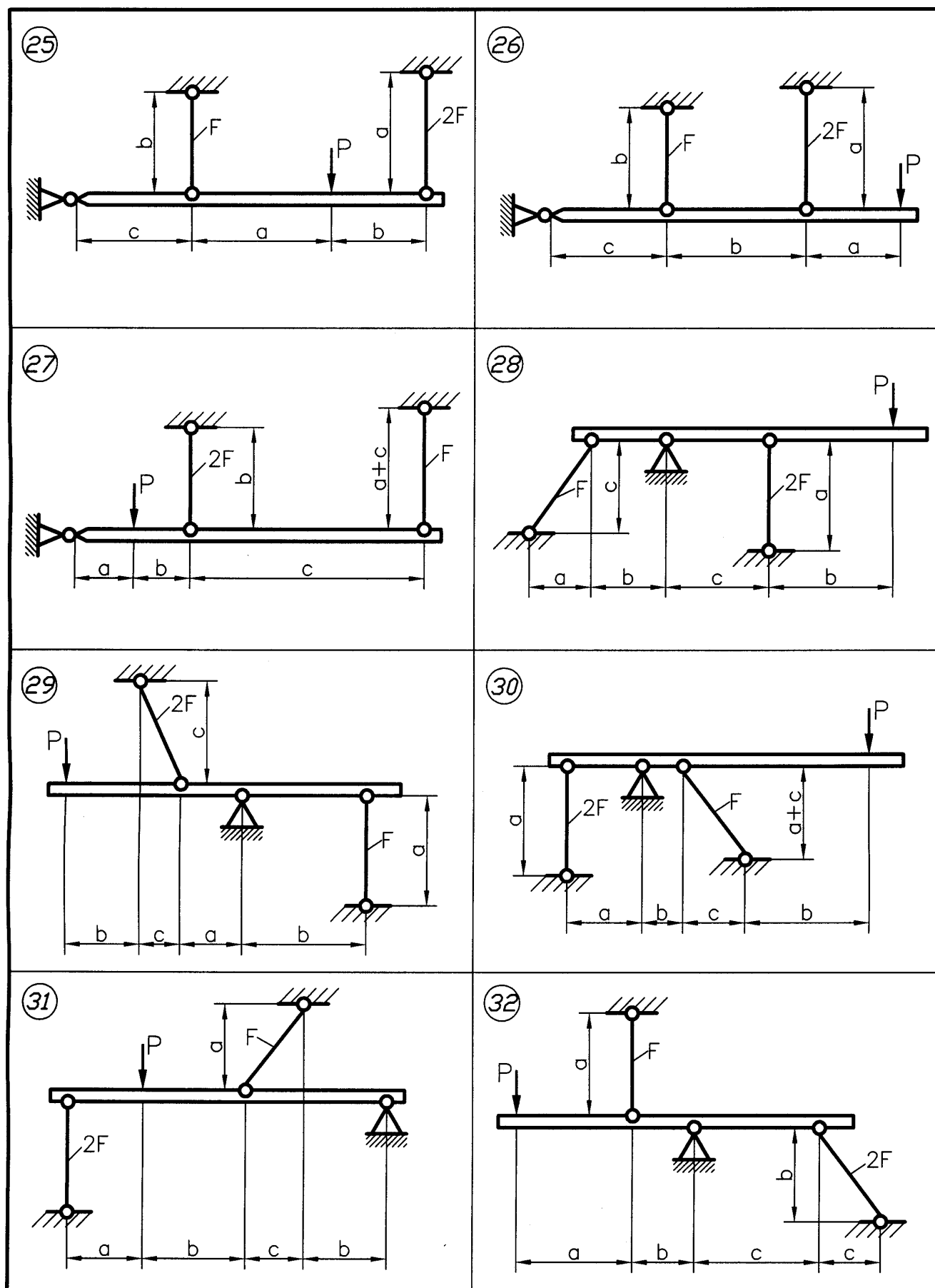


Таблица 4 – Расчетные данные к заданию 2

№ варианта	F, см ²	a, м	b, м	c, м	[σ], МПа	σ _т , МПа	n _т
1	10	1	2	2	110	160	1,5
2	12	2	2	1	60	120	2
3	15	3	2	3	40	100	2,5
4	20	0,5	0,5	1	110	160	1,5
5	25	1	2	1	60	120	2
6	10	2	1	2	40	100	2,5
7	12	3	2	1	110	160	1,5
8	15	0,5	1	1	60	120	2
9	20	1	0,5	1	40	100	2,5
10	25	2	1,5	1	110	160	1,5
11	10	3	2	1	60	120	2
12	12	0,5	0,5	0,5	40	100	2,5
13	15	1	1,5	2	110	160	1,5
14	20	2	1	2	60	120	2
15	25	3	3	1	40	100	2,5
16	10	1	0,5	0,5	110	160	1,5
17	12	1	2	1,5	60	120	2
18	15	2	2,5	3	40	100	2,5
19	20	3	3	4	110	160	1,5
20	25	1	2	1	60	120	2
21	10	1	0,5	1,5	40	100	2,5

22	12	2	1,5	0,5	110	160	1,5
23	15	3	2	3	60	120	2
24	20	1,5	1,5	2	40	100	2,5
25	25	1	1,5	1	110	160	1,5
26	10	2	2	3	60	120	2
27	12	3	2,5	2	40	100	2,5
28	15	1,5	2	1,5	110	160	1,5
29	20	1,5	2	2	60	120	2
30	25	2	2,5	1,5	40	100	2,5
31	10	3	1,5	2,5	110	160	1,5
32	12	0,5	1	0,5	60	120	2

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ

В каждом варианте задано два сечения: симметричное (заштрихованная фигура с нанесенными размерами) и несимметричное, составленное из прокатных профилей (показано схематически).

Для симметричного сечения требуется:

- 1) разбить заданное сечение на простейшие (прямоугольник, треугольник, круг, полукруг);
- 2) определить координаты центра тяжести сечения, предварительно выбрав случайную систему координат;
- 3) вычислить главные центральные моменты инерции;
- 4) найти моменты сопротивления сечения в главных осях инерции;
- 5) вычертить сечение в масштабе (М 1:1 либо М 1:2) на формате А4;
- 6) нанести на чертеж все размеры, оси, используемые в расчете, и расстояния между ними.

Для несимметричного сечения, составленного из прокатных профилей:

- 1) разбить сложное сечение на отдельные прокатные профили и выписать из таблиц сортамента прокатной стали необходимые исходные данные;
- 2) определить координаты центра тяжести в случайной системе координат;
- 3) вычислить осевые и центробежные моменты инерции относительно центральных осей;
- 4) найти положение главных центральных осей инерции сечения;
- 5) определить главные центральные моменты инерции и произвести проверку правильности их подсчета;

6) вычислить моменты сопротивления сечения в главных осях инерции;

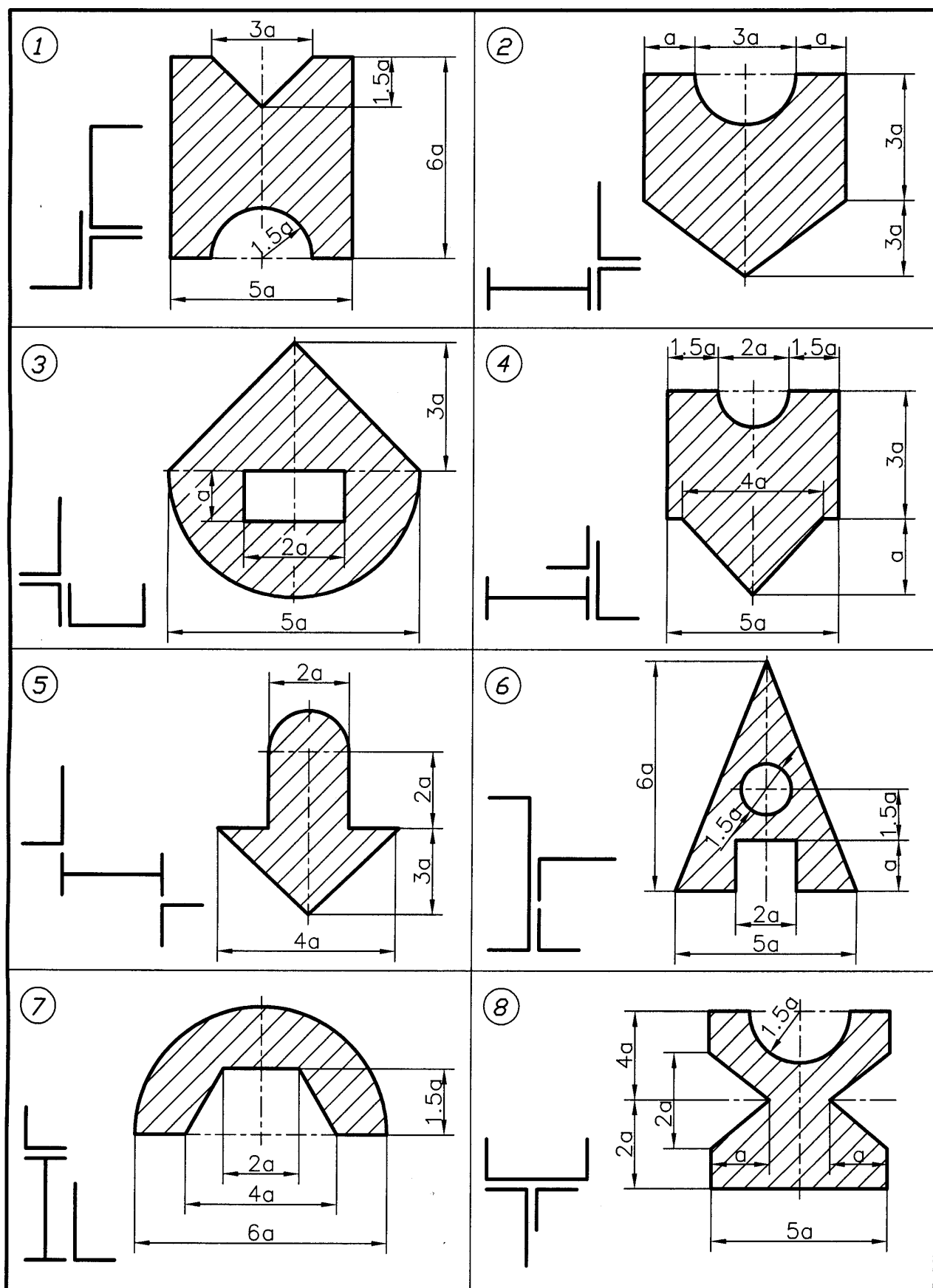
7) вычертить сечение в масштабе (М 1:1 либо М 1:2) на формате А4;

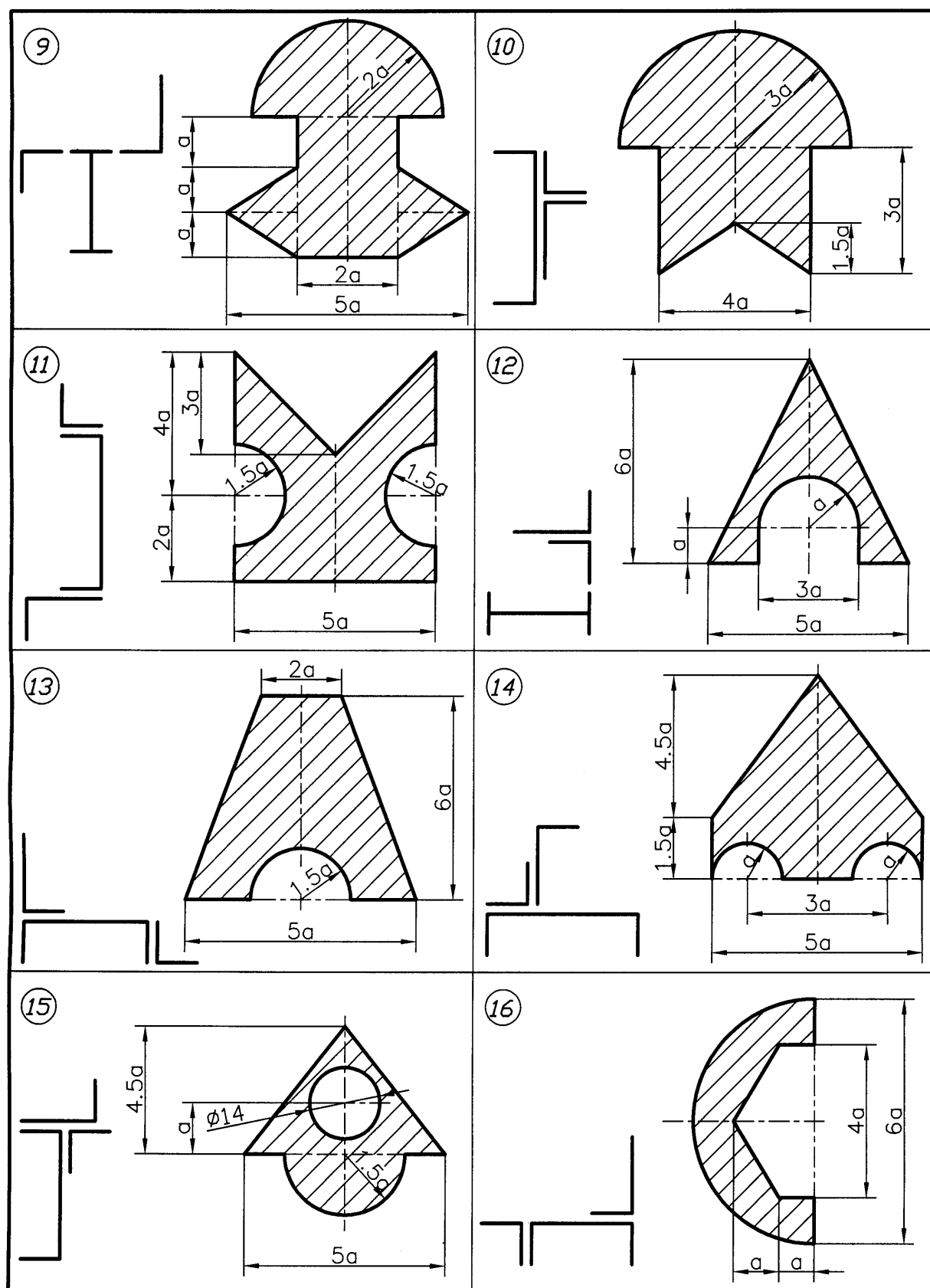
8) нанести на чертеж все размеры и оси, используемые в расчете, указать расстояния между ними.

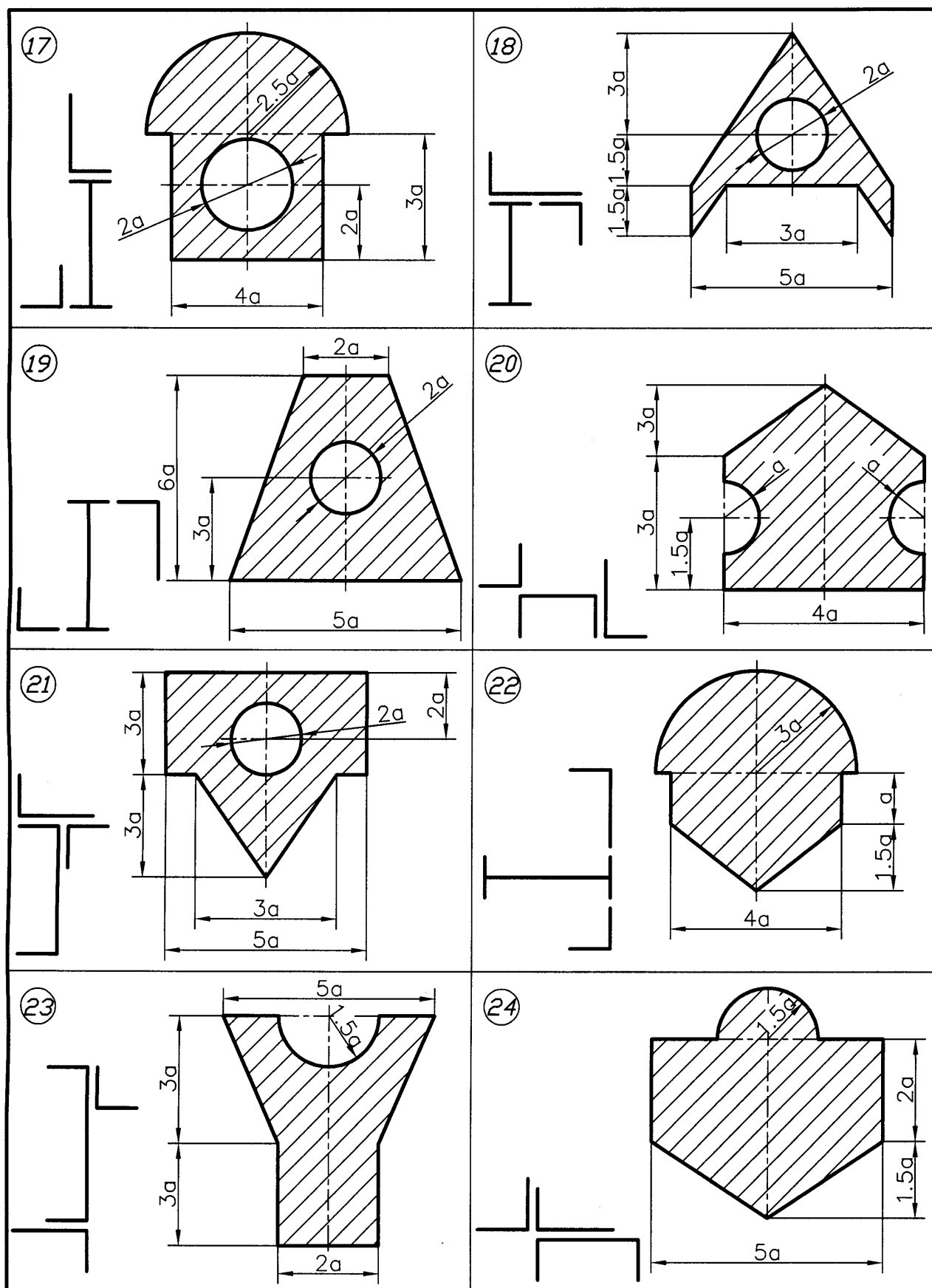
Схемы сечений выбрать по таблице 5, расчетные данные (размер **a** и номера прокатных профилей) – по таблице 6 в соответствии с индивидуальным четырехзначным шифром, выданным преподавателем в начале семестра.

Размеры и геометрические характеристики прокатных профилей выбрать из таблиц сортамента прокатной стали, приведенных в учебниках, задачниках, руководствах к решению задач по сопротивлению материалов, справочниках, СНиПах и др.

Таблица 5 – Расчетные схемы к заданию 3







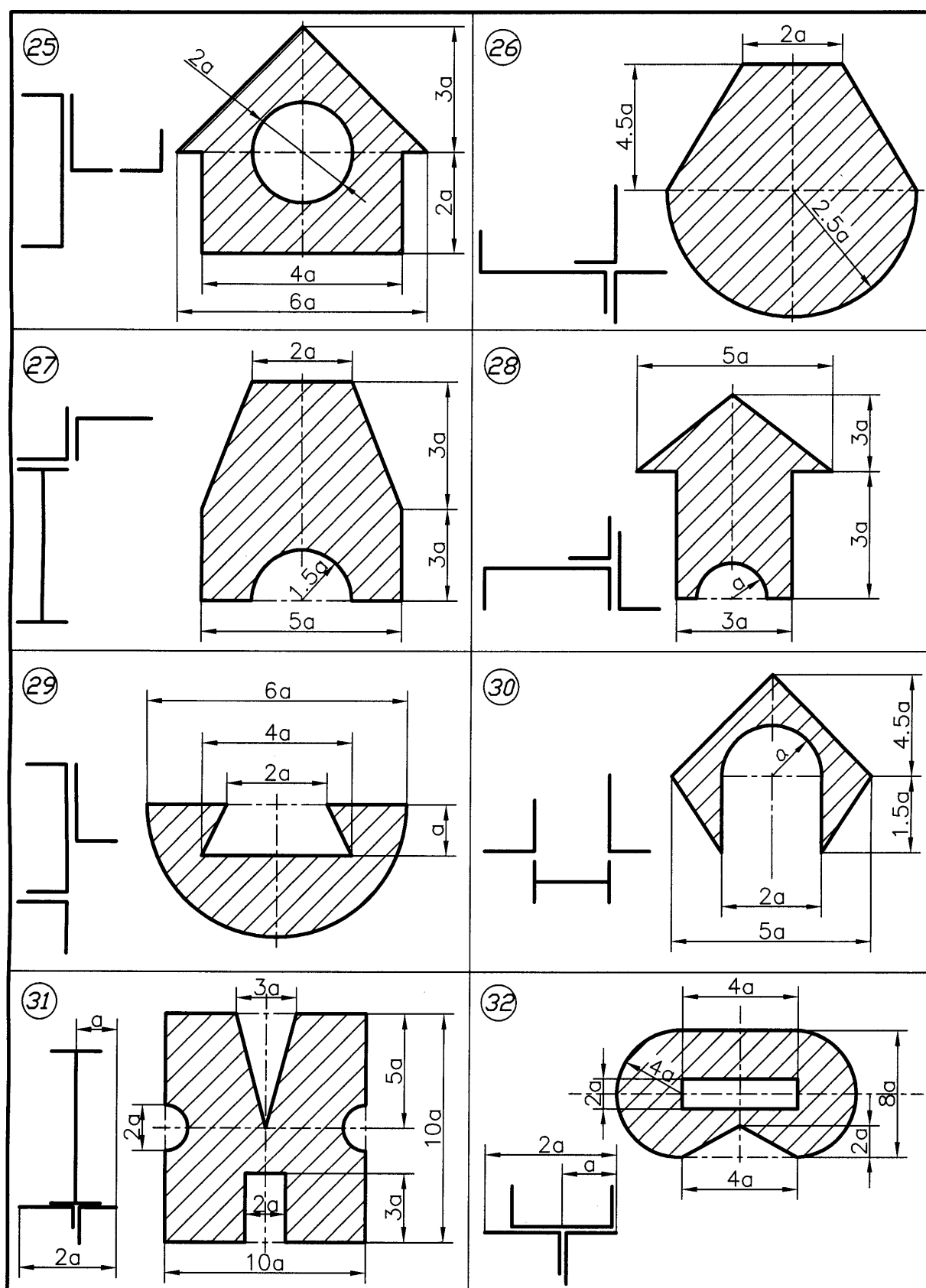


Таблица 6 – Расчетные данные к заданию 3

№ варианта	а, см	Двутавр	Швеллер	Уголок равнобокий	Уголок неравнобокий
1	1	10	10	100×100×10	100×63×10
2	2	12	12	90×90×9	110×70×8
3	3	14	14	80×80×8	125×80×12
4	4	16	16	75×75×7	140×90×10
5	5	18	18	70×70×7	160×100×14
6	1	20	20	180×180×12	180×110×12
7	2	20a	20a	160×160×16	200×125×16
8	3	22	22	140×140×12	200×125×11
9	4	22a	22a	125×125×12	180×110×10
10	5	24	24	110×110×8	160×100×12
11	1	10	10	80×80×6	140×90×8
12	2	12	12	75×75×5	125×80×7
13	3	14	14	70×70×5	110×70×8
14	4	16	16	100×100×7	100×63×8
15	5	18	18	90×90×6	125×80×10
16	1	20	20	140×140×9	140×90×10
17	2	20a	20a	125×125×8	160×100×10
18	3	22	22	110×110×7	180×110×12
19	4	22a	22a	180×180×11	200×125×12
20	5	24	24	160×160×10	160×100×9

21	1	10	10	70×70×6	140×90×8
22	2	12	12	100×100×12	125×80×8
23	3	14	14	90×90×8	110×70×8
24	4	16	16	80×80×7	125×80×12
25	5	18	18	75×75×9	140×90×10
26	1	20	20	125×125×10	160×100×14
27	2	20a	20a	100×100×16	200×125×14
28	3	22	22	160×160×12	180×110×10
29	4	22a	22a	140×140×10	160×100×12
30	5	24	24	125×125×16	180×110×12
31	1	22	22	80×80×7	160×100×12
32	2	24	24	90×90×8	100×70×8

Задание 4. РАСЧЕТ БАЛОК ПРИ ПРЯМОМ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ

Для каждой из заданных схем балок требуется:

- 1) построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов для каждой из трех заданных балок;
- 2) подобрать размеры поперечного сечения всех балок;
- 3) провести анализ напряженного состояния в точках опасного сечения двухопорной балки при поперечном изгибе.

Последовательность выполнения задания для каждой из заданных схем балок:

- 1) определить опорные реакции (кроме консольной балки);
- 2) разбить балку на грузовые участки;
- 3) составить уравнения для поперечной силы и изгибающего момента в произвольном поперечном сечении каждого грузового участка балки;
- 4) определить численные значения поперечных сил и изгибающих моментов на концах грузовых участков (для прямолинейных зависимостей), а также, в случае необходимости, экстремальные значения изгибающих моментов на грузовых участках, несущих распределенную нагрузку;
- 5) построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов по их расчетным значениям и проверить правильность построения по дифференциально-интегральным зависимостям для каждого участка;
- 6) по эпюрам изгибающих моментов выбрать опасные сечения (изгибающие моменты в которых достигают своего максимального значения) для каждой балки;

7) подобрать размеры поперечных сечений балок в виде двутавра из условия прочности по нормальным напряжениям на изгиб.

Для двухопорной балки, кроме того:

8) записав условие прочности по нормальным напряжениям при изгибе, подобрать следующие сечения:

- прямоугольное с соотношением сторон $h/b=2$;
- квадратное;
- круглое;
- сечение, составленное из двух швеллеров, соединенных стенками;

9) оценить экономичность по металлоемкости выбранных форм сечения, для чего сопоставить площади их поперечных сечений, отнеся их к площади двутавра;

10) произвести полную проверку прочности балки двутаврового сечения:

10.1) на основании анализа эпюр поперечных сил и изгибающих моментов найти опасное сечение, в котором нормальные напряжения σ и касательные напряжения τ достигают одновременно возможно больших значений;

10.2) определить нормальные и касательные напряжения в пяти точках сечения (крайних, верхней и нижней, на нейтральной оси и на границах перехода от одной полки к стенке); построить эпюры распределения этих напряжений по сечению;

10.3) проверить прочность балки по максимальным нормальным напряжениям при $[\sigma]=160$ МПа;

10.4) проверить прочность балки по максимальным касательным напряжениям $[\tau]=80$ МПа;

10.5) проверить прочность балки в точках перехода от полки к стенке по эквивалентным напряжениям, по третьей гипотезе прочности при $[\sigma]=160$ МПа;

10.6) при необходимости подобрать новый номер двутавра;

10.7) произвести анализ напряженного состояния для вышеуказанных пяти точек поперечного сечения:

- вычислить величины главных напряжений σ_1 и σ_3 ;
- построить эпюры главных напряжений σ_1 и σ_3 ;
- определить положение главных площадок;
- изобразить исходные площадки с действующими по ним напряжениями и главные площадки σ_1 и σ_3 для всех пяти точек.

В задании должны быть следующие рисунки:

1) вычерченные в масштабе схемы балок с указанием всех заданных сил, опорных реакций и размеров отдельных участков;

2) эпюры поперечных сил и изгибающих моментов в достаточно крупном масштабе. Эти эпюры необходимо расположить под схемой соответствующей балки и указать на них в числовом выражении все характерные ординаты.

Для двутавровой балки (схема 1) дополнительно представить:

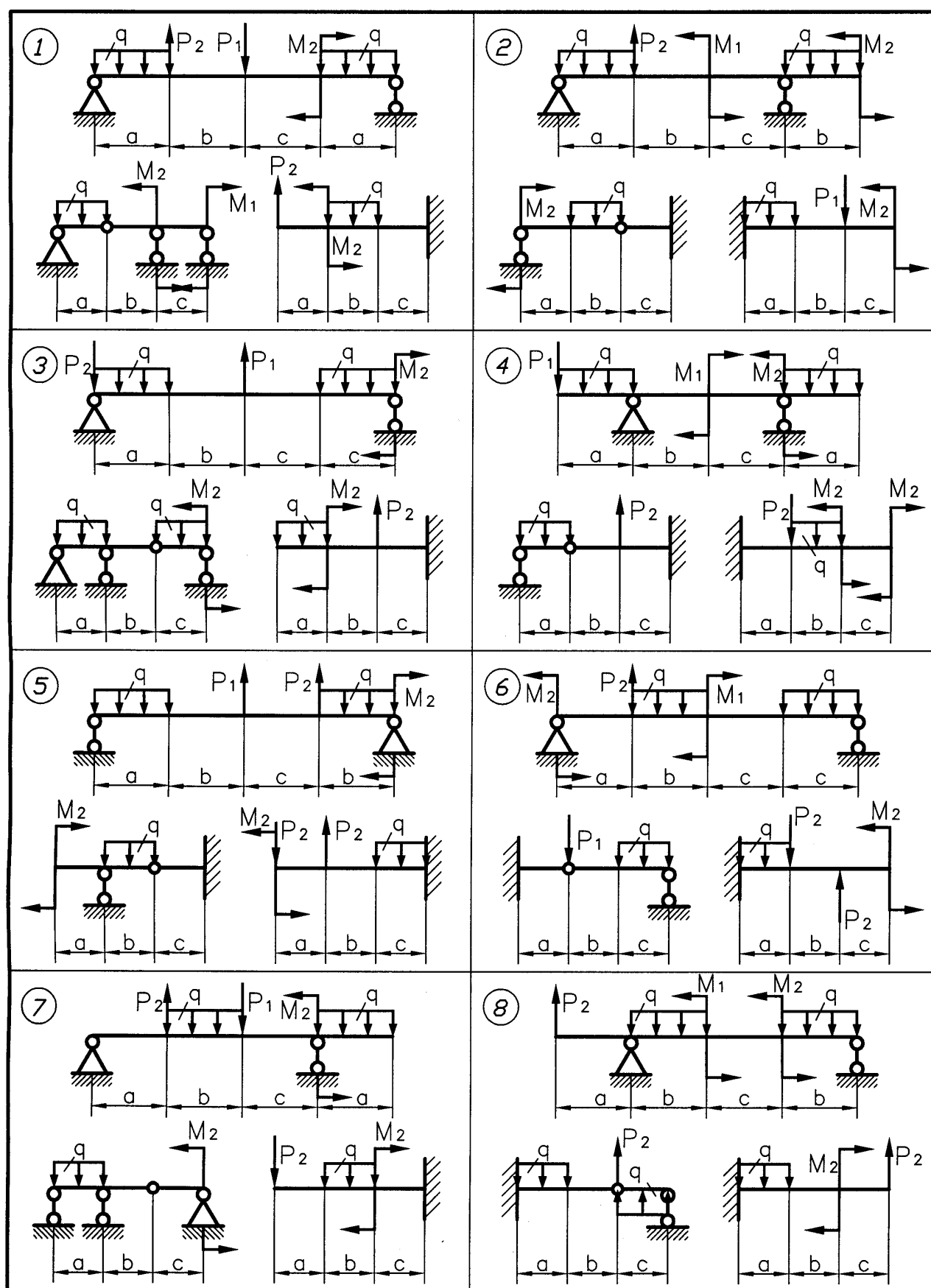
3) чертеж сечения с указанием основных размеров;

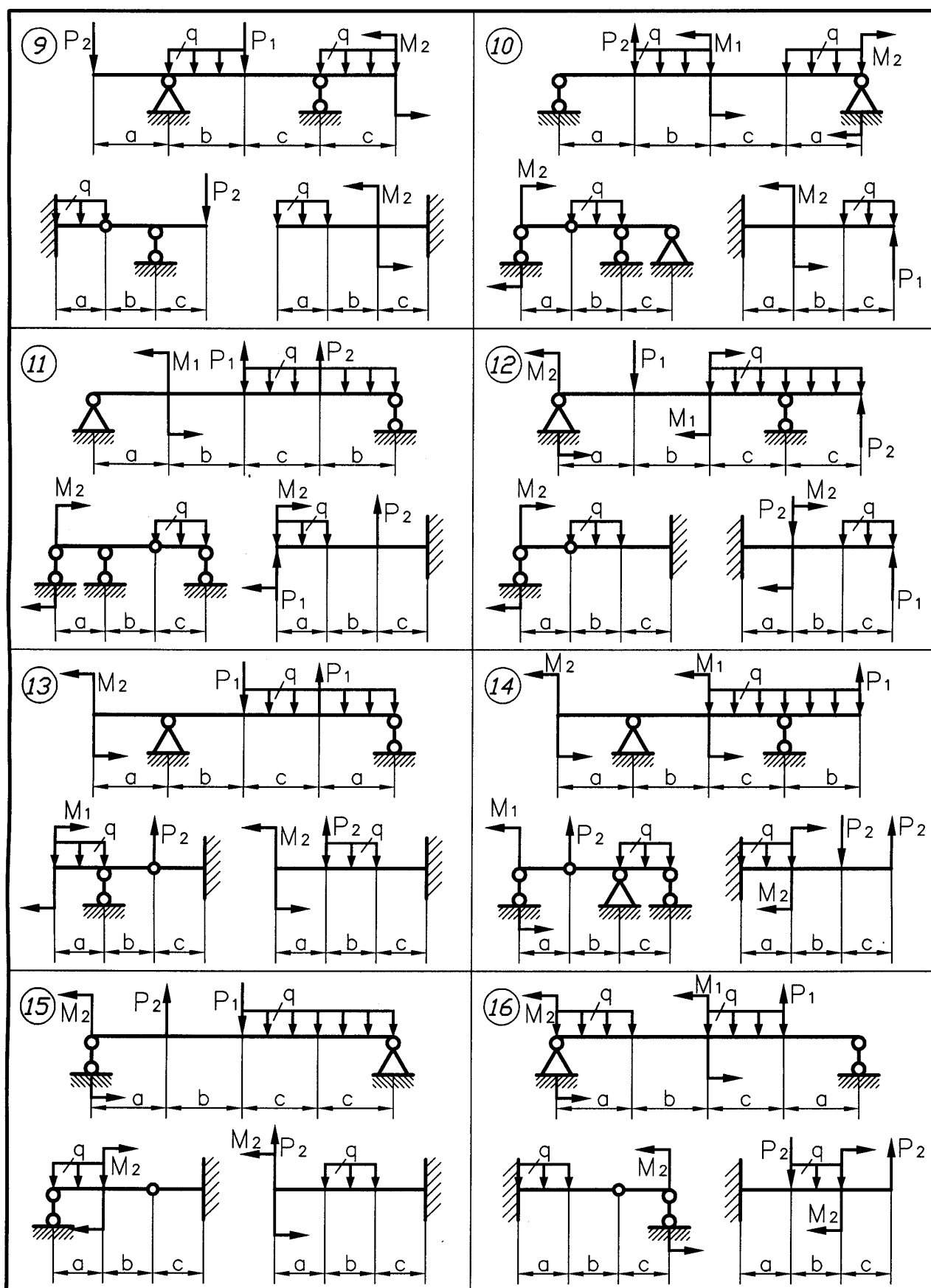
4) эпюры нормальных, касательных и главных напряжений в опасном сечении балки;

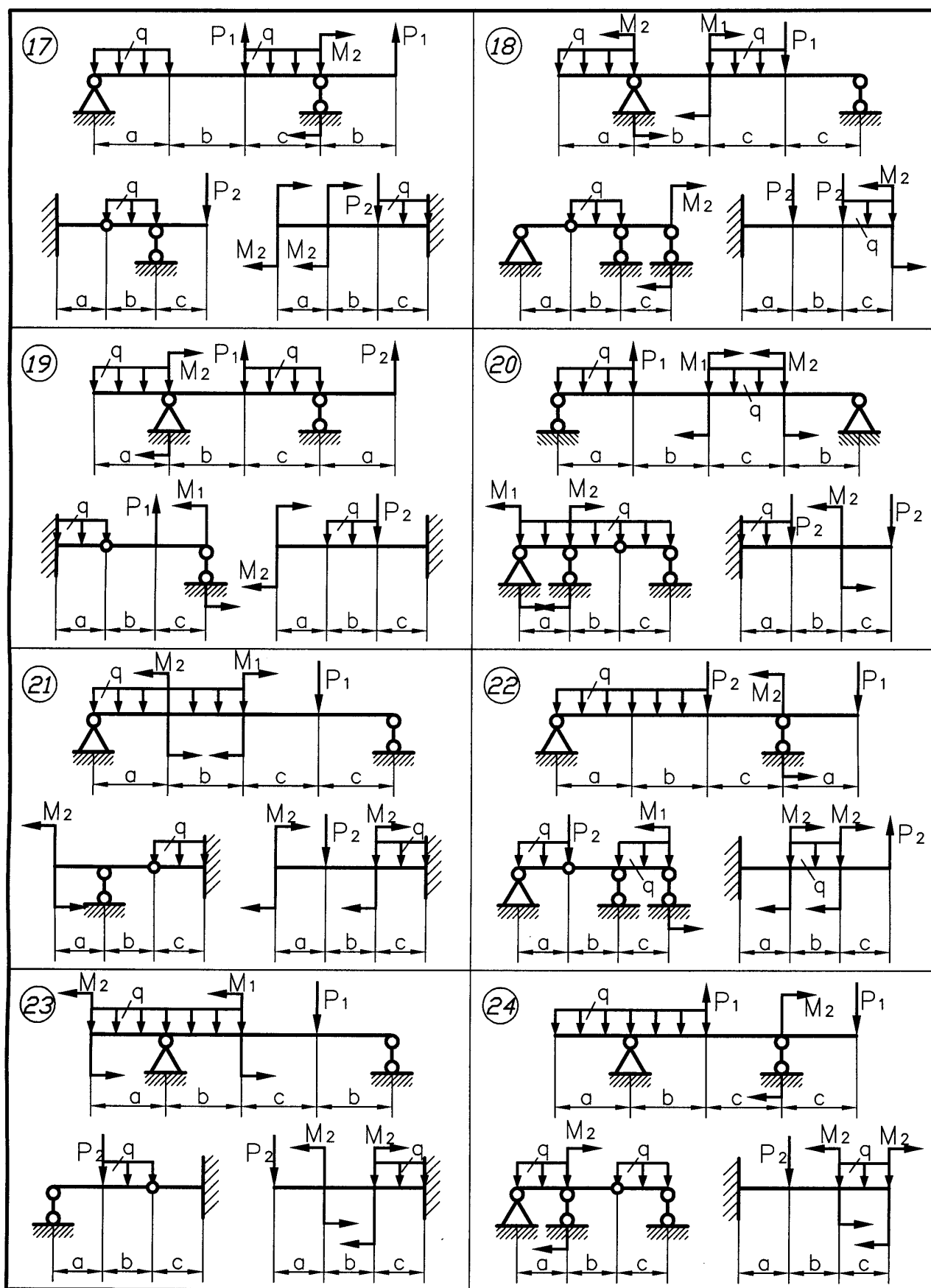
5) схемы плоского напряженного состояния в упомянутых выше пяти точках сечения с указанием напряжений на исходных площадках, направлений главных площадок и главных напряжений σ_1 и σ_3 .

Расчетные схемы сечений выбрать по таблице 7, расчетные данные (значения нагрузок и размеры участков) – по таблице 8 в соответствии с индивидуальным четырехзначным шифром, выданным преподавателем в начале семестра.

Таблица 7 – Расчетные схемы к заданию 4







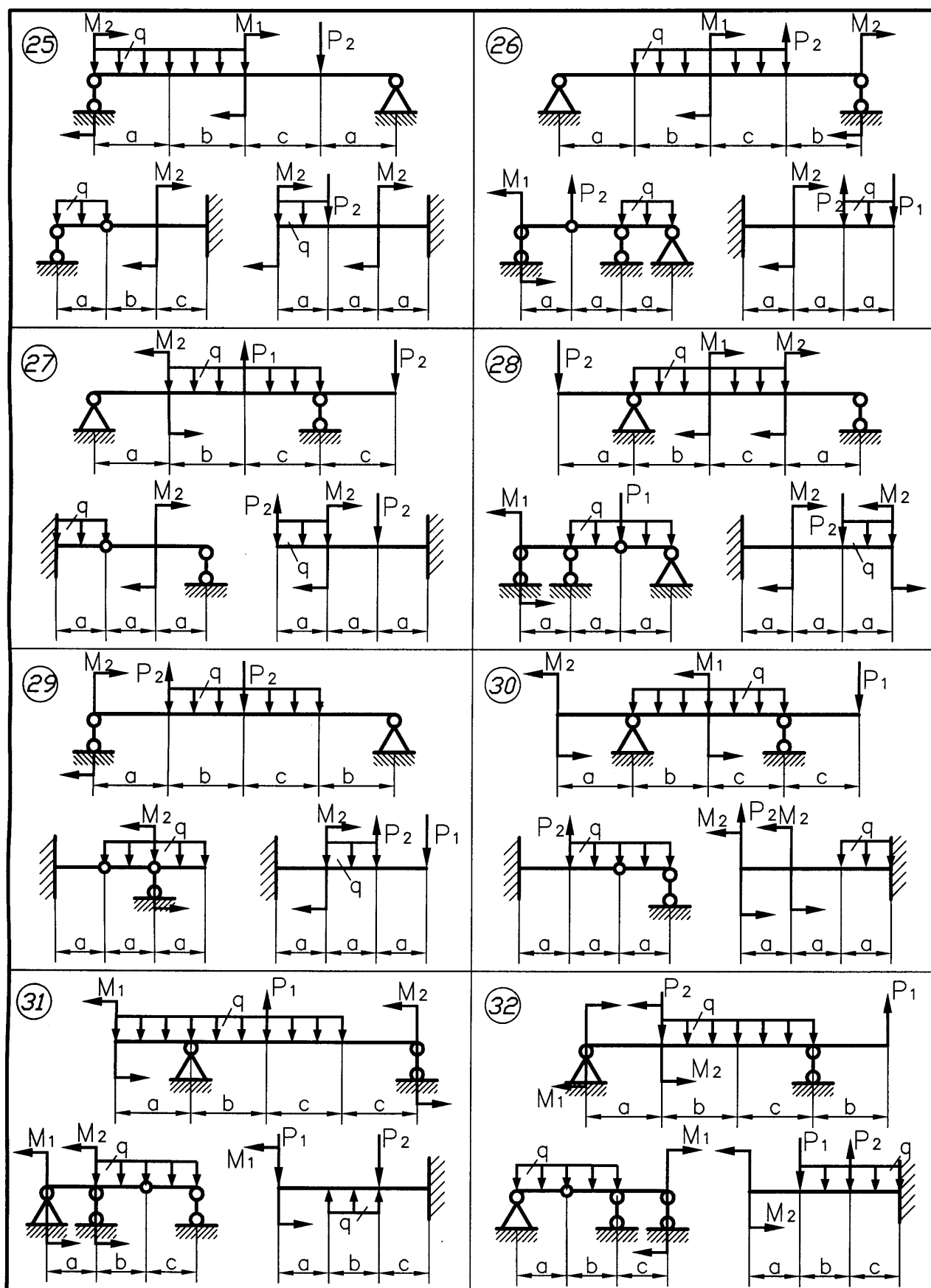


Таблица 8 – Расчетные данные к заданию 4

№ варианта	M ₁ , кНм	M ₂ , кНм	P ₁ , кН	P ₂ , кН	q, кН/м	a, м	b, м	c, м
1	20	40	70	30	10	1	2	1
2	20	30	70	30	20	1	1,5	1,5
3	30	30	60	40	20	1	1	2
4	30	20	60	40	30	1	1	2
5	40	20	50	40	30	2	2	2
6	40	20	50	40	40	2	2	2
7	20	10	50	40	40	2	1	2
8	30	10	40	50	20	1	1	1
9	40	10	30	40	20	1	2	1
10	30	10	30	50	20	1	2	1
11	30	10	70	50	20	2	1	1
12	40	20	70	50	30	2	1	1
13	20	30	60	50	30	2	2	1
14	20	30	60	50	40	2	2	1
15	30	40	50	60	40	1	1	2
16	40	40	50	30	20	1	1	2
17	40	30	20	30	40	1	2	2
18	50	40	40	30	20	1	2	2
19	10	30	20	40	30	2	1	2
20	30	20	50	40	10	2	1	2
21	40	20	30	40	10	2	2	2

22	20	10	70	40	30	1	2	2
23	30	20	60	40	20	1	1	2
24	40	10	60	30	20	1	1	1
25	20	10	50	40	30	2	1	1
26	30	20	50	50	20	2	1	2
27	30	20	40	50	30	2	1	1
28	30	10	40	50	20	2	1	1
29	40	30	30	50	20	2	2	1
30	40	30	30	50	20	2	2	1
31	25	35	25	20	10	1	0,5	1,5
32	35	45	10	40	25	2,5	2	1

5. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

5.1. Основная литература

1. Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П. Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 2002. – 520 с.
2. Варданян Г. С., Атаров Н. М., Горшков А. А. Сопротивление материала-лов. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 480 с.

5.2. Дополнительная литература

1. Сопротивление материалов. Учебное пособие / Н. А. Костенко, С. В. Балясникова, Ю. Э. Волошановская и др.; Под ред. Н. А. Костенко. – М.: Высшая школа., 2000. – 430 с.
2. Сопротивление материалов: Учебник для вузов / Под ред. А. Ф. Смирнова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1975. – 480с.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по организации самостоятельной работы**

Содержание

Введение

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса
2. Цели и основные задачи самостоятельной работы
3. Виды самостоятельной работы
4. Организация самостоятельной работы
5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы
6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы
7. Критерии оценки самостоятельной работы

Введение

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности профессионала, способного к саморазвитию, самообразованию и инновационной деятельности.

Успешное усвоение дисциплин по различным образовательным программам предполагает активное, творческое участие обучающегося на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной не только аудиторной, но и самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения обучающимися новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Объем самостоятельной работы (в часах) определен учебным планом.

Методические указания по организации самостоятельной работы студентов (далее – СРС) являются обязательной частью учебно-методических комплексов учебных дисциплин.

Методические указания по организации самостоятельной работы для студентов, наряду с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ, практических занятий и работе с лекционным материалом; по формам текущего, промежуточного и итогового контроля; по выполнению курсовых работ/проектов, расчетно-графических работ, контрольных работ; по подготовке и защите выпускных квалификационных работ, составляют единый комплекс методического обеспечения УМК каждой учебной дисциплины.

Цель методических указаний СРС – определить роль и место самостоятельной работы студентов в учебном процессе; конкретизировать ее уровни, формы и виды; обобщить методы и приемы выполнения определенных типов учебных заданий; объяснить критерии оценивания.

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа обучающихся, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой обучающихся).

Самостоятельная работа обучающихся является важным видом учебной и научной деятельности. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРО должна стать эффективной и целенаправленной работой.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи высшего образования – «подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности».

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы обучающихся над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста обучающихся, воспитание творческой активности и инициативы.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие обучающихся в практических занятиях, лабораторных работах, выполнение контрольных и расчетно-графических работ, написание курсовых работ (проектов) и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа обучающихся играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. Они включают в себя:

- изучение и систематизацию официальных государственных документов - законов, постановлений, указов, нормативно-инструкционных и справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем «Консультант-плюс», «Гарант», глобальной сети «Интернет»;
- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, статистической, периодической и научной информации;
- подготовку докладов и рефератов, написание выпускных квалификационных работ;
- участие в работе студенческих конференций, комплексных научных исследованиях.

Самостоятельная работа приобщает студентов к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

2. Цели и основные задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для деятельности.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, активности обучающихся, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Основными задачами СРС являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к промежуточной аттестации - зачетам и экзаменам.

3. Виды самостоятельной работы

Самостоятельная работа студента включает:

- самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы;
- подготовка к лекциям;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к лабораторным работам;
- написание рефератов;
- выполнение контрольной работы;
- выполнение курсовой работы (проекта);

- выполнение расчетно-графической работы;
- подготовка исследовательской работы (написание статьи, доклада);
- подготовка выпускной квалификационной работы;
- подготовка к текущей и промежуточной аттестации;
- подготовка к государственной итоговой аттестации.

Для выполнения самостоятельной работы студентам необходимо ознакомиться с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, с графиком консультаций преподавателей кафедры, с перечнем ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

4. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа студента – способ активного, целенаправленного приобретения новых знаний и умений без непосредственного участия в этом процессе преподавателей.

Организационные мероприятия, обеспечивающие развитие навыков самостоятельной работы студентов, воспитание их творческой активности и инициативы, а также, в целом, обеспечивающие нормальное функционирование самостоятельной работы студентов, должны основываться на следующих предпосылках:

- самостоятельная работа должна быть конкретной по своей предметной направленности;
- самостоятельная работа должна сопровождаться эффективным, непрерывным контролем и оценкой ее результатов.

Предметно и содержательно самостоятельная работа определяется федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки, основной образовательной программой, учебным планом, рабочими программами дисциплин.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуются как единство двух форм:

- самоконтроль и самооценка;
- внешний контроль и оценка со стороны преподавателей, государственных экзаменационных комиссий и др.

5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы студентов направлена на решение следующих задач:

а) закрепление, обобщение и повторение пройденного учебного материала; применение полученных знаний в традиционных педагогических ситуациях и при решении задач высокого уровня неопределенности;

б) совершенствование умений и навыков по изучаемой дисциплине; формирование межпредметных, общеучебных, исследовательских умений;

в) активизация учебной и научно-исследовательской деятельности обучающихся, ее максимальная индивидуализация с учетом индивидуальных особенностей и академической успеваемости студентов;

г) формирование готовности студентов к самообразованию в течение всей жизни.

Видами занятий для самостоятельной работы могут быть:

Для овладения знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, конспектов лекций);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста;
- конспектирование текста; выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами;
- учебно-исследовательская работа, использование аудио и видеозаписей, компьютерной техники, интернета и др.

Для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций, повторная работа над материалом;

- составление плана и тезисов ответа;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- ответы на контрольные вопросы;
- аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ);
- подготовка сообщения для выступления на конференции;
- подготовка рефератов, докладов;
- составление библиографии.

Для формирования умений:

- выполнение контрольных работ;
- выполнение чертежей, схем, расчетно-графических работ;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности.
- подготовка курсовых и дипломных работ (проектов);

Для формирования компетенций:

- принятие решений по конкретной ситуации;
- грамотная формулировка задания для исполнения;
- организация контроля по сферам деятельности.

6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы

Система вузовского обучения подразумевает значительную самостоятельность студентов в планировании и организации своей деятельности.

6.1 Самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы

Работа с литературой является основным методом самостоятельного овладения знаниями. Это сложный процесс, требующий выработки определенных навыков, поэтому студенту нужно обязательно научиться работать с книгой.

Осмысление литературы требует системного подхода к освоению материала. В работе с литературой системный подход предусматривает не только тщательное (иногда многократное) чтение текста и изучение специальной литературы, но и обращение к дополнительным источникам – справочникам, энциклопедиям, словарям. Эти источники – важное подспорье в самостоятельной работе студента, поскольку глубокое изучение именно их материалов позволит студенту уверенно «распознавать», а затем самостоятельно оперировать теоретическими категориями и понятиями, следовательно – освоить новейшую научную терминологию. Такого рода работа с литературой обеспечивает решение студентом поставленной перед ним задачи (подготовка к практическому занятию, выполнение контрольной работы и т.д.).

Выбор литературы для изучения делается обычно по предварительному списку литературы, который выдал преподаватель, либо путем самостоятельного отбора материалов. После этого непосредственно начинается изучение материала, изложенного в книге.

Наиболее надежный способ собрать нужный материал – составить план или конспект. *Конспект, план-конспект* – это последовательная фиксация отобранной и обдуманной в процессе чтения информации.

Цель – зафиксировать, переработать тот или иной научный текст. Они позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

План – это «скелет» текста, он компактно отражает последовательность изложения материала. План как форма записи обычно более подробно передает содержание частей текста, чем оглавление книги или подзаголовки статей. Самые важные места в книге отмечайте, используя для этого легко стирающийся карандаш или вкладные листки. Запись любых планов следует делать так, чтобы ее легко можно было охватить одним взглядом.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия). Необходимость изучения

дополнительной литературы диктуется прежде всего тем, что в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражения новые документы, события, явления, научные открытия последних лет. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала.

6.2 Подготовка к лекциям и работа с конспектом лекций

При подготовке к лекции студенты должны предварительно ознакомиться с учебным материалом по данной теме и при конспектировании лекции акцентировать внимание на новых теоретических положениях, правовых и иных данных, не нашедших отражения в учебной литературе.

Лекция имеет цель – систематизация основы научных знаний по дисциплине, сконцентрировать внимание обучающихся на наиболее актуальных проблемах.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы. Дает рекомендации на практические занятия и указания на самостоятельную работу.

Предварительное не углубленное знакомство с материалом очередной лекции дает многое. Студенты получают общее представление о ее содержании и структуре, о главных и второстепенных вопросах, о терминах и определениях. Все это облегчает работу на лекции и делает ее целеустремленной.

Основные моменты лекционных занятий конспектируются. Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения с обязательным составлением конспекта.

Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим обучающимся.

Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Самостоятельную работу следует начинать с доработки конспекта, желательно в тот же день, пока время не стерло содержание лекции из памяти. С целью доработки необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения, возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополнения и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего следует применять различные способы выделений. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект.

Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

6.3 Подготовка к практическим занятиям

Целью практических занятий является получение базовых навыков по применению теоретических знаний. Это необходимо при решении всевозможных задач на различных этапах практической деятельности.

Задачи подготовки и проведения практических занятий:

- закрепление и углубление знаний;
- создание практических навыков и умений в практической деятельности и повседневной жизни для: поиска, первичного анализа и использования информации;
- анализа конкретных ситуаций и условий их реализации;
- изложения и аргументации собственных суждений по практической ситуации;
- развитие стремления и способности к самостоятельному исследованию изучаемых реальностей, их критической оценки.

Подготовка к практическим занятиям включает: изучение нормативных актов, учебной литературы, лекционного материала; подготовка рефератов.

Практические занятия по дисциплине проводятся в форме различных дискуссий (семинарских занятий) и (или) анализа конкретных ситуаций (выполнение практических заданий).

6.4 Подготовка к лабораторным работам

Лабораторные работы составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки студентов. Они направлены на формирование учебных и профессиональных практических умений.

На лабораторных занятиях задания выполняются по материалам согласно плану.

До начала лабораторных занятий обучающиеся должны пройти инструктаж по технике безопасности.

Перед выполнением лабораторной работы обучающийся должен изучить теоретический материал по теме лабораторной работы по основной и дополнительной литературе, ознакомиться с ресурсами информационно - телекоммуникационной сети «Интернет». При этом обучающийся должен учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы.

В ходе подготовки к лабораторным занятиям необходимо ознакомиться с методическими указаниями; с порядком ее выполнения; освоить основные понятия; изучить алгоритмы; методы и технологии, необходимые для реализации этих алгоритмов; ответить на контрольные вопросы.

После выполнения работы производится обработка полученных результатов, составляется и защищается отчет. Без защиты отчета студент, как правило, не допускается к очередной работе.

6.5 Написание рефератов

Реферат представляет собой краткое изложение в письменной форме содержания научного труда по определенной теме, возможно выходящего за рамки учебной программы, а также изложение книги, статьи, исследования. Иными словами, реферат – это индивидуальная научная работа, раскрывающая содержание исследуемой проблемы с различных позиций и точек зрения, с формированием самостоятельных выводов.

Целью написания реферата является сообщение определенной информации для развития навыков научно-исследовательской работы.

В процессе подготовки реферата, обучающиеся, глубже постигают вопросы изучаемого предмета, поскольку:

- анализируются различные точки зрения, факты и события;
- ведется научно обоснованная полемика;
- обобщается материал;
- лаконично излагаются мысли;

- правильно оформляется работа с составлением плана, библиографии и систематизацией информации.

Подготовка реферата включает в себя:

- выбор и формулирование темы, которая должна обладать новизной, актуальностью и оригинальностью;

- подбор литературы и изучение основных источников;
- составление содержания, раскрывающего название работы;
- выписки из литературных источников с целью накопления теоретического и практического материала;

- написание реферата и его оформление;
- составление списка использованной литературы.

6.6 Выполнение контрольной работы

Контрольная работа является одной из составляющих учебной деятельности студента по овладению знаниями в области теплогазоснабжения и вентиляции. К ее выполнению необходимо приступить только после изучения тем дисциплины.

Целью контрольной работы является определения качества усвоения лекционного материала и части дисциплины, предназначенной для самостоятельного изучения.

Задачи, стоящие перед студентом при подготовке и написании контрольной работы:

1. закрепление полученных ранее теоретических знаний;
2. выработка навыков самостоятельной работы;
3. выяснение подготовленности студента к будущей практической работе.

Преподаватель готовит задания либо по вариантам, либо индивидуально для каждого студента. По содержанию работа может включать теоретический материал, задачи, тесты, расчеты и т.п. выполнению контрольной работы предшествует инструктаж преподавателя.

Ключевым требованием при подготовке контрольной работы выступает творческий подход, умение обрабатывать и анализировать информацию, делать самостоятельные выводы, обосновывать целесообразность и эффективность предлагаемых рекомендаций и решений проблем, чётко и логично излагать свои мысли. Подготовку контрольной работы следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций.

6.7 Выполнение курсовой работы (проекта)

Курсовая работа (проект) - это самостоятельное исследование обучающимся определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов, касающихся конкретной профессиональной ситуации.

Курсовая работа (проект) не должна состояться из фрагментов статей, монографий, пособий. Кроме простого изложения фактов и цитат, в курсовой работе (проекте) должно проявляться авторское видение проблемы и ее решения.

Рассмотрим основные этапы подготовки курсовой работы (проекта).

Выполнение курсовой работы (проекта) начинается с выбора темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов избранной темы;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана;
- составление графика выполнения курсовой работы (проекта).

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания курсовой работы (проекта). Конспектируя первоисточники, необходимо отразить основную идею автора и его позицию по исследуемому вопросу, выявить проблемы и наметить задачи для дальнейшего изучения данных проблем.

Систематизация и анализ изученной литературы по проблеме исследования позволяют написать первую (теоретическую) главу.

Выполнение курсовой работы (проекта) предполагает проведение определенного исследования. На основе разработанного плана обучающийся осуществляет сбор фактического материала, необходимых цифровых данных. Затем полученные результаты подвергаются анализу, статистической, математической обработке и представляются в виде текстового описания, таблиц, графиков, диаграмм. Программа исследования и анализ полученных результатов составляют содержание второй (аналитической) главы.

В третьей (рекомендательной) части должны быть отражены мероприятия, рекомендации по рассматриваемым проблемам.

Рабочий вариант текста курсовой работы (проекта) предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление. После доработки курсовая работа (проект) сдается на кафедру для ее оценивания руководителем.

Защита курсовой работы (проекта) обучающихся проходит в сроки, установленные графиком учебного процесса.

При подготовке к защите курсовой работы (проекта) обучающийся должен знать основные положения работы, выявленные проблемы и мероприятия по их устранению, перспективы развития рассматриваемой экономической ситуации.

Защита курсовой работы (проекта) проводится на кафедре при наличии у обучающегося курсовой работы (проекта). Оценка - дифференцирована. Преподаватель оценивает защиту курсовой работы (проекта) и заполняет графу "оценка" в ведомости и в зачетной книжке.

Не допускаются к защите варианты курсовых работ (проектов), найденные в Интернет, сканированные варианты учебников и учебных пособий, а также копии ранее написанных работ.

6.8 Выполнение расчетно-графической работы

Расчетно-графическая работа является важным элементом учебного процесса, предусмотрена учебным планом.

Цель расчетно-графической работы – систематизация и закрепление теоретических знаний, и развитие практических навыков по решению задач в области теплогазоснабжения и вентиляции, выработка навыков анализа данных и формулирования выводов по полученным результатам.

Задачами расчетно-графической работы являются:

- развитие навыков самостоятельной работы в области решения практических задач;
- подбор и систематизация теоретического материала, являющегося основой для решения практической задачи, развитие навыков самостоятельной работы с учебной и методической литературой;
- проведение расчетов показателей по исходным данным и анализ полученных значений;
- формулирование выводов по полученным результатам.

Выполнение расчетно-графической работы проводится студентом по конкретному варианту задания, который необходимо уточнить у преподавателя.

Содержанием расчетно-графической работы является краткое изложение теоретического материала к каждой задаче, решение задачи по индивидуальному варианту, включающее в себя расчет основных показателей, анализ полученных результатов, формулирование выводов.

Расчетно-графическая работа должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Условие задачи.
3. Теоретическая часть по каждой задаче (1-3 страницы).
4. Практическая часть и выводы по каждой задаче.
5. Библиографический список (не менее 5 источников).

Условие задачи оформляется по центру заголовком «Задача №».

Текст условия задачи должен совпадать с текстом в методических указаниях, включая таблицы, при их наличии.

Далее излагается теоретический материал, лежащий в основе решения задачи, включающий в себя основные определения, формулы расчетов показателей и др.

В практической части излагается подробное решение задачи. При необходимости результаты оформляются в виде сводной таблицы.

К каждой задаче необходимо сформулировать выводы, проанализировав полученные результаты.

Расчетно-графическая работа должна выполняться в соответствии с установленным графиком. В процессе выполнения расчетно-графической работы допускаются консультации у преподавателя на практических занятиях.

Выполнение основных этапов контролируется преподавателем и учитывается при проведении текущего контроля по дисциплине и при оценке расчетно-графической работы.

6.9 Подготовка исследовательской работы (написание статьи, научного доклада)

Научный доклад представляет собой исследование по конкретной проблеме, изложенное перед аудиторией слушателей. Работа по подготовке научного доклада включает не только знакомство с литературой по избранной тематике, но и самостоятельное изучение определенных вопросов.

Научный доклад может быть подготовлен для выступления на семинарском занятии, конференции научного общества, или в рамках круглого стола. В любом случае успешное выступление во многом зависит от правильной организации самого процесса подготовки научного доклада.

Подготовка научного доклада включает несколько этапов работы:

- выбор темы доклада;
- подготовка материалов;
- работа над текстом доклада;
- подготовка к выступлению.

Подготовка к научному докладу начинается с выбора темы Вашего будущего выступления.

Не следует выбирать слишком широкую тему научного доклада. Это связано с ограниченностью докладчика во времени. Доклад должен быть рассчитан на 7-15 минут.

Работа по подбору материалов для доклада связана с изучением соответствующей тематики литературы.

В процессе работы над текстом доклада обучающиеся глубже постигают вопросы изучаемого предмета, поскольку:

- анализируются различные точки зрения, факты и события; ведется научно обоснованная полемика;
- обобщается материал; лаконично излагаются мысли;
- правильно оформляется работа с составлением плана, библиографии и систематизацией информации.

Текст научного доклада должен включать три основные части:

- введение – краткое знакомство слушателей с обсуждаемой в докладе проблемой;
- основную часть – логическое продолжение вопросов, обозначенных автором во введении. В этой части доклада раскрывается тема выступления, приводятся необходимые доказательства (аргументы);
- заключение – обобщение основной мысли и идеи выступления. В заключении можно кратко повторить основные выводы и утверждения, прозвучавшие в основной части доклада.

Научный доклад представляет собой устное произведение и чтение вслух подготовленного текста недопустимо.

К секретам хорошего выступления можно отнести следующие моменты:

- до и после важных мыслей следует делать паузу;
- для большего акцента сказанного необходимо менять тон голоса и тембр речи. Это сделает Вашу речь более выразительной;
- необходимо иметь контакт с аудиторией.

6.10 Подготовка выпускной квалификационной работы

ВКР представляет собой самостоятельное логически завершенное исследование, связанное с решением научной или научно-практической задачи. При его выполнении студент должен показать способности и умения, опираясь на полученные знания, решать на современном уровне задачи профессиональной деятельности, грамотно излагать специальную информацию, докладывать и отстаивать свою точку зрения перед аудиторией.

Цель защиты ВКР – установление уровня подготовленности выпускника к выполнению профессиональных задач в соответствии с требованиями ФГОС ВО к квалификационной характеристике и уровню подготовки выпускника.

Студенту предоставляется право самостоятельного выбора темы ВКР. Для подготовки ВКР назначается научный руководитель и, при необходимости, консультанты.

ВКР состоит из текста (рукописи) и графических материалов, отражающих решение профессиональных задач в соответствии с избранной тематикой. Структура ВКР включает:

- титульный лист;
- задание, включая календарный план;
- содержание;
- введение;
- основной текст;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Руководитель выпускной работы выдает задание; оказывает помощь в организации и выполнении работы; проводит систематические консультации обучающегося; проверяет выполнение работы; дает письменный отзыв о работе.

Представление иллюстративного материала к публичной защите возможно в виде:

- плакатов и чертежей;
- раздаточного материала с иллюстрациями; с использованием:

- проекционной техники;
- компьютерной презентации.

Конкретные требования к содержанию, структуре, формам представления и объемам устанавливаются в соответствующих Положениях о выпускных квалификационных работах и методических указаниях по их подготовке и оформлению.

6.11 Подготовка к текущей и промежуточной аттестации

Система контроля включает в себя текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль должен быть непрерывным. Формы текущего контроля устанавливаются по усмотрению преподавателя. Промежуточный контроль – это итог работы студента за семестр с учетом всех видов учебной работы.

Текущий контроль. Текущий контроль успеваемости обучающихся – это систематическая проверка учебных достижений обучающихся, проводимая в целях оценивания хода освоения дисциплин в соответствии с рабочей программой.

Текущий контроль успеваемости студентов очной формы обучения проводится по всем дисциплинам учебного плана в течение семестра:

- на лабораторных, семинарских, практических занятиях, по которым рабочими программами дисциплин предусмотрены отчетности;
- по всем формам самостоятельной работы студентов в заранее установленное время.

Текущий контроль успеваемости студентов осуществляется преподавателями кафедр, за которыми закреплены дисциплины учебного плана, и может проводиться в следующих формах:

- собеседование,
- контрольная работа,
- защита лабораторной работы,
- реферата,
- расчетно-графическая работа, и др.

Виды и сроки проведения текущего контроля успеваемости студентов устанавливаются рабочей программой дисциплины.

Текущий контроль успеваемости является элементом внутривузовской системы контроля качества подготовки обучающихся и способствует активизации познавательной деятельности студентов в ходе аудиторных занятий, при выполнении программ самостоятельной и индивидуальной работы.

Текущий контроль успеваемости должен учитывать выполнение обучающимися всех видов учебных занятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой дисциплины, самостоятельную, исследовательскую работу и посещаемость учебных занятий.

Анализ результатов текущего контроля студентов, обучающихся на основе рейтинговой оценки знаний, проводится 2 раза в семестр:

- в первом полугодии - на 1 ноября, на 10 декабря;
- во втором полугодии - на 1 апреля, на 20 мая.

Анализ результатов текущего контроля студентов, не участвующих в рейтинговой системе оценки знаний, проводится в институтах: к указанным выше датам итоги текущего контроля и количество пропущенных занятий (в часах) преподаватели, ведущие занятия, проставляют в листы текущего контроля успеваемости, которые анализируются и хранятся в институтах.

Промежуточная аттестация. Промежуточная аттестация призвана оценить уровень сформированности компетенций, полученных студентами в процессе изучения дисциплины, курсового проектирования и обеспечить контроль качества освоения образовательных программ.

Промежуточная аттестация проводится по завершении изучения какой - либо дисциплины.

Формами промежуточной аттестации являются зачет и экзамен.

При явке на промежуточную аттестацию обучающийся обязан предъявить зачетную книжку. Фамилия обучающегося должна значиться в зачетно-экзаменационной ведомости.

Зачеты студентам по изучаемым дисциплинам выставляются преподавателем, проводившим практические, семинарские или лабораторные занятия группы (подгруппы), на последнем занятии по результатам работы в семестре. Для студентов, обучающихся на основе рейтинговой системы оценки

знаний, зачет выставляется автоматически при условии сдачи всех контрольных мероприятий, предусмотренных текущим контролем успеваемости.

6.12 Подготовка к государственной итоговой аттестации

В соответствии с образовательным стандартом по направлению подготовки и образовательной программой по направлению подготовк, в состав государственной итоговой аттестации входят:

- государственный экзамен;
- защита выпускной квалификационной работы.

Подготовка к государственному экзамену

Цель государственного экзамена – оценить глубину полученных знаний, практические навыки применения этих знаний при решении профессиональных задач (компетентность).

В связи с необходимостью объективной оценки степени сформированности компетенций выпускника, тематика экзаменационных вопросов и заданий должна быть комплексной и соответствовать избранным разделам из различных учебных дисциплин, формирующих конкретные компетенции.

Например, в экзаменационное задание (вопрос) могут входить элементы нескольких дисциплин (модулей) общенаучного, и профессионального циклов.

На государственном экзамене могут контролироваться как отдельные компетенции, так и элементы различных компетенций.

Государственный экзамен может проводиться в письменной, устной и смешанной форме. Экзаменационные билеты включают несколько вопросов из представленного перечня дисциплин. Один из вопросов рекомендуется делать комплексным, ситуационным или представляющим задание практического характера. Перед итоговым экзаменом предполагается предэкзаменационная консультация и выделение времени на подготовку к экзамену не менее 7 дней. Для подготовки студентов к государственному экзамену разрабатывается программа, где должна быть отражена процедура подготовки и проведения государственного экзамена, критерии оценки.

В содержание программы включается перечень вопросов и заданий, выносимых на экзамен, и позволяющих оценить результаты обучения.

Подготовка к защите ВКР

Выпускная квалификационная работа (ВКР) представляет собой самостоятельную и логически завершенную выпускную квалификационную работу, связанную с решением задач того вида (видов) деятельности, к которым готовится студент (научно-исследовательской, научно-педагогической, проектной, технологической, исполнительской, творческой, организаторской и другим).

Выпускник должен не только подготовить ВКР, но и уметь защитить ее на итоговой государственной аттестации.

При подготовке к защите необходимо:

- повторить основные требования руководящих документов на текущий год по теме ВКР;
- подготовить все графические иллюстрации; составить доклад для устного изложения;
- изучить отзыв и рецензию на ВКР, подготовить ответы на замечания рецензента и окончательно уточнить свой доклад;
- ознакомиться с новыми руководящими документами и литературой по вопросам ВКР, а также с последними изменениями по вопросам теплогазоснабжения и вентиляции;
- провести предварительную защиту.

Демонстрационные материалы представляются по согласованию с руководителем.

Подготовка выпускником доклада по выполненной ВКР является важным этапом подготовки к защите. К подготовке доклада приступают после оформления пояснительной записки (текстуальной части) ВКР, запланированных в задании графических документов и разработки иллюстративного материала.

По времени доклад должен занимать 10...12 минут. За это время можно изложить 5...8 страниц машинописного текста доклада.

В докладе отражается: актуальность темы работы; теоретические положения, на которых базируется ВКР; результаты проведенного анализа изучаемой проблемы; конкретные предложения по деятельности соответствующих органов; дается разъяснение и убедительное обоснование положений и

выводов по этим вопросам, исходя из полученных результатов. Особое внимание необходимо сосредоточить на собственных разработках и предложениях.

Доклад при защите ВКР может быть построен по следующей схеме: вначале излагается наименование темы, актуальность, раскрывается цель и задачи исследования, затем в необходимой логической последовательности докладывается содержание важнейших узловых вопросов темы и делается заключение. При изложении основного содержания ВКР следует показать постановку задач на исследование заданных вопросов, методику решения поставленных задач, основные результаты и выводы, к которым пришел выпускник в ходе выполнения выпускной квалификационной работы.

Основные выводы и предложения обосновываются необходимыми расчетами и примерами из практики.

В заключительной части доклада указывается, как достигнуты цели ВКР, что сделано и разработано, что нового выпускник предложил в результате выполнения ВКР, основные результаты работы и где они могут быть использованы.

Доклад строят с учетом графического материала (Чертежи, схемы, диаграммы и т.д.). Текст доклада согласовывается с руководителем.

Написанный доклад представляется руководителю для просмотра.

Текст доклада отрабатывают таким образом, чтобы его можно было излагать на память. Чтение доклада нежелательно, оно может привести к снижению оценки выпускной квалификационной работы.

7. Критерии оценки самостоятельной работы

Компетенции (знания, умения и навыки) студентов оцениваются оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»;
- «зачтено»;
- «не зачтено».

Зачеты оцениваются отметкой: «зачтено», «не зачтено».

Зачеты с оценкой оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

По курсовым работам (проектам) в обязательном порядке выставляется зачет с оценкой.

Экзамены оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Основные критерии оценивания компетенций:

Отметка «зачтено» ставится студентам, успешно обучающимся по данной дисциплине в семестре и не имеющим задолженностей по результатам текущего контроля успеваемости.

Отметка «не зачтено» ставится студенту, имеющему задолженности по результатам текущего контроля успеваемости по данной дисциплине.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Отметка «неудовлетворительно» выставляется также, если обучающийся после начала экзамена отказался его сдавать.

Оценка «неудовлетворительно» проставляется только в экзаменационную ведомость, в зачетную книжку студента проставлять отметку «неудовлетворительно» не разрешается.

Критерии оценки уровня обученности и уровня сформированности компетенций по дисциплине устанавливает кафедра и отражает их в рабочей программе и фондах оценочных средств дисциплины.

Ответственность за единообразие требований, предъявляемых на экзаменах, несет заведующий кафедрой. По дисциплинам, изучаемым в течение двух и более семестров, итоговой оценкой является оценка, полученная на последнем экзамене.

Заключение

Самостоятельная работа всегда завершается какими-либо результатами. Таким образом, широкое использование методов самостоятельной работы, побуждающих к мыслительной и практической деятельности, развивает столь важные интеллектуальные качества человека, обеспечивающие в дальнейшем его стремление к постоянному овладению знаниями и применению их на практике.