

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)

Промышленное и гражданское
строительство

Ставрополь

Содержание

Практическое занятие 1

РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ – СЖАТИИ

Практическое занятие 2

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ – СЖАТИИ

Практическое занятие 3

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ПРИ КРУЧЕНИИ

Практическое занятие 4

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ПРИ ИЗГИБЕ КОНСОЛЬНЫХ БАЛОК

Практическое занятие 5

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ПРИ ИЗГИБЕ ДВУХОПОРНЫХ БАЛОК

Практическое занятие 6

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ДЛЯ ПЛОСКИХ ДВУХОПОРНЫХ РАМ

Практическое занятие 7

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ДЛЯ ПЛОСКИХ КОНСОЛЬНЫХ РАМ

Практическое занятие 8

ПОДБОР СЕЧЕНИЙ БАЛОК ИЗ УСЛОВИЯ ПРОЧНОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ

Рекомендуемая литература

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

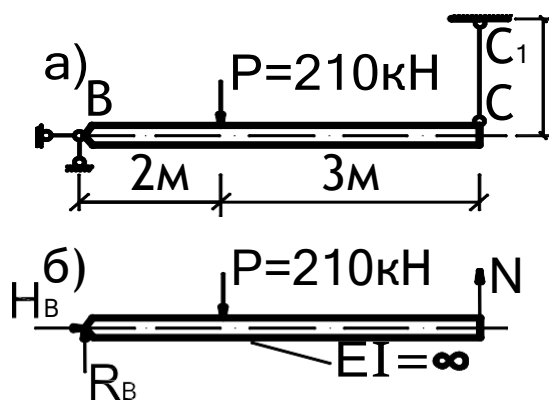


Рисунок 1.1

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

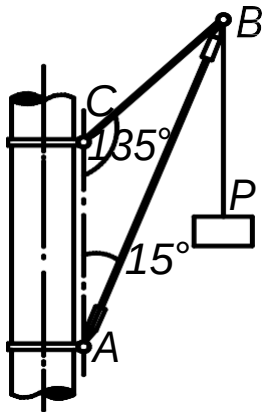


Рисунок 1.2

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).

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

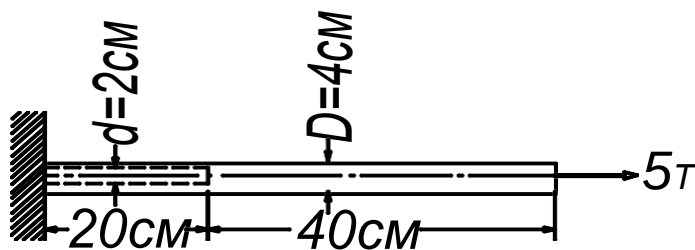


Рисунок 1.3

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.

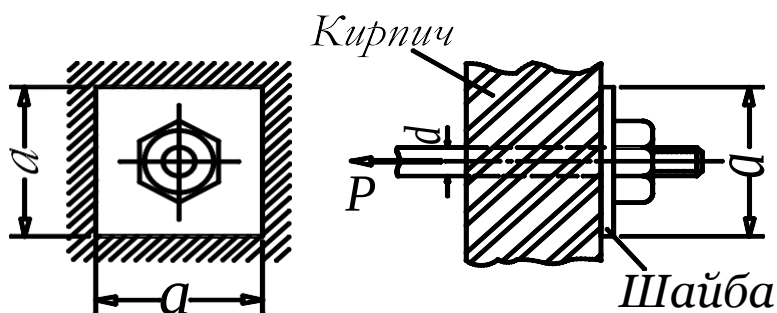


Рисунок 1.4

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?

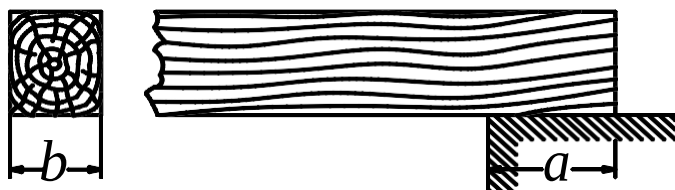


Рисунок 1.5

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.

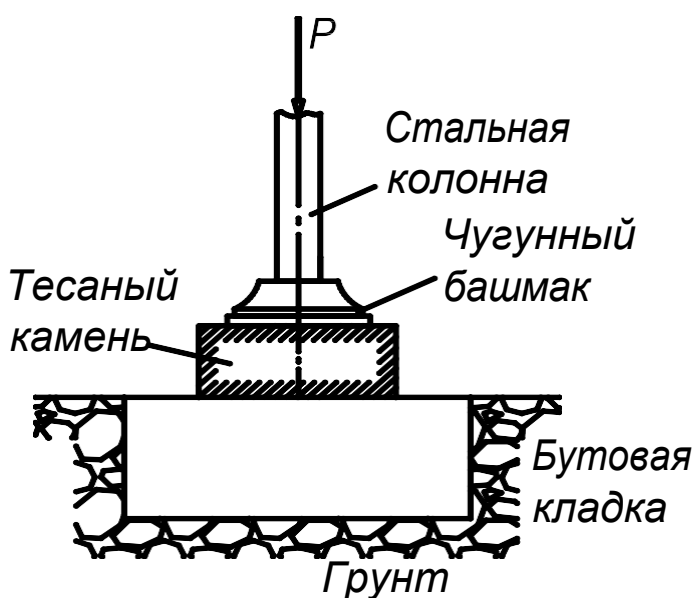


Рисунок 1.6

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

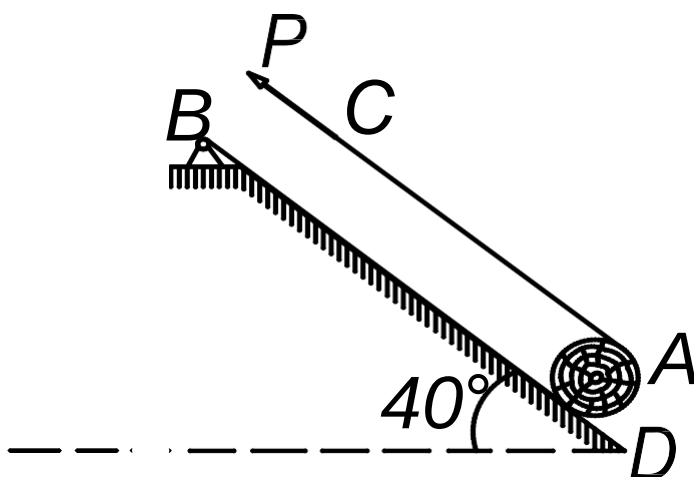
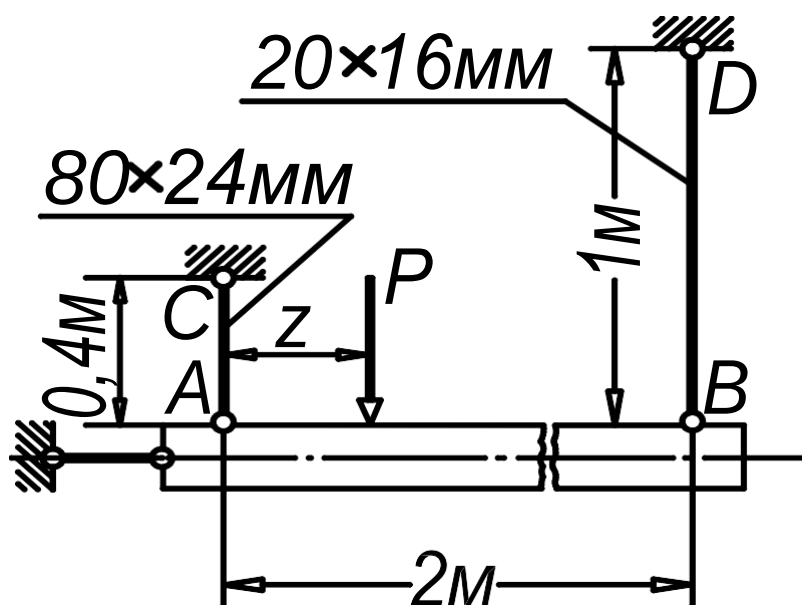


Рисунок 1.7

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*

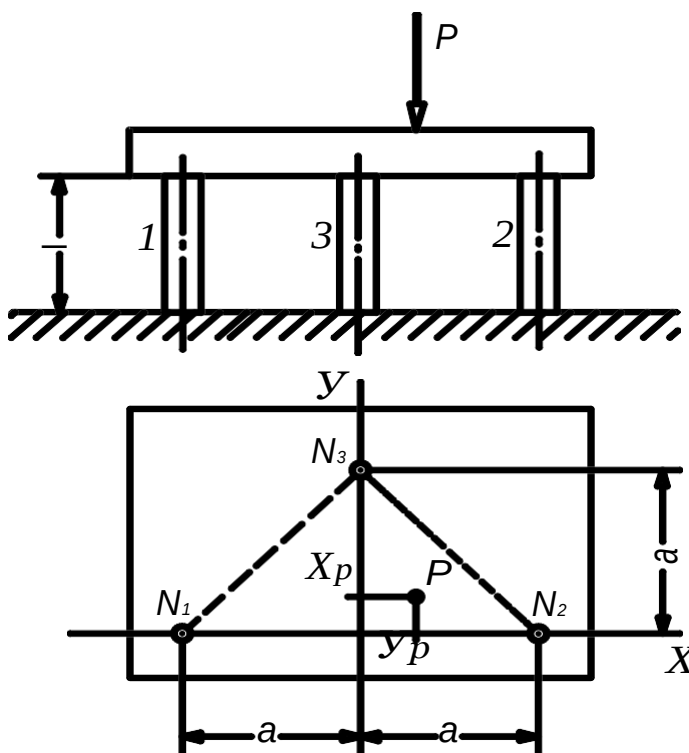


Рисунок 1.9

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 ($E_{СТ} = 2 \cdot 10^5$ 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.

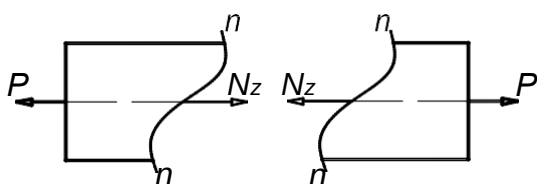


Рисунок 2.1

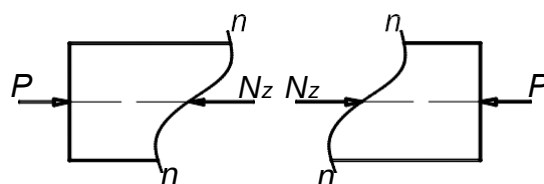


Рисунок 2.2

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

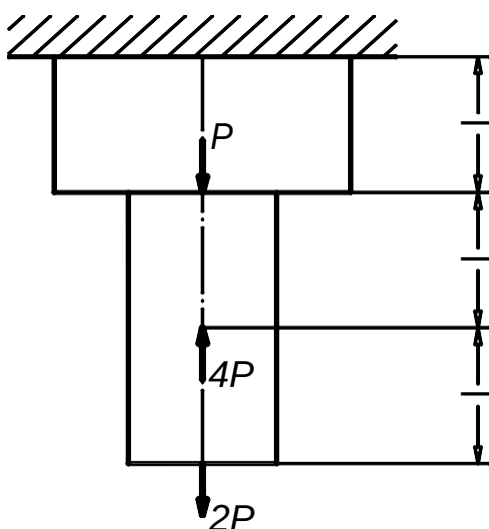


Рисунок 2.3

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).

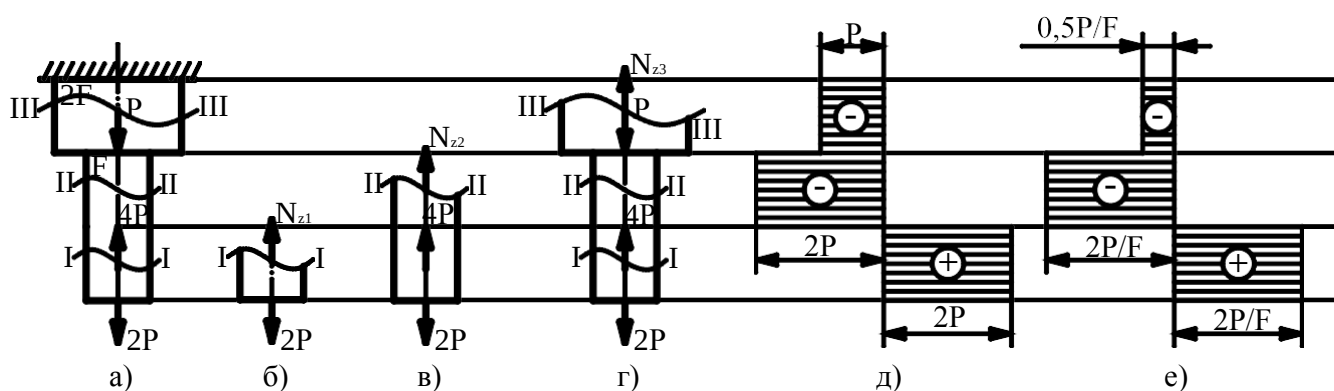


Рисунок 2.4

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

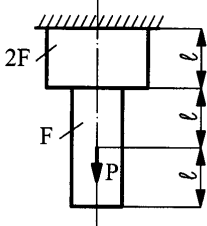
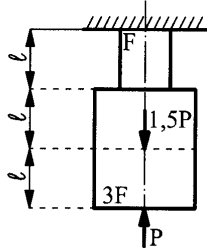
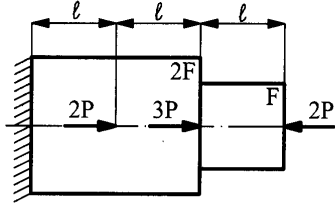
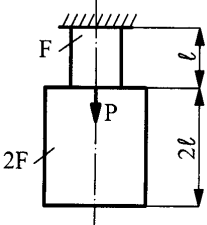
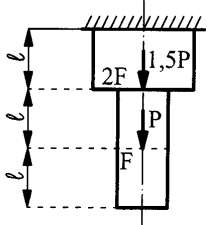
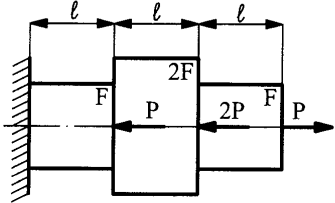
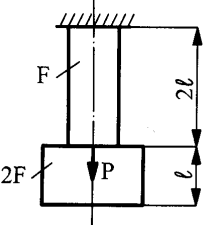
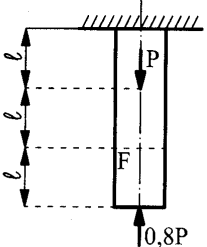
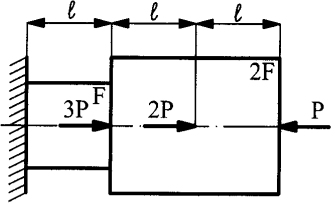
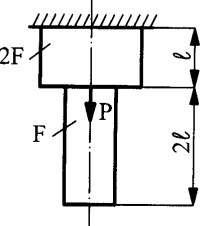
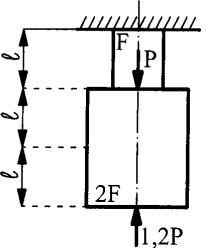
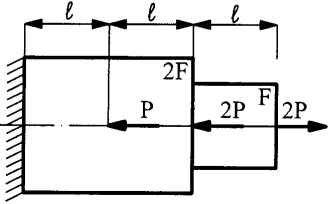
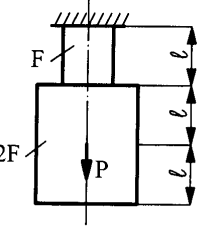
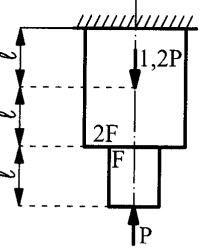
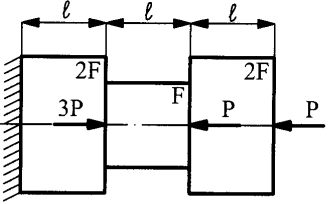
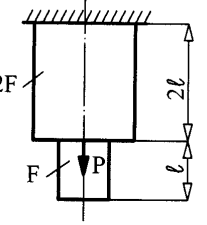
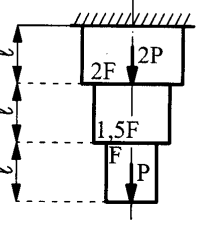
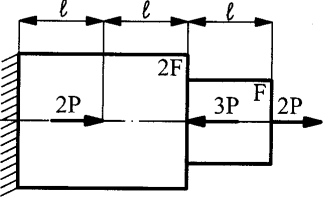
4			
5			
6			
7			
8			
9			

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.

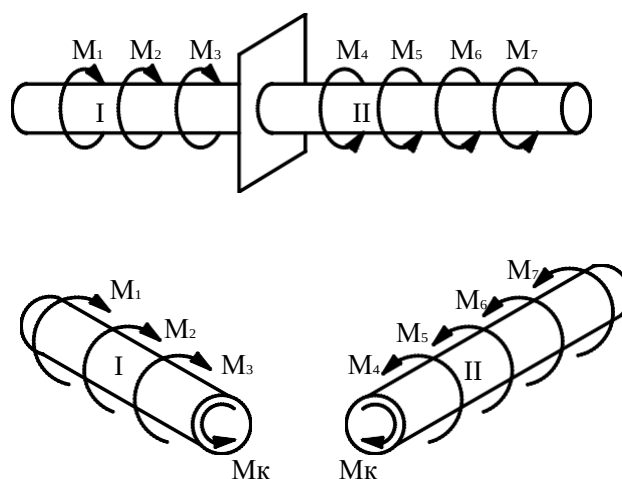


Рисунок 3.1

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 $M_1=5ql^2$, $M_2=3ql^2$, $M_3=4ql^2$.

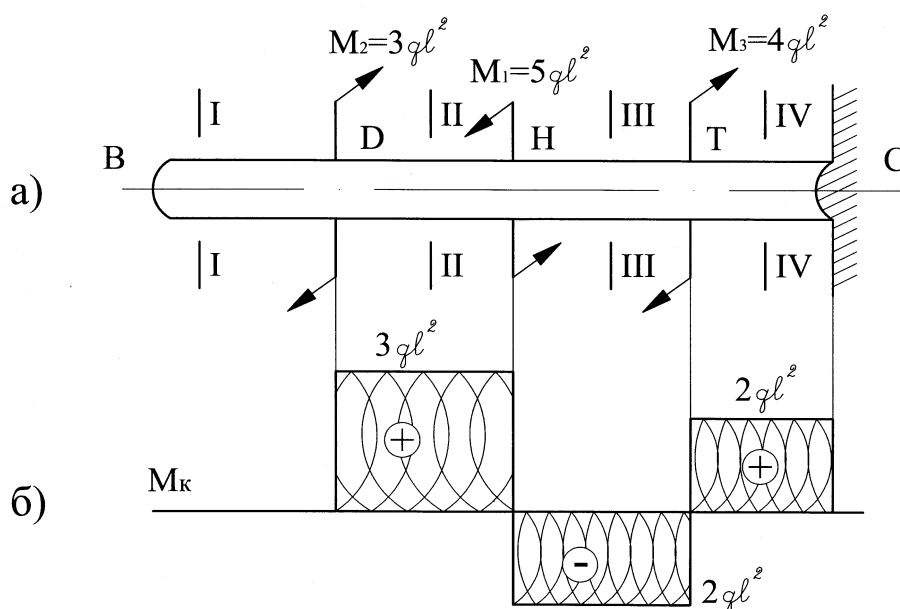


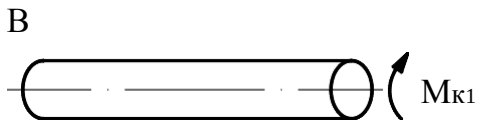
Рисунок 3.2

Решение

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

1-

й участок



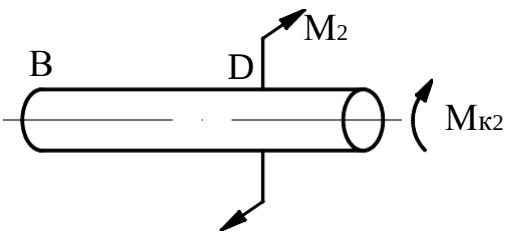
$$0 \leq Z_1 \leq \ell_1$$

$$M_{z1} = 0.$$

Рисунок 3.3

2-

й участок



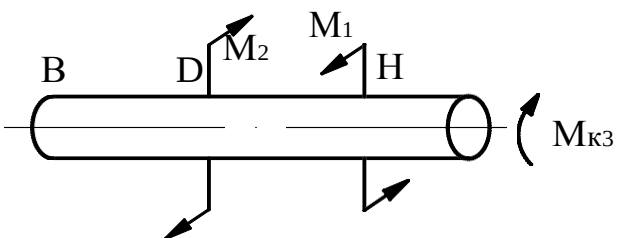
$$0 \leq Z_2 \leq \ell_2$$

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

Рисунок 3.4

3-

й участок



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

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

Рисунок 3.5

4-

й участок

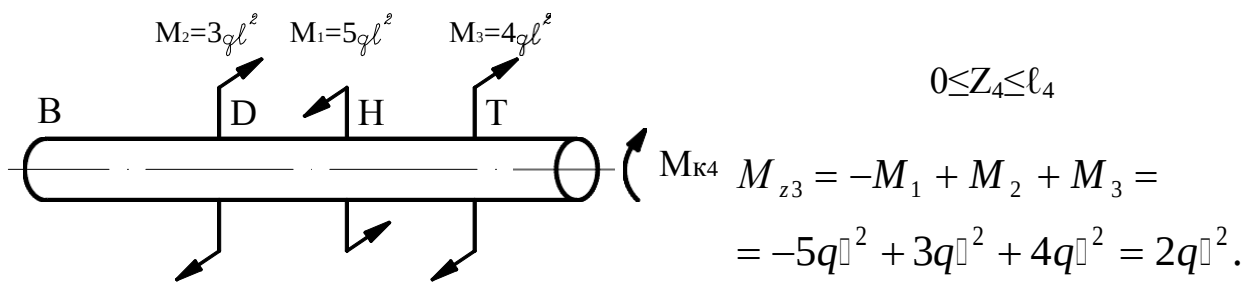


Рисунок 3.6

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.

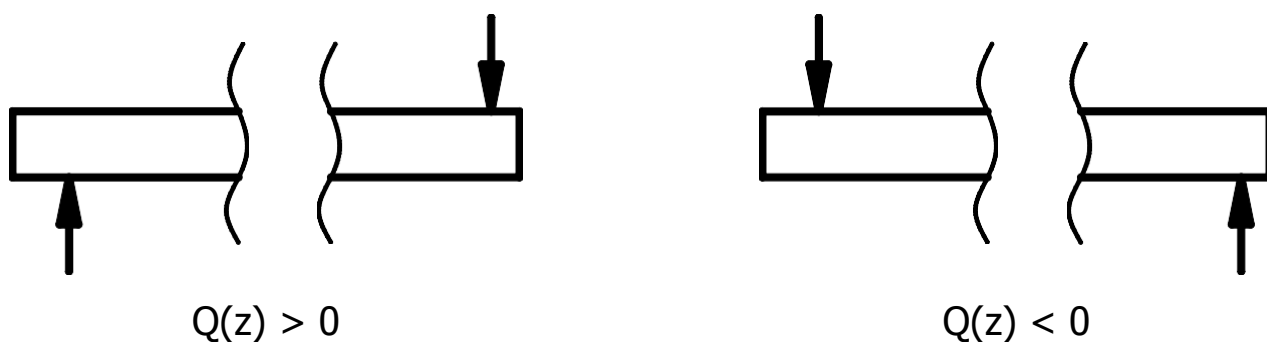


Рисунок 4.1

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).

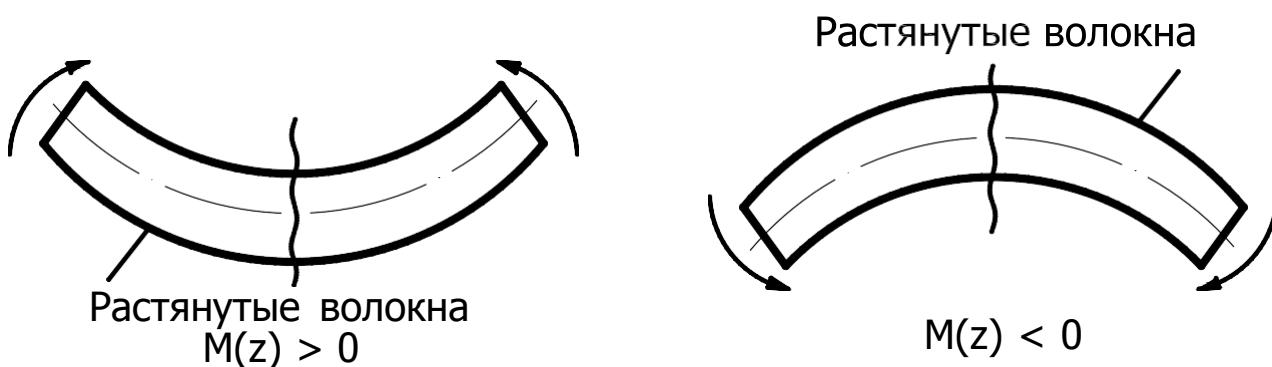


Рисунок 4.2

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.

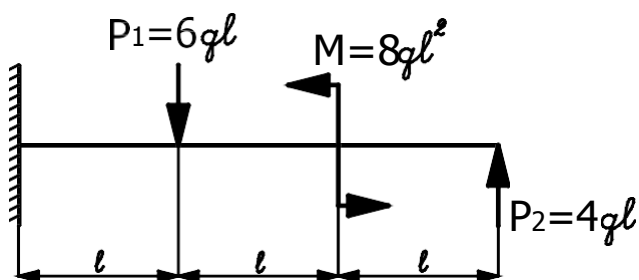


Рисунок 4.3

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

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

$$в(\cdot)A \quad в(\cdot)B$$

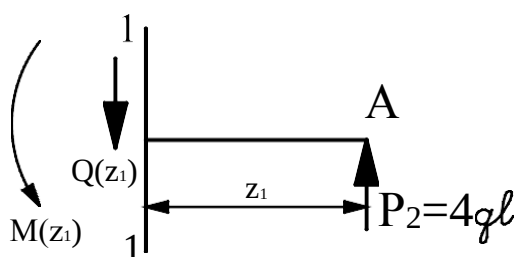


Рисунок 4.4

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

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):

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

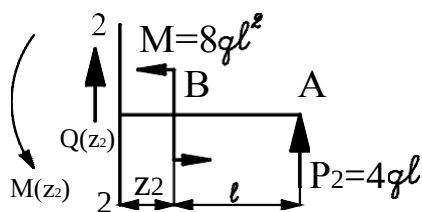
2

– й участок

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

$\epsilon(\cdot)B \quad \epsilon(\cdot)C$

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



при $z_2 = 0$

$$M(z_2) = P_2(\ell + 0) + M = 4q\ell(\ell + 0) + 8q\ell^2 = 12q\ell^2;$$

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:

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

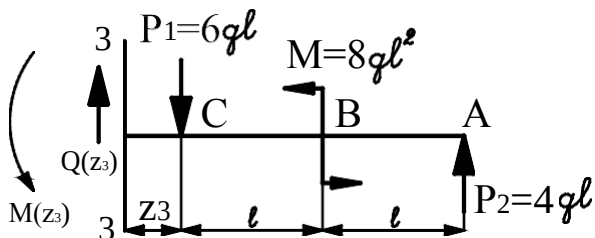
3

– й участок

$$0 \leq z_3 \leq \ell_3 = 2\ell$$

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

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



при $z_3 = 0$;

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

Рисунок 4.6

при $z_3 = 2\ell$;

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

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

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

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

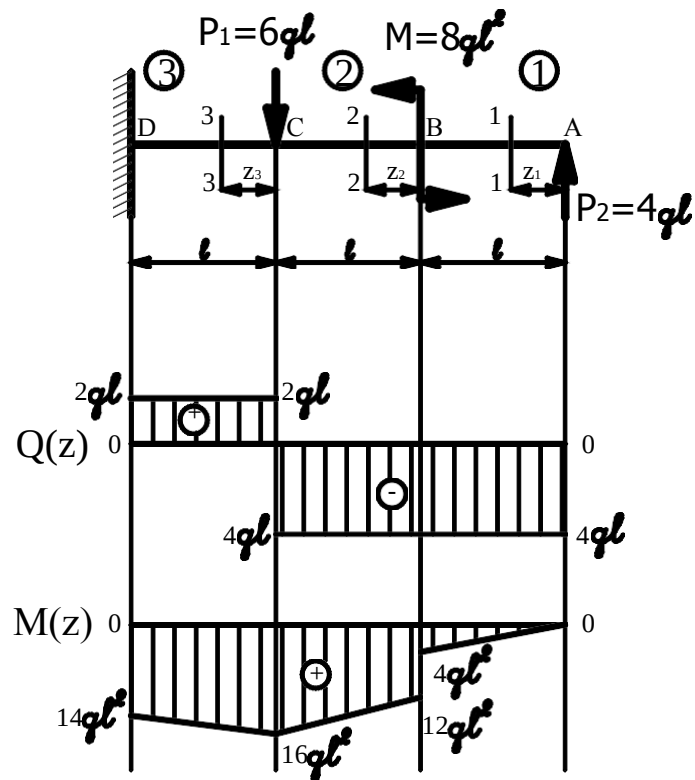


Рисунок 4.7

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.

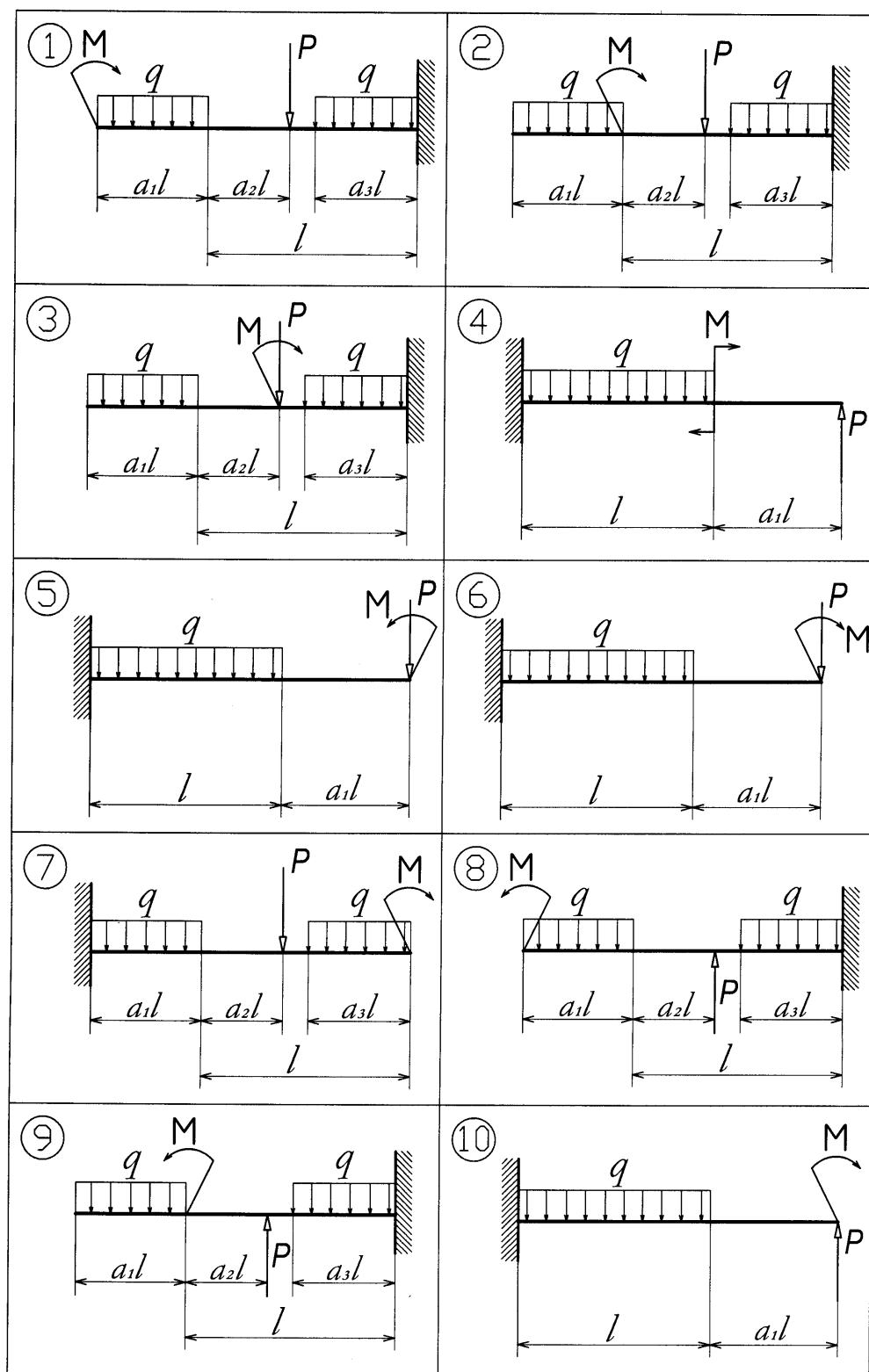
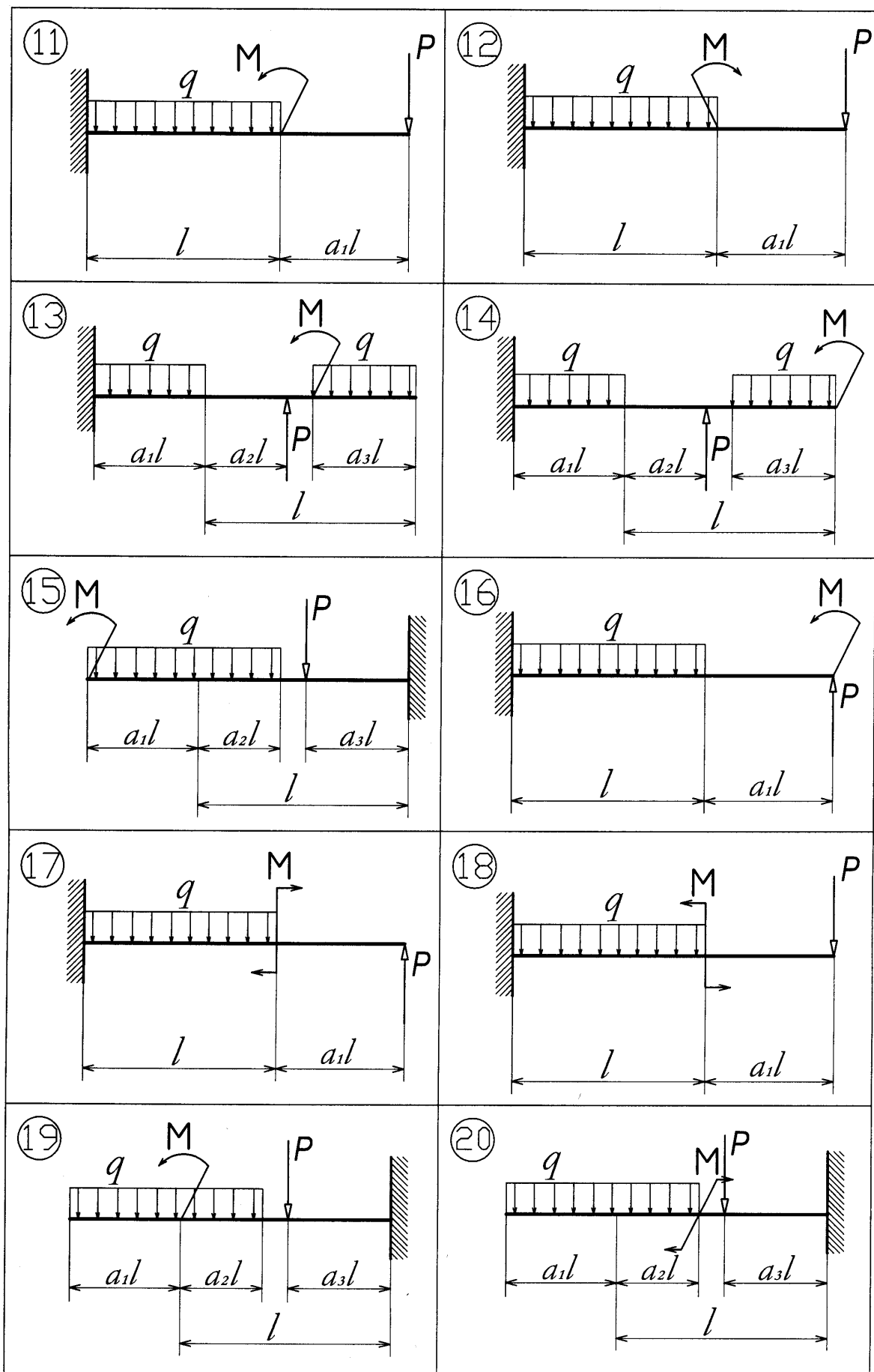
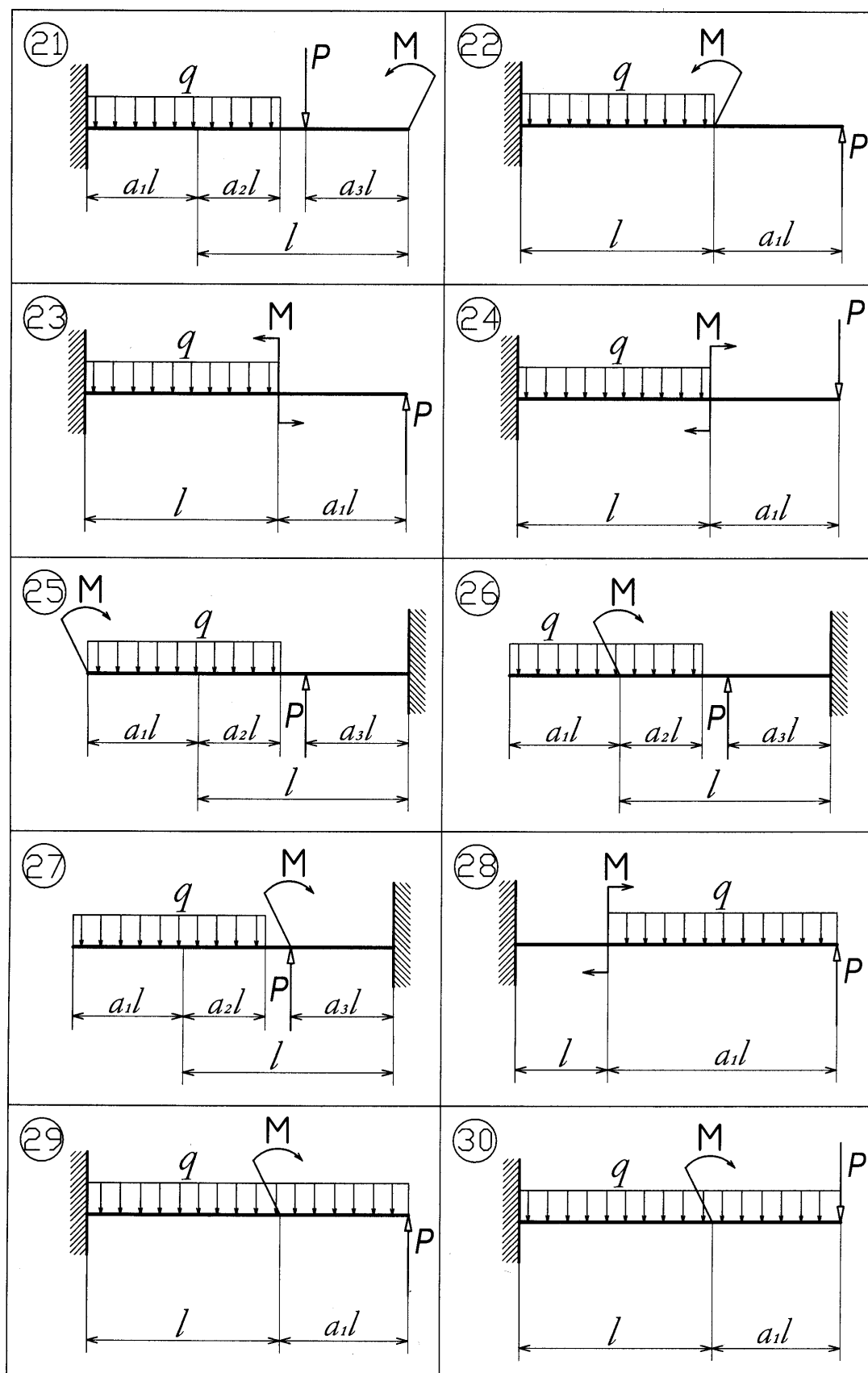


Рисунок 4.8



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.

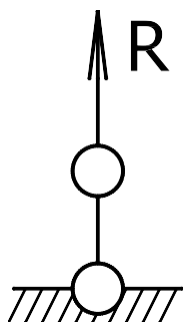


Рисунок 5.1

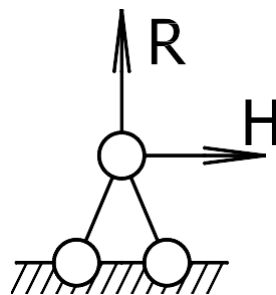


Рисунок 5.2

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).

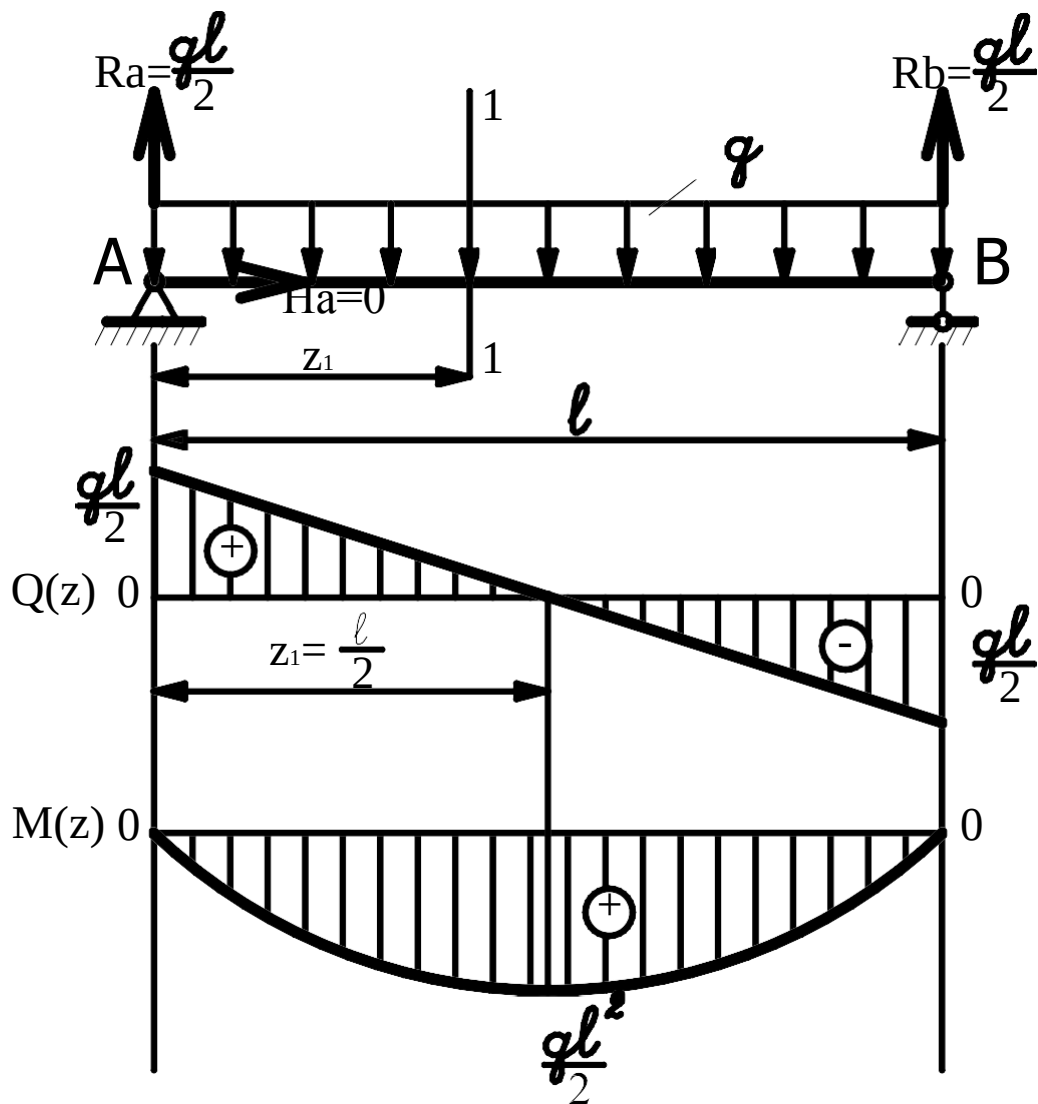


Рисунок 5.3

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.

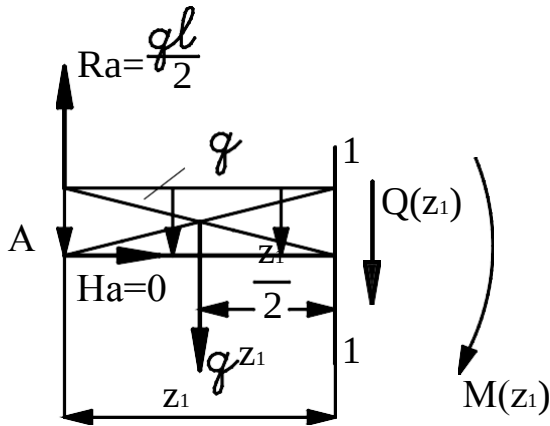


Рисунок 5.4

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:

$$\sum M_A = 0,$$

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

$$\sum M_B = 0,$$

$$-R_A \cdot 6 + 6q \cdot 3^2 + 2q \cdot 4 \cdot 6 + 6q \cdot 4 = 0; \quad R_A = \frac{q \cdot 3^2}{6} (48 + 24 - 6) = 11q.$$

Проверка:

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

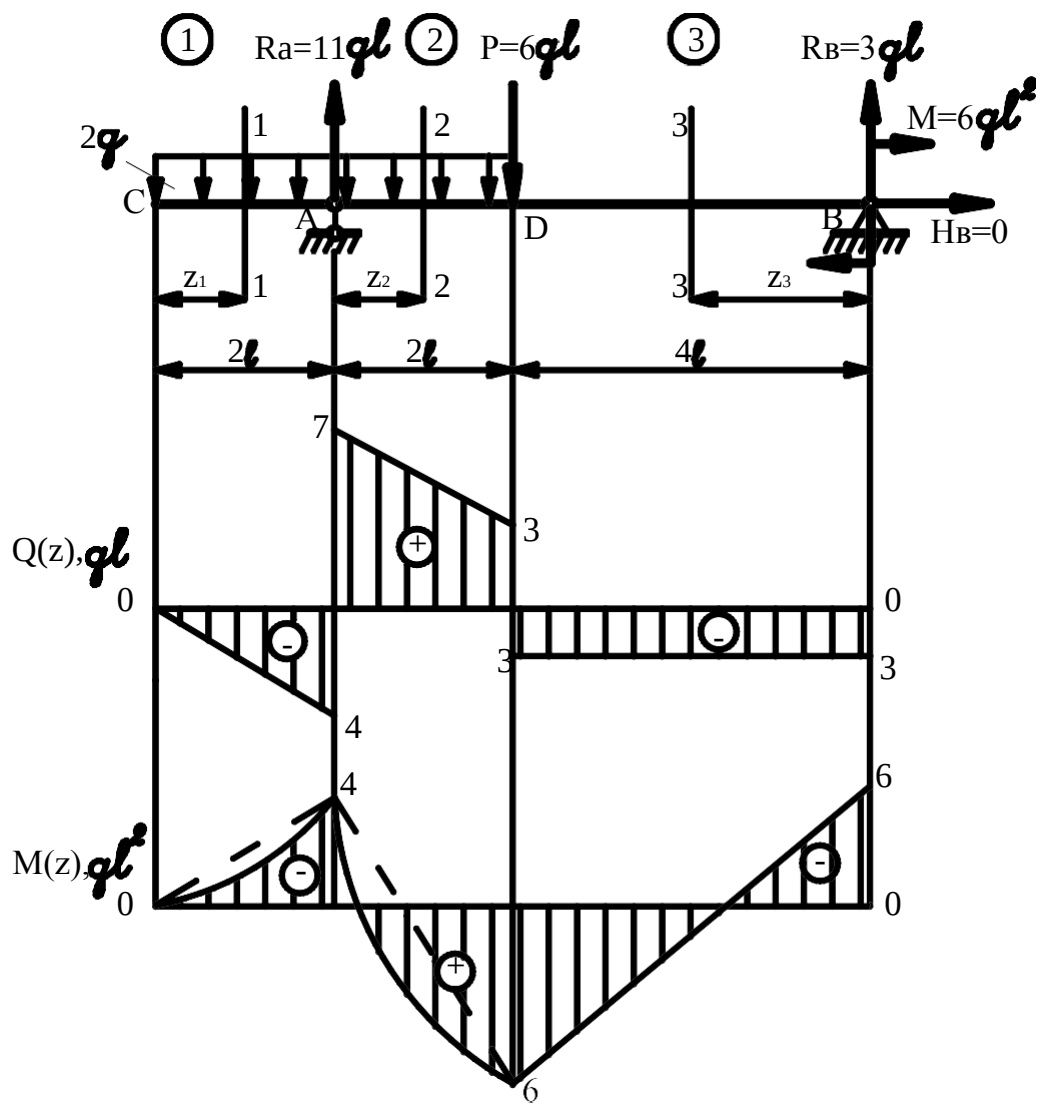


Рисунок 5.5

1 – й участок

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

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

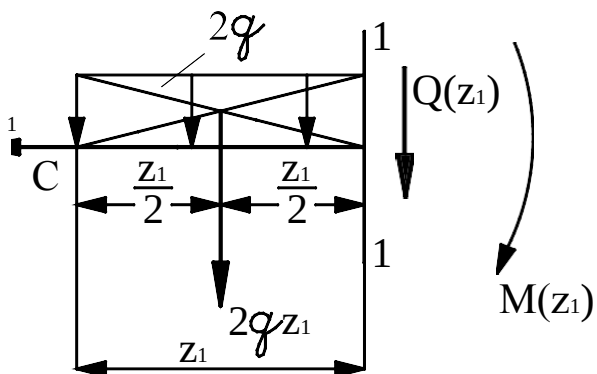


Рисунок 5.6

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

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

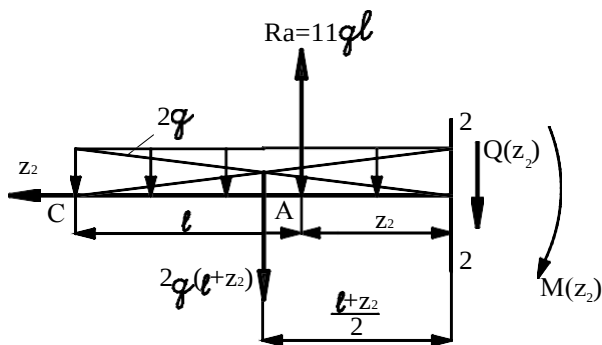


Рисунок 5.7

2 – й участок

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

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

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

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

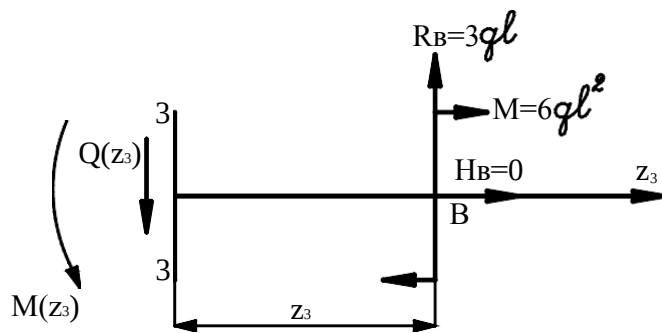


Рисунок 5.8

3 – й участок

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

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

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

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

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

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

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.

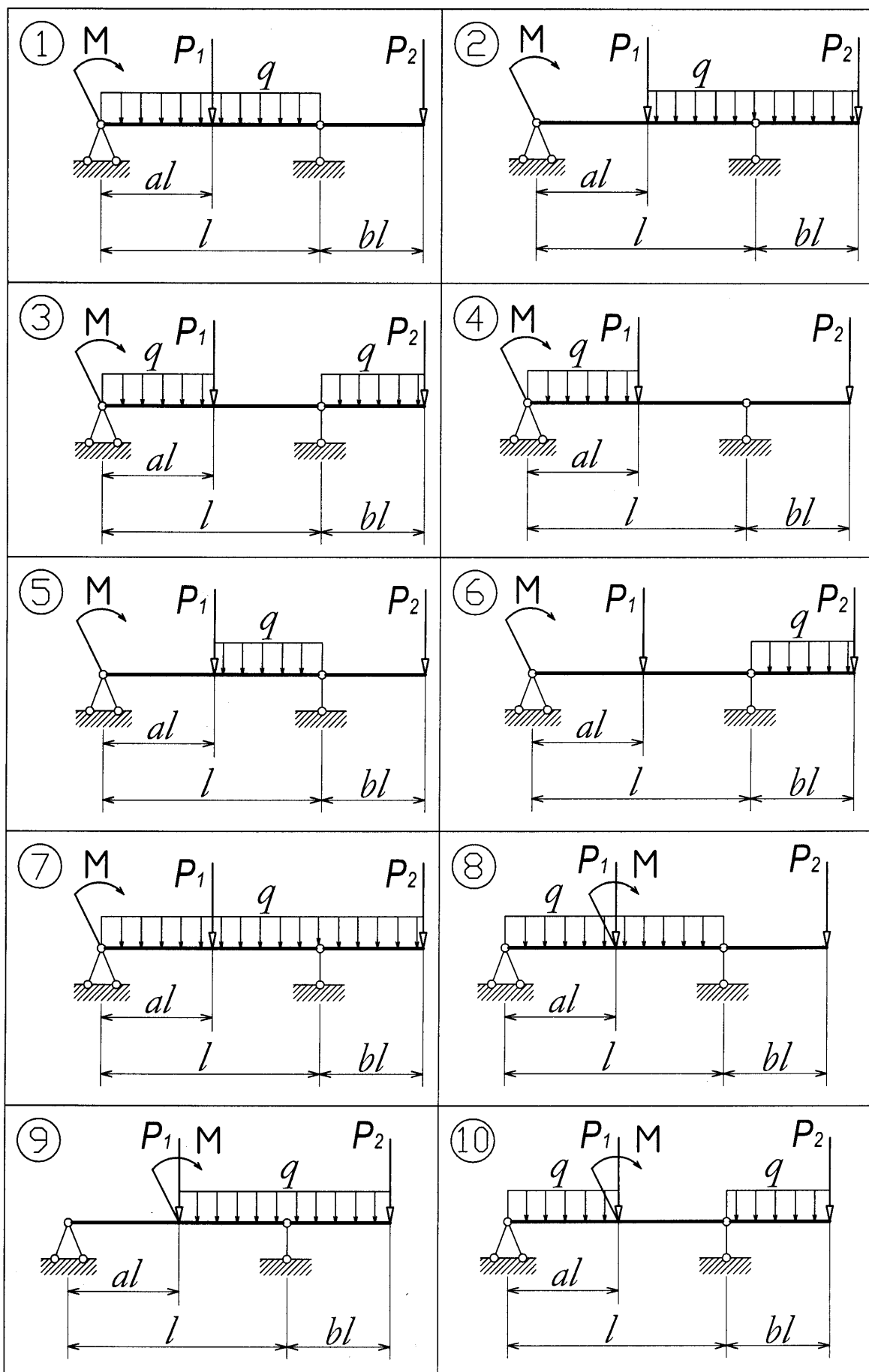
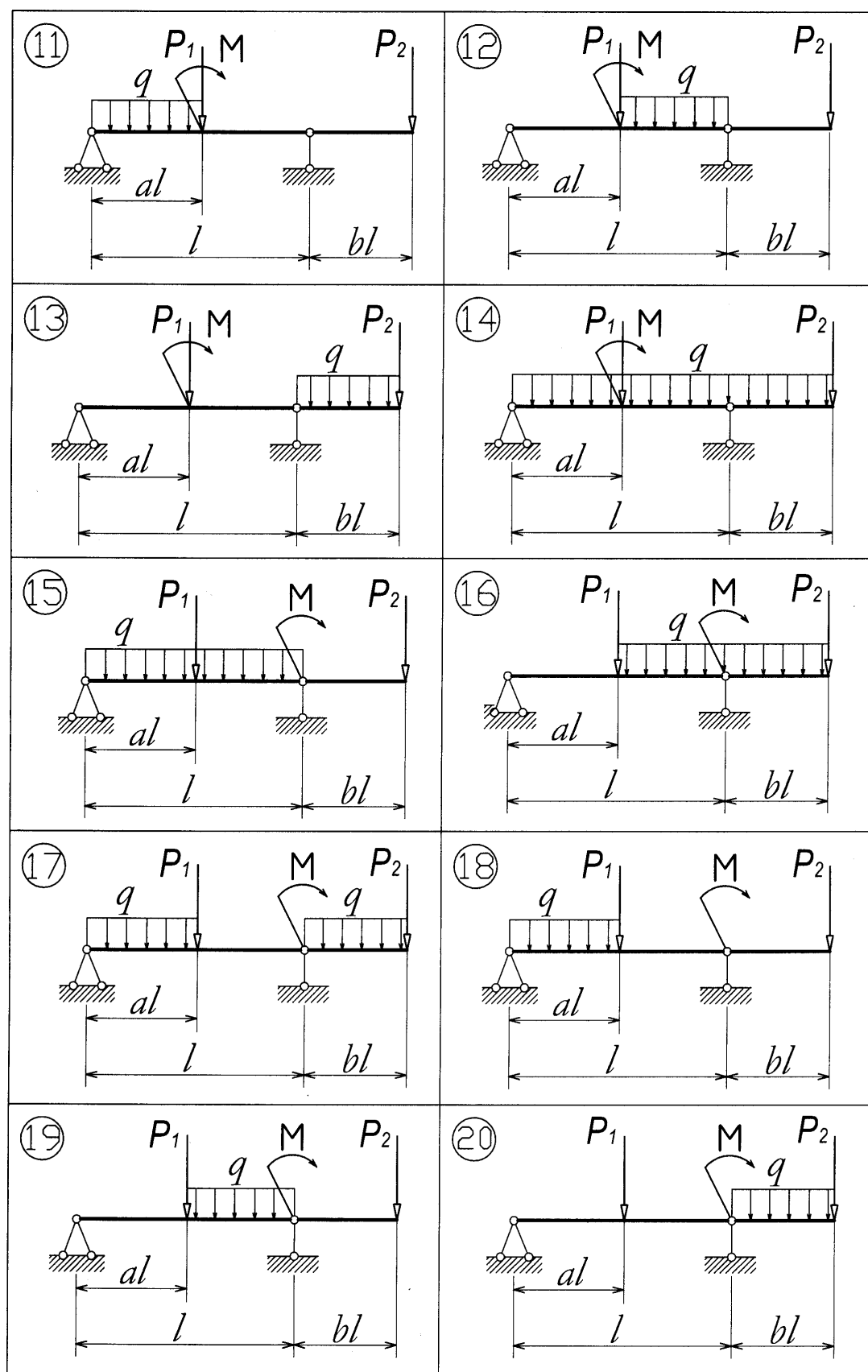
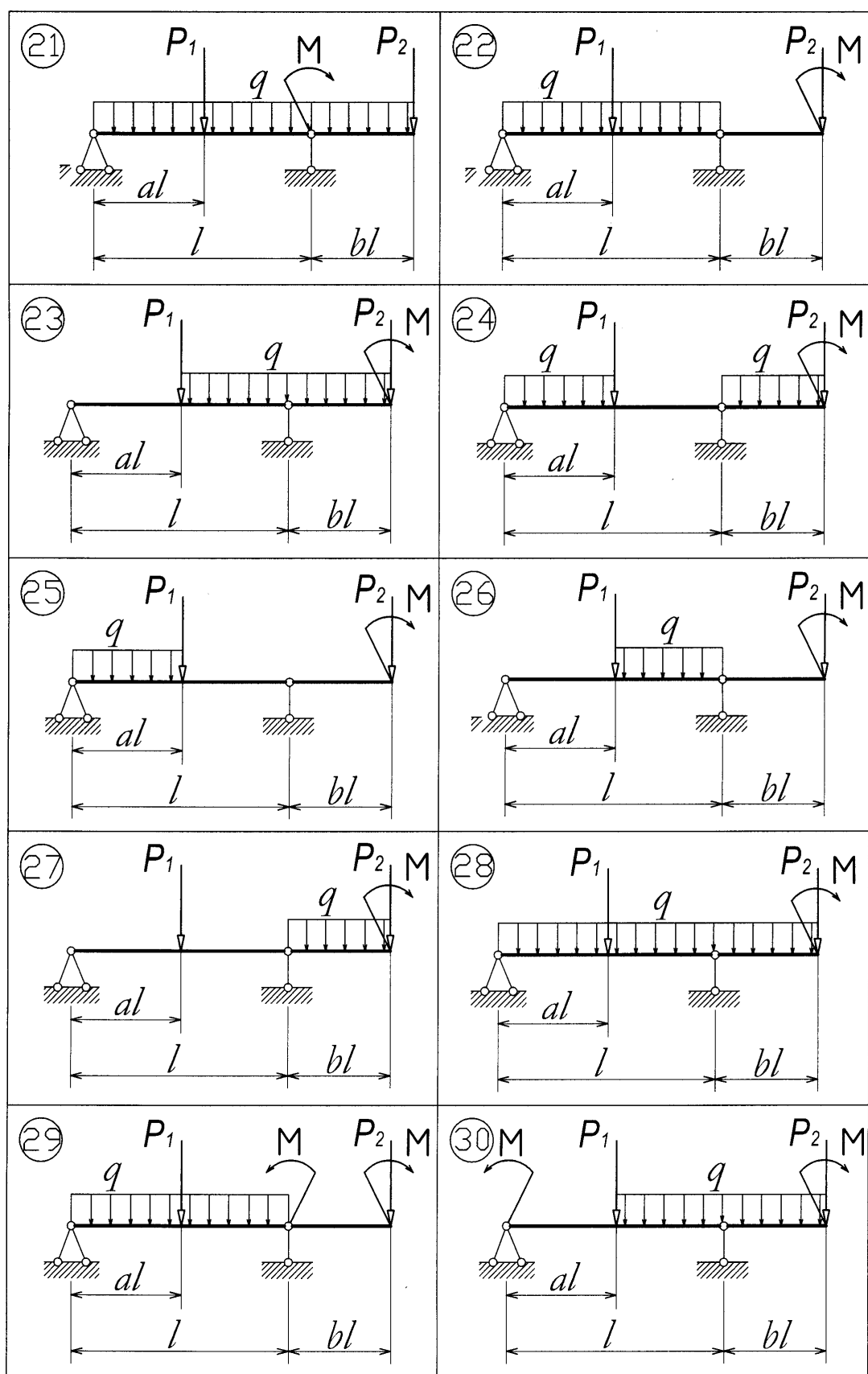


Рисунок 5.9



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.

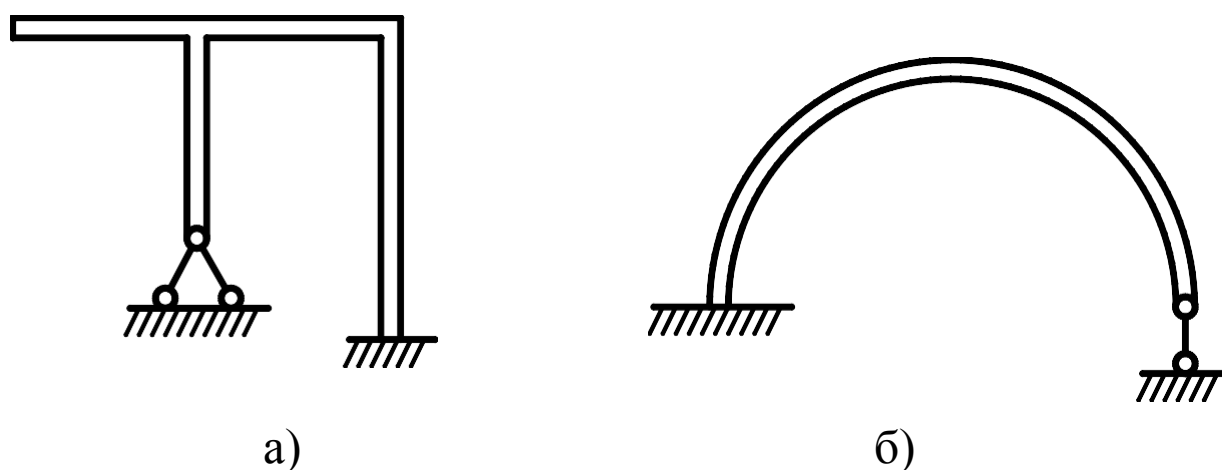


Рисунок 6.1

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.

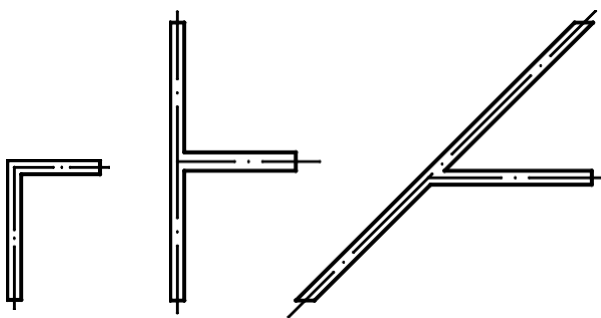


Рисунок 6.2

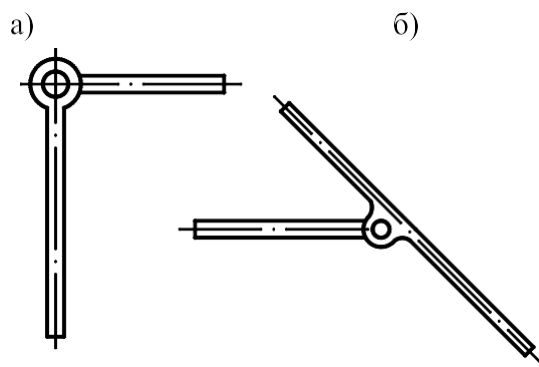


Рисунок 6.3

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).

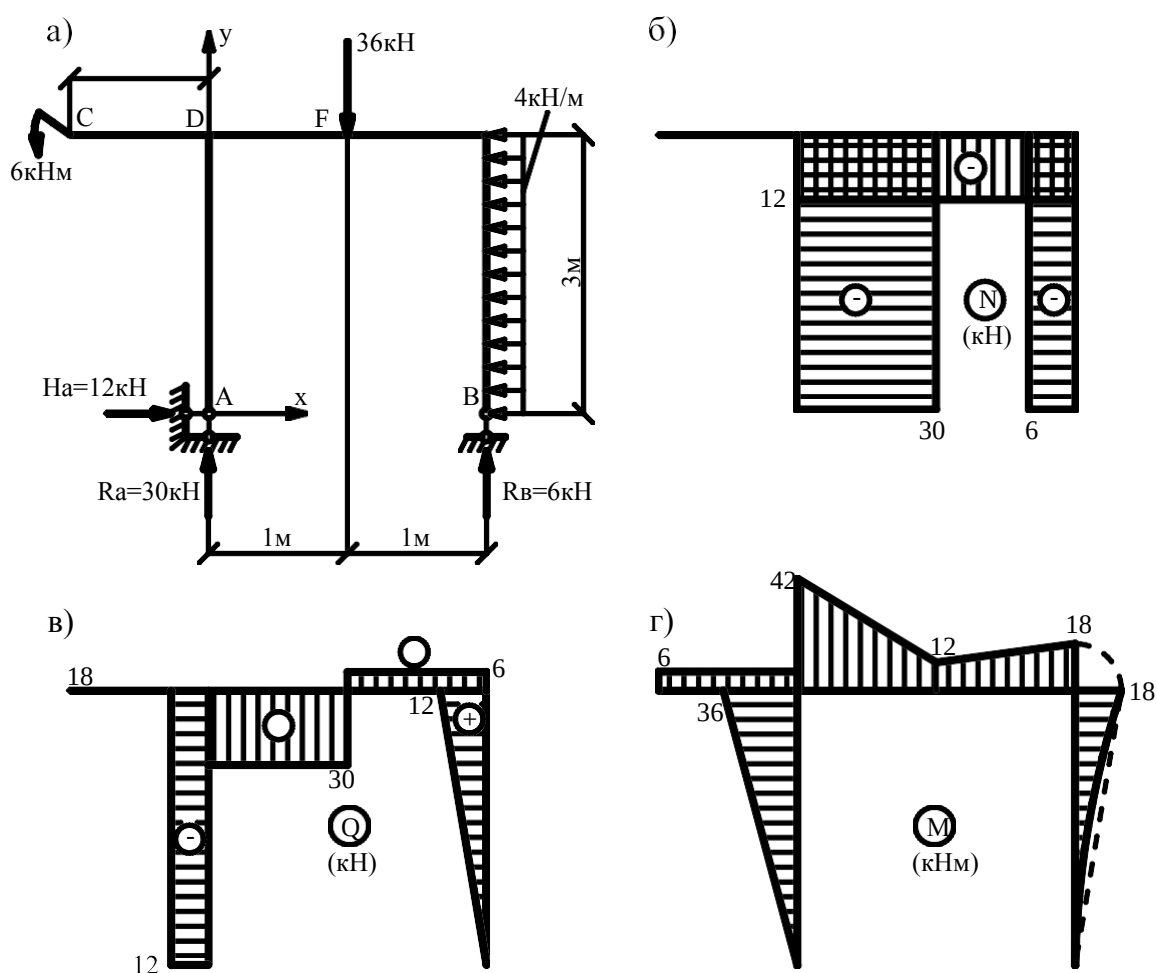


Рисунок 6.4

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.

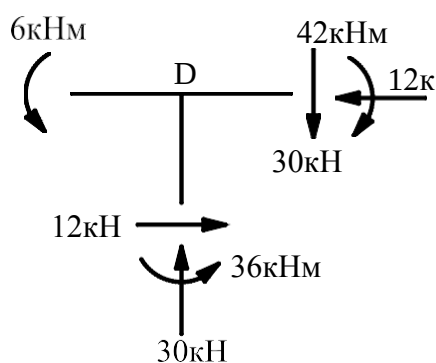


Рисунок 6.5

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?

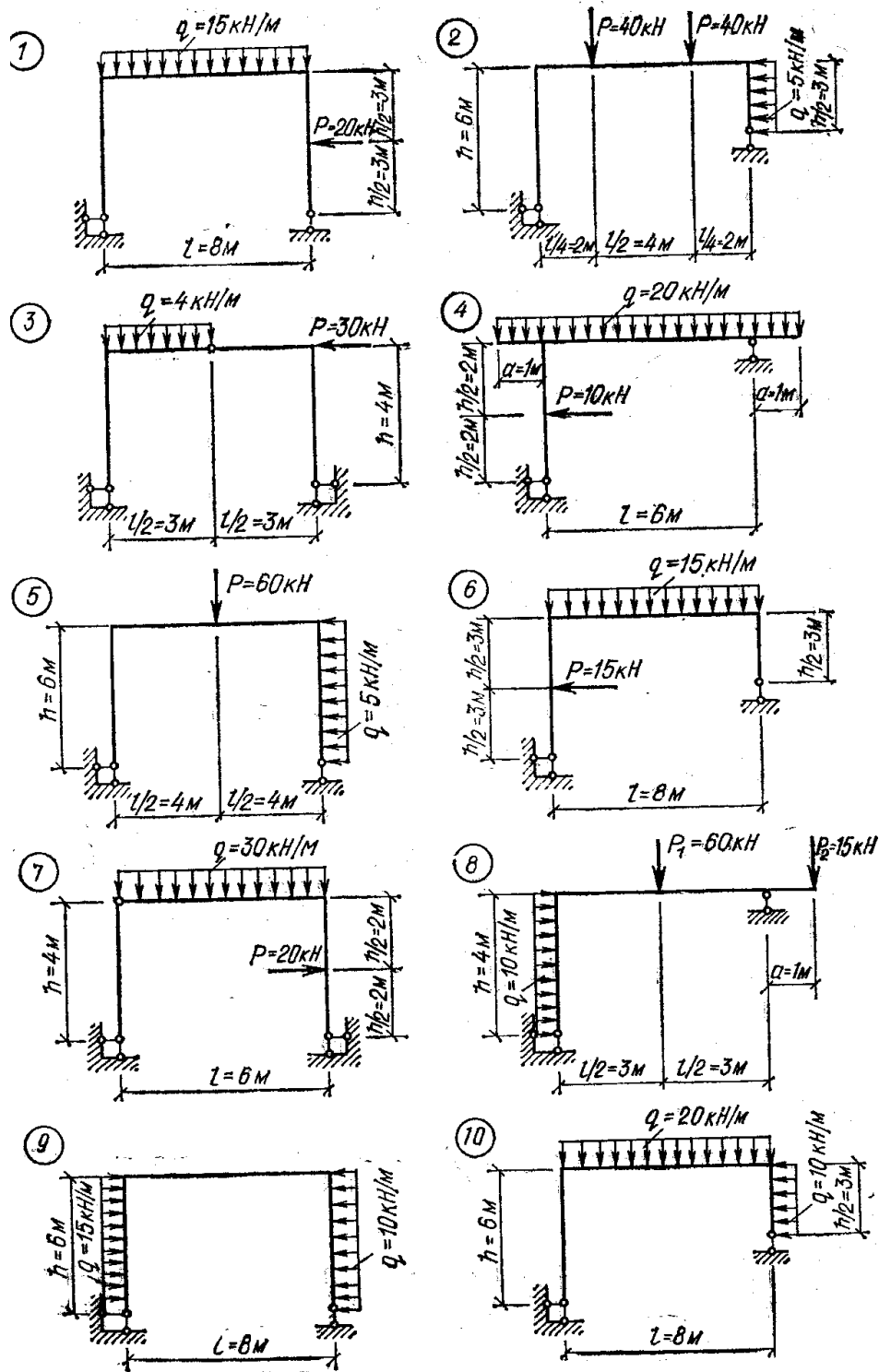
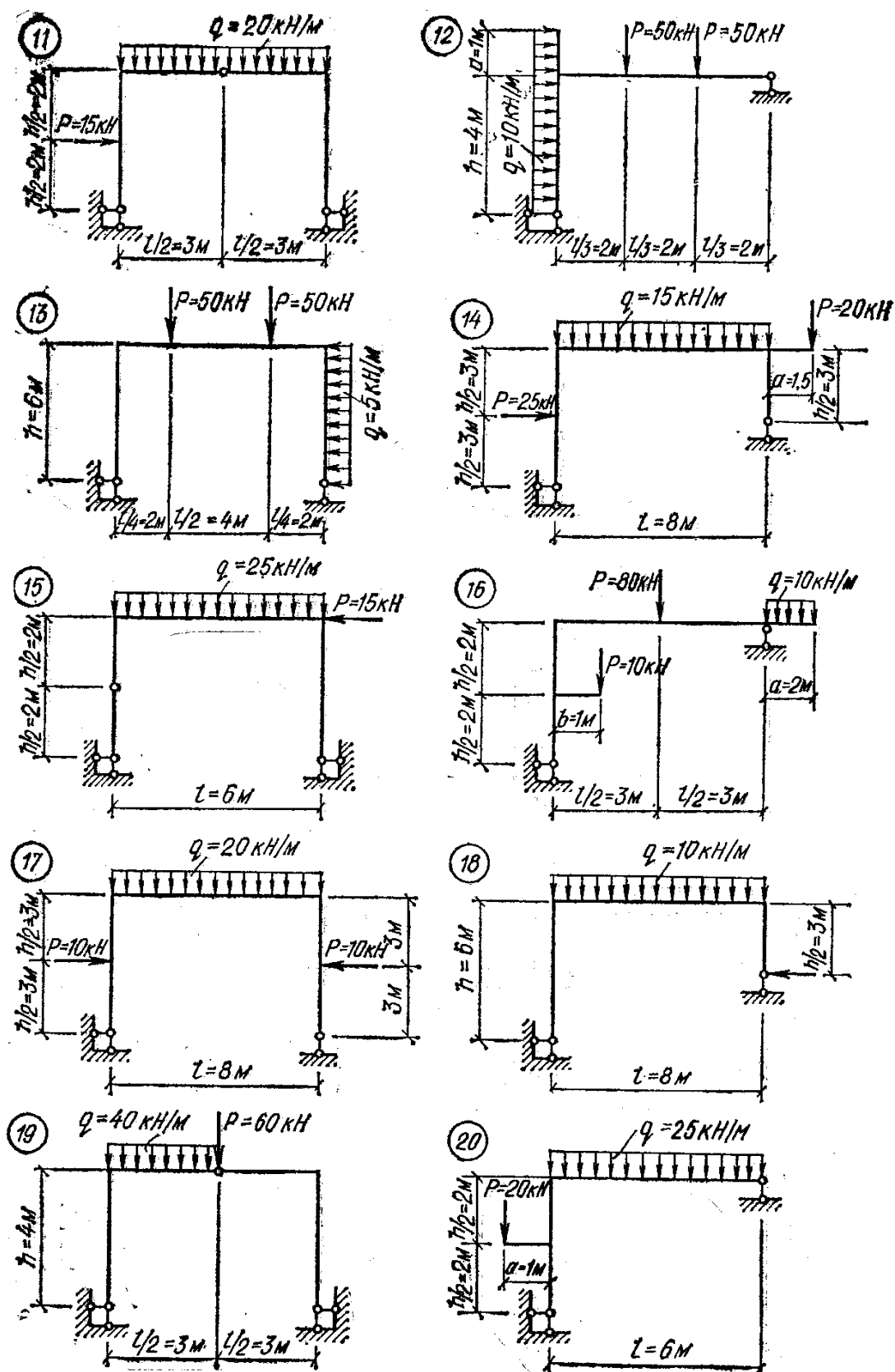
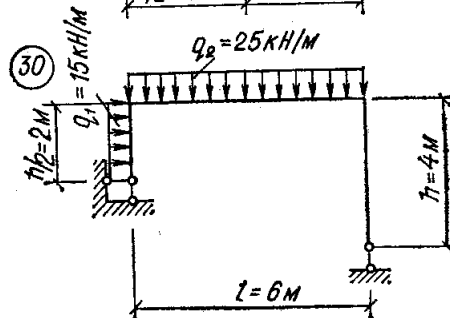
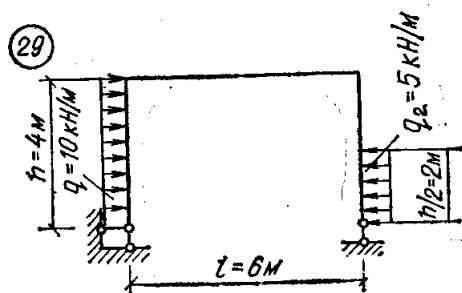
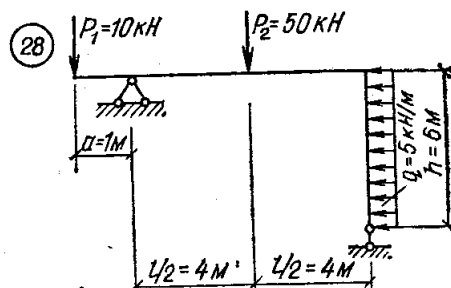
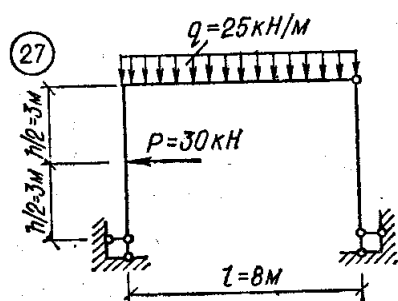
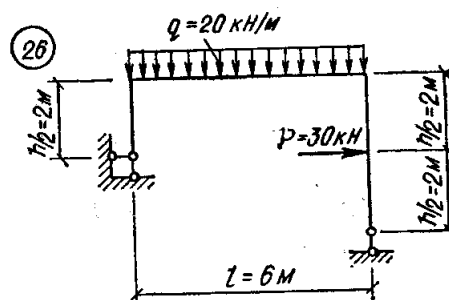
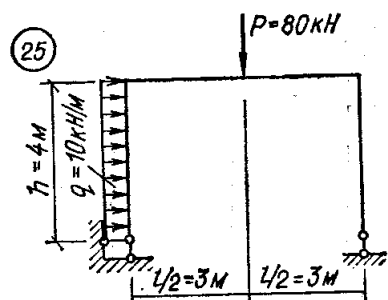
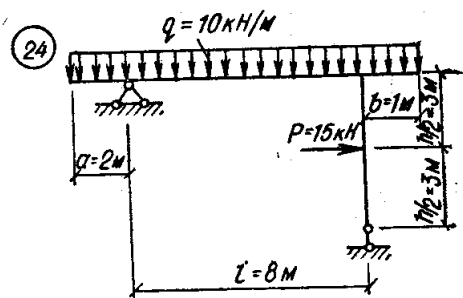
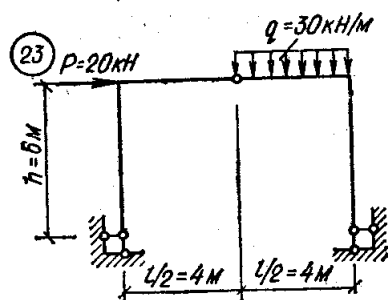
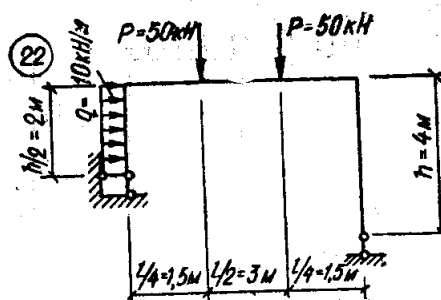
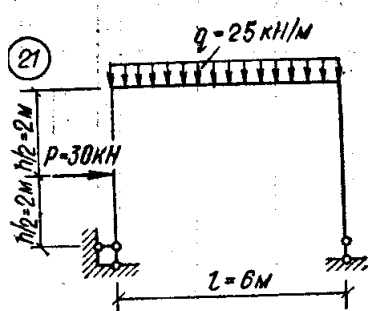


Рисунок 6.6



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).

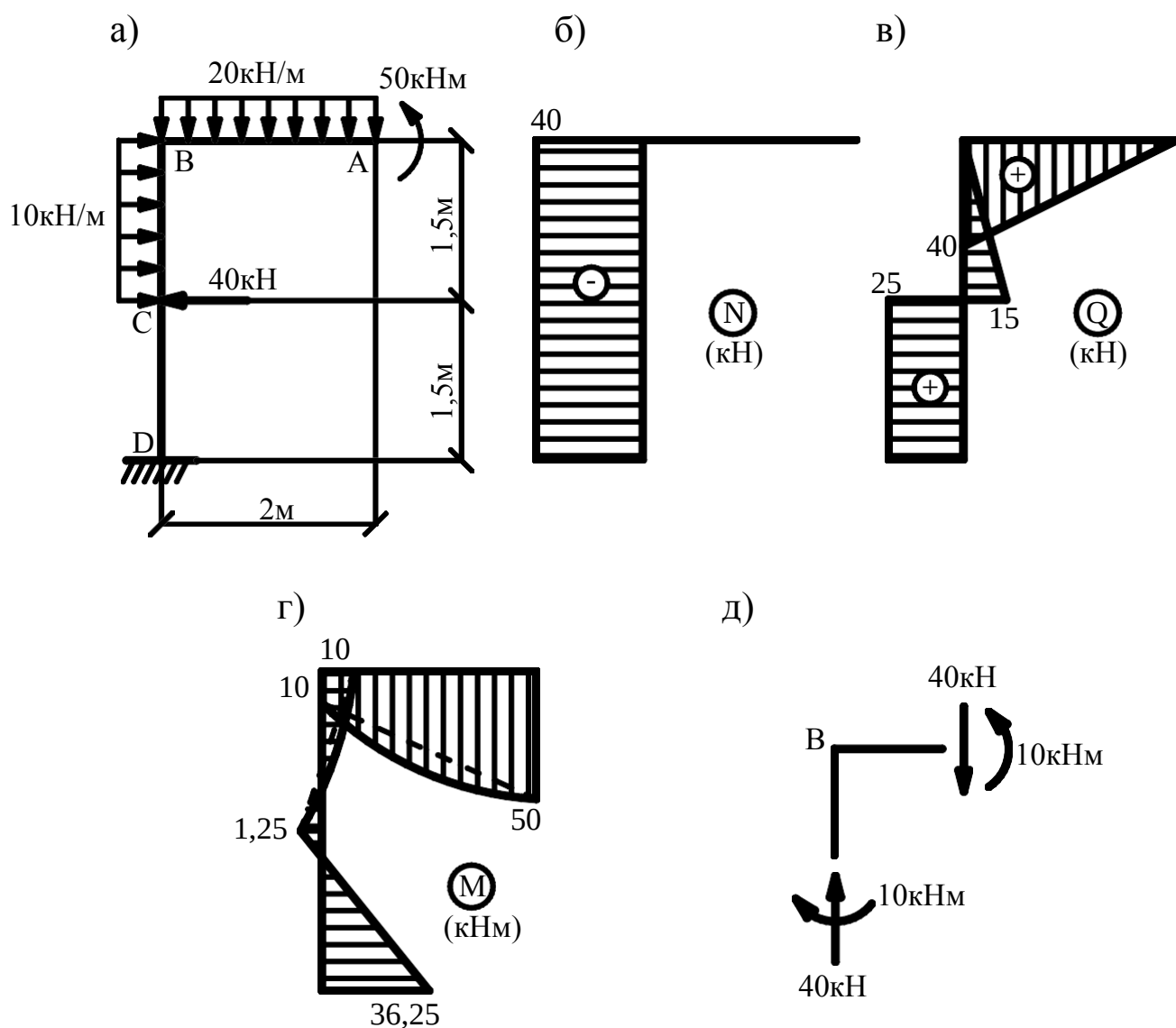


Рисунок 7.1

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.

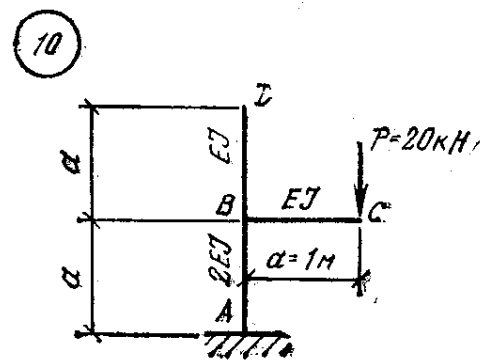
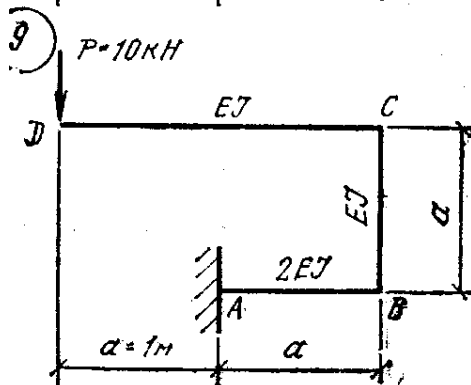
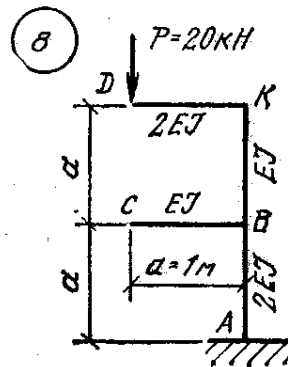
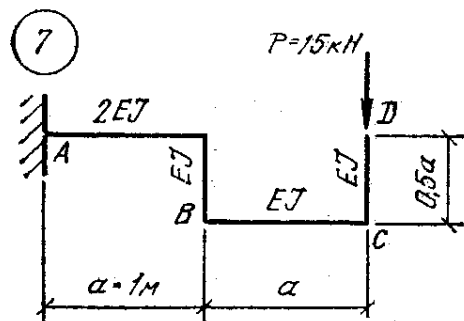
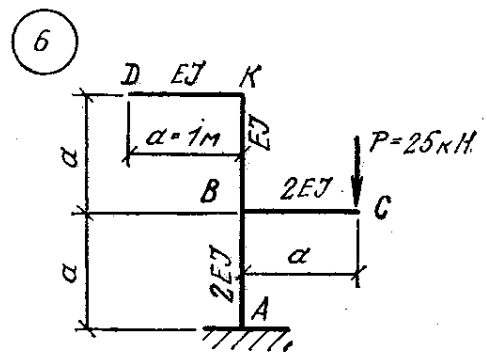
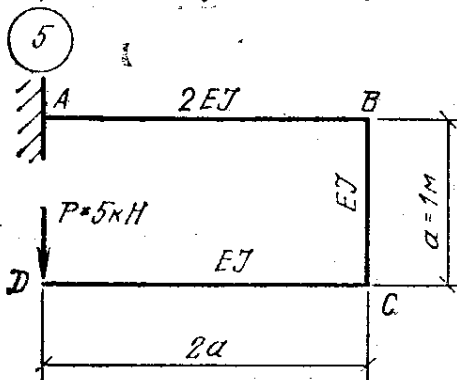
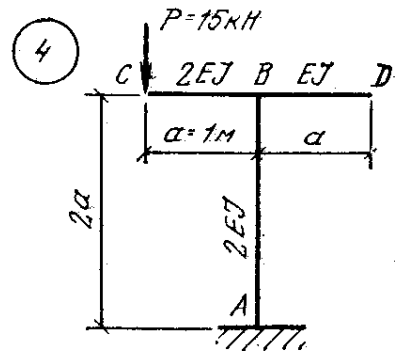
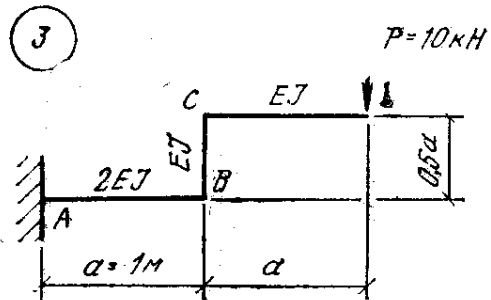
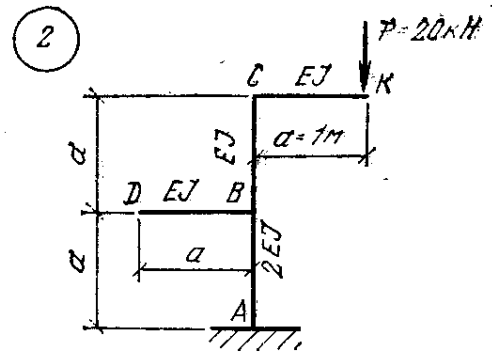
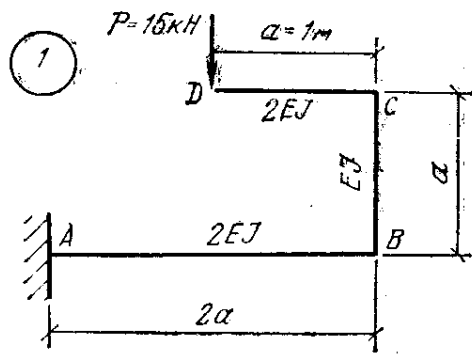
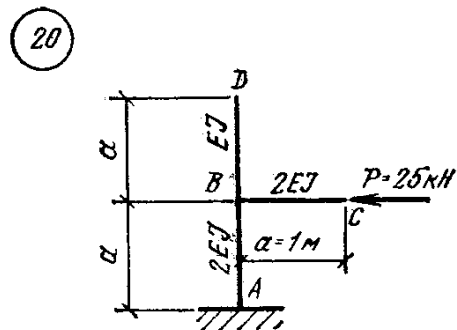
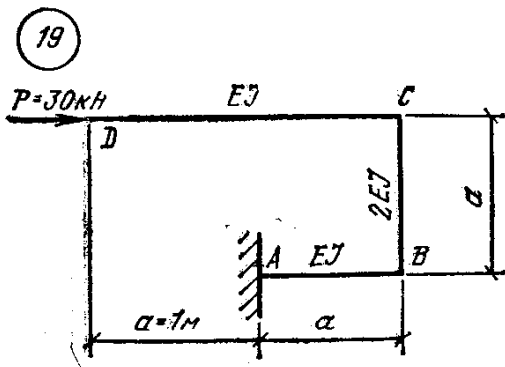
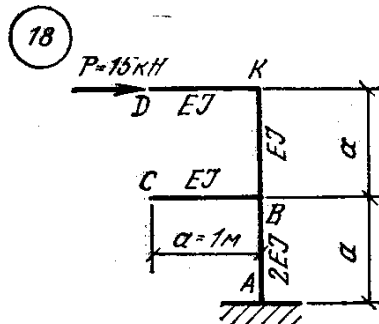
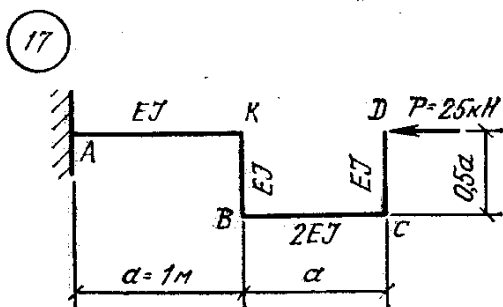
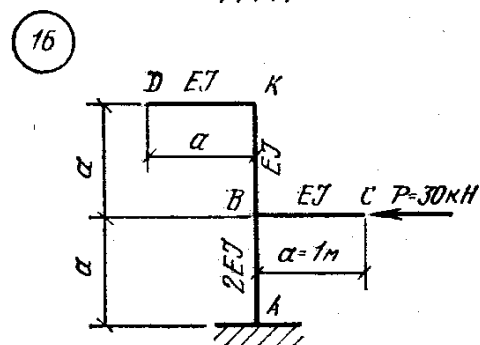
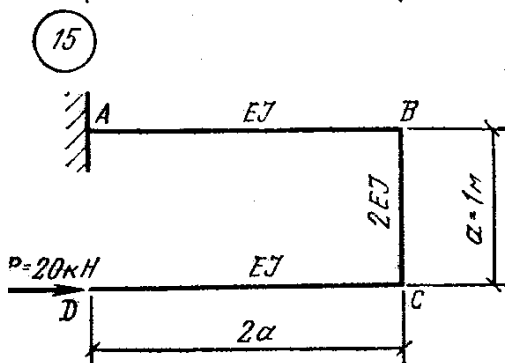
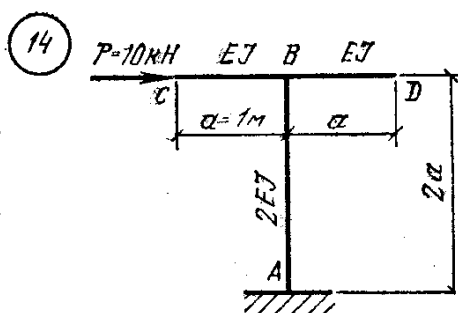
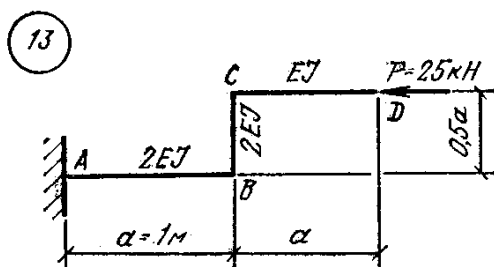
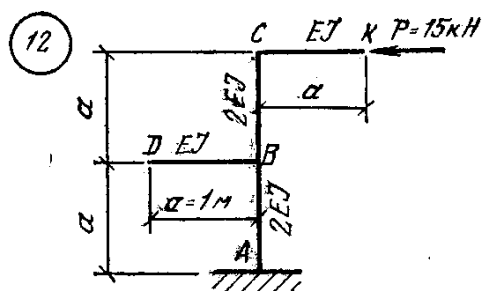
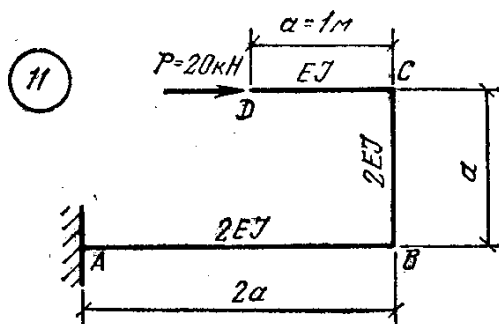
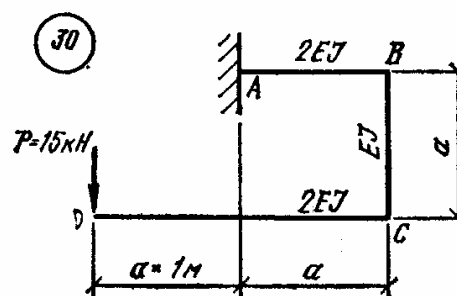
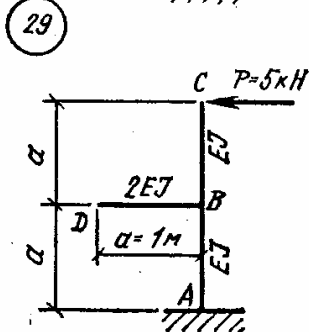
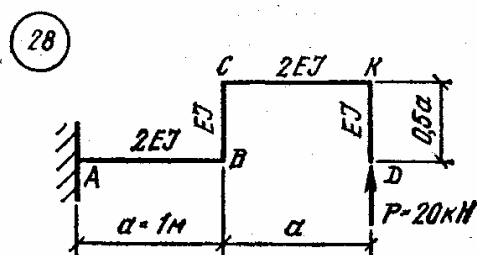
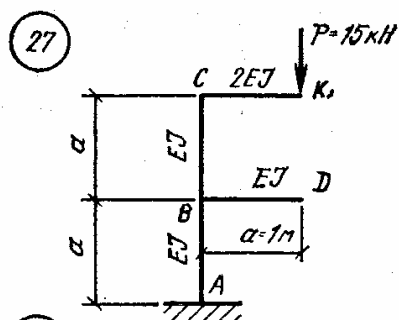
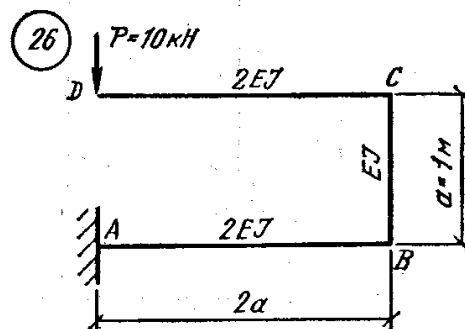
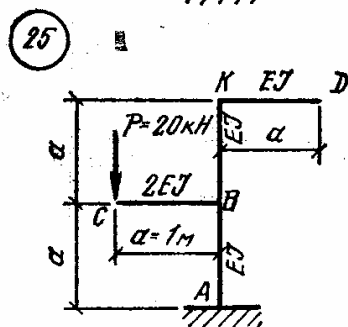
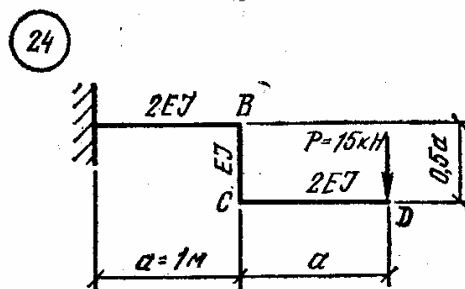
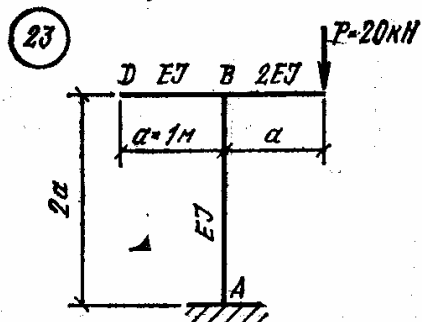
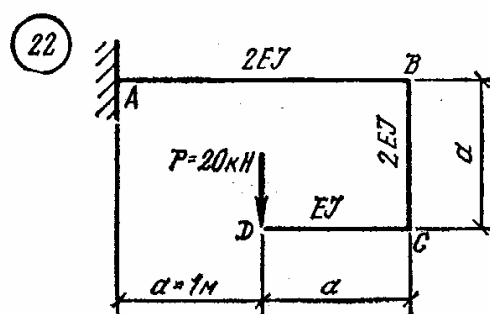
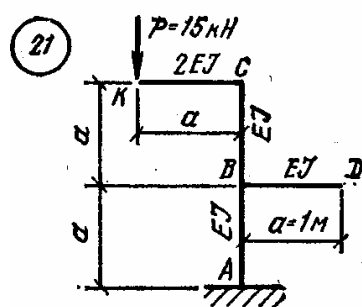


Рисунок 7.2



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.

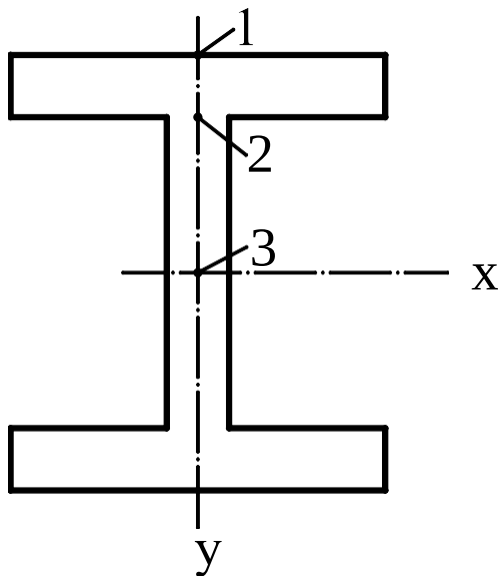


Рисунок 8.1

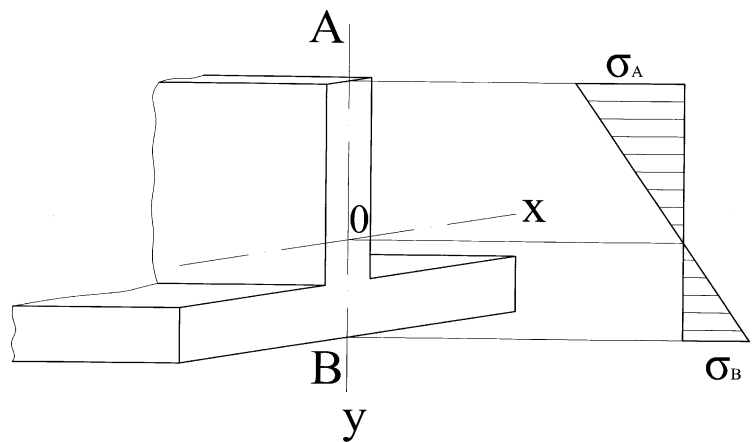


Рисунок 8.2

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.

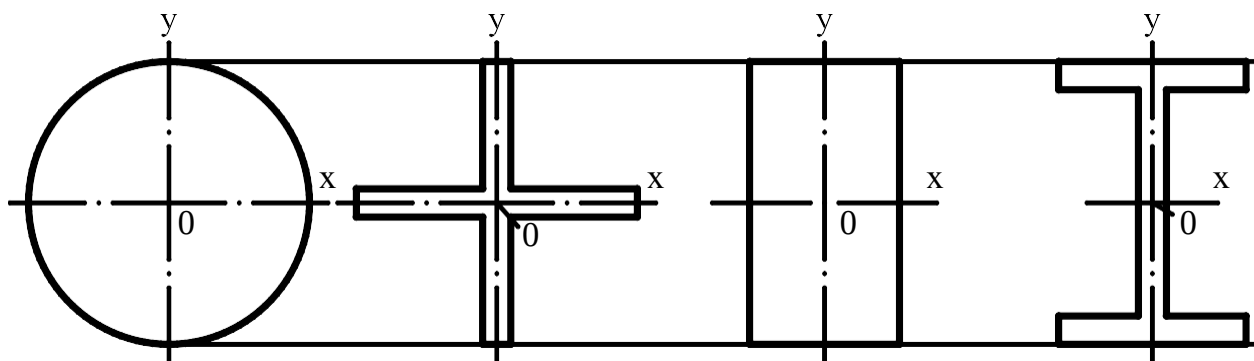


Рисунок 8.3

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 $W_x = 289 \text{ см}^3$.

$$\frac{\sigma_{\max} - [\sigma]}{[\sigma]} \cdot 100 = \frac{W_X - W_{X\#24}}{W_{X\#24}} \cdot 100 = \frac{281 - 289}{289} \cdot 100 = -2,77\% < 5\%$$

(недонапряжение).

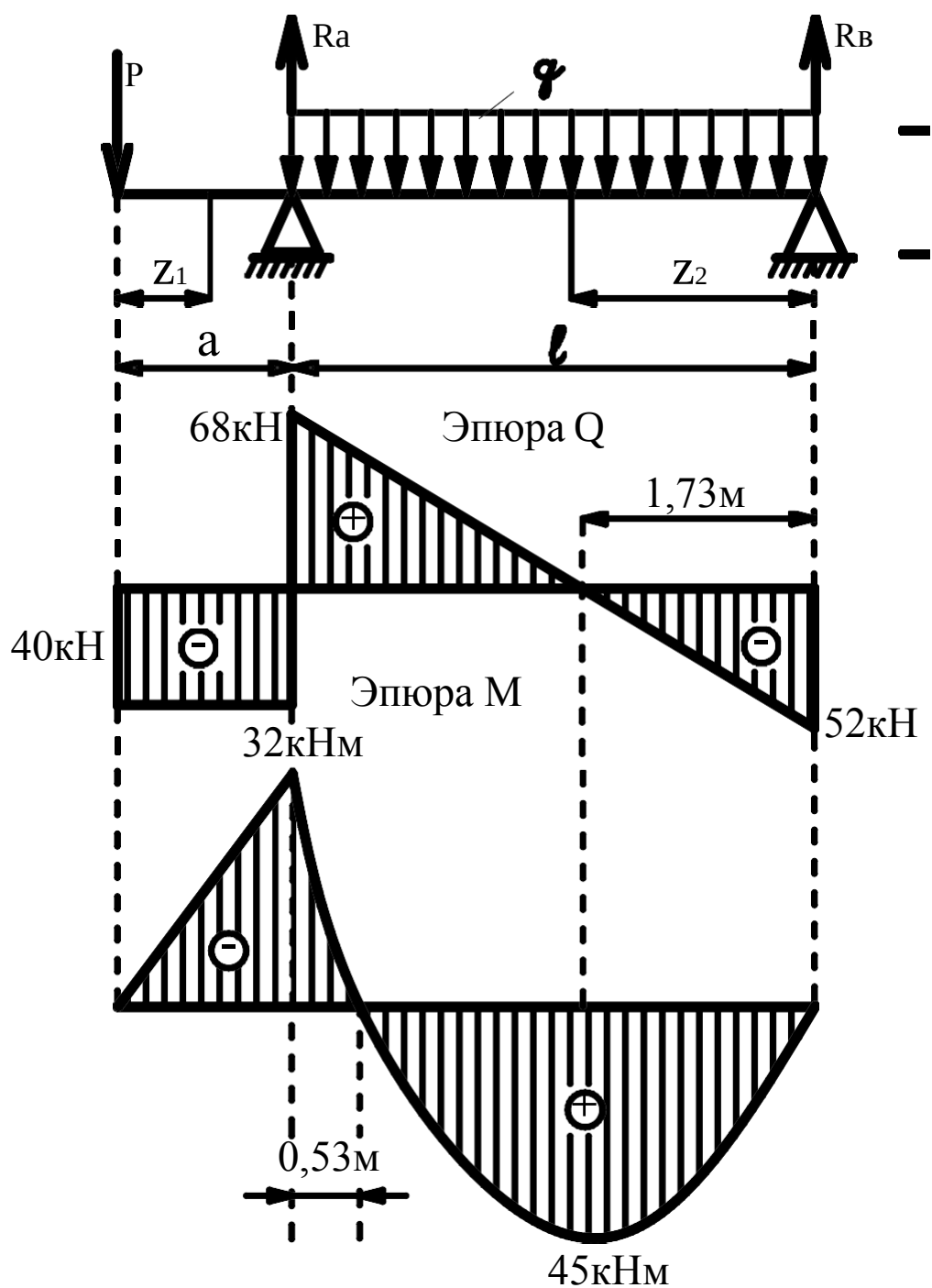


Рисунок 8.4

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:

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

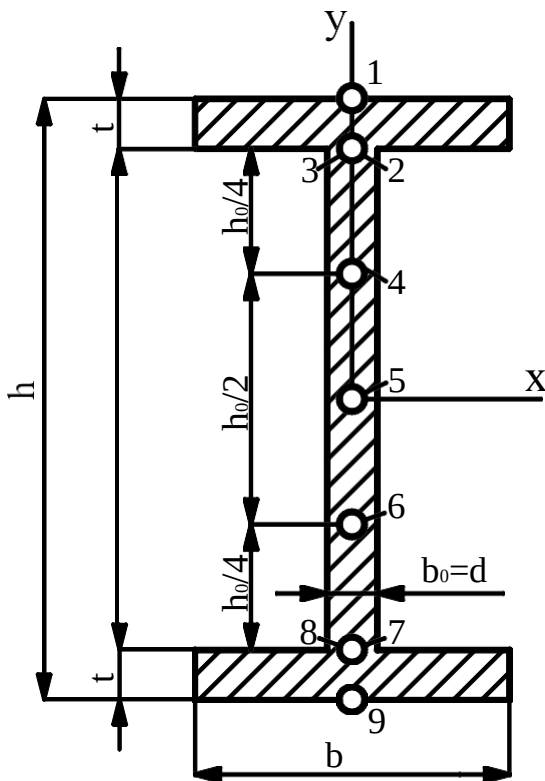


Рисунок 8.5

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	у, см	σ	τ	τ _{max,min}	σ ₁	σ ₃	tg2α	α ₁	α ₂
		МПа							
1	12,00	111	0	±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	±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].

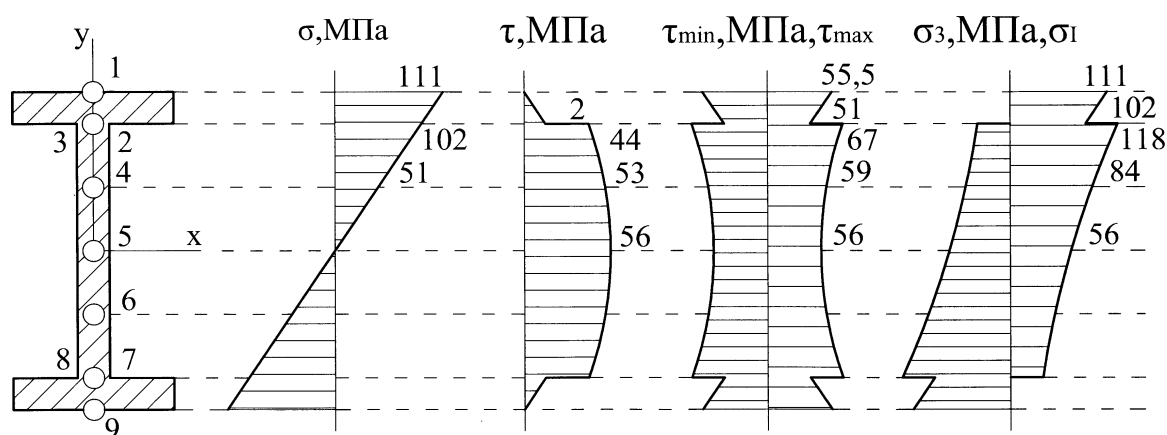


Рисунок 8.6

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

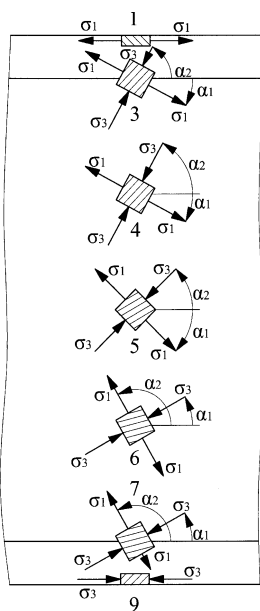


Рисунок 8.7

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 ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
Сопротивление материалов**

Направление подготовки

08.03.01 Строительство

Направленность (профиль)

Промышленное и гражданское
строительство

Ставрополь

Содержание

Лабораторная работа 1

ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Лабораторная работа 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ПОСТОЯННЫХ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Лабораторная работа 3

ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ

Лабораторная работа 4

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ ЭЛЕМЕНТОВ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ ДОПУСКАЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И РАЗРУШАЮЩИХ НАГРУЗОК

Лабораторная работа 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ СЕЧЕНИЙ

Лабораторная работа 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ СЕЧЕНИЙ, СОСТАВЛЕННЫХ ИЗ ПРОКАТНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Лабораторная работа 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ СДВИГА

Лабораторная работа 8

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ БАЛКИ ПРИ ЧИСТОМ ИЗГИБЕ

Рекомендуемая литература

Лабораторная работа 1

ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Цель и содержание работы: изучение поведения малоуглеродистой стали в процессе испытания на растяжение, получение диаграммы растяжения и определение механических характеристик материала образца.

Теоретическое обоснование

Для решения практических задач необходимо знать числовые характеристики пластических и прочностных свойств материалов, которые обычно называются механическими характеристиками. Существует много методов испытаний материалов, но основным является испытание на растяжение.

Опыты проводятся на специальных машинах, рабочее усилие в которых создаётся либо при помощи рычажного устройства (рычажные машины), или с помощью гидравлического давления, передаваемого на поршень (гидравлические машины).

При испытаниях на растяжение применяются так называемые нормальные образцы круглого или прямоугольного сечения. Это вызвано тем, что результаты испытаний образцов разной формы, хотя и изготовленных из одного и того же материала, несколько отличаются. Как доказал русский учёный В. В. Кирпичёв, только при употреблении геометрически подобных образцов становится возможным сравнение результатов испытаний.

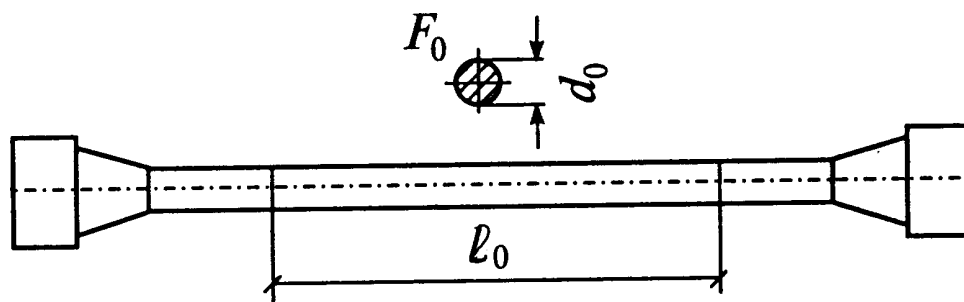


Рисунок 1.1 – Эскиз образца до испытаний

Полное геометрическое подобие обеспечивается при испытании образцов круглого поперечного сечения с одинаковым отношением длины к диаметру $\ell_0/d_0 = \text{const}$. Обычно принимается $\ell_0 = 10d_0$ (иногда используются укороченные образцы с $\ell_0 = 5d_0$), где ℓ_0 – расчетная длина, т. е. длина образца, на которой измеряется его удлинение. Образец (рисунок 1.1), кроме цилиндрической рабочей части, имеет плавные переходы к цилиндрическим утолщенным головкам, предназначенным для закрепления образцов в машине.

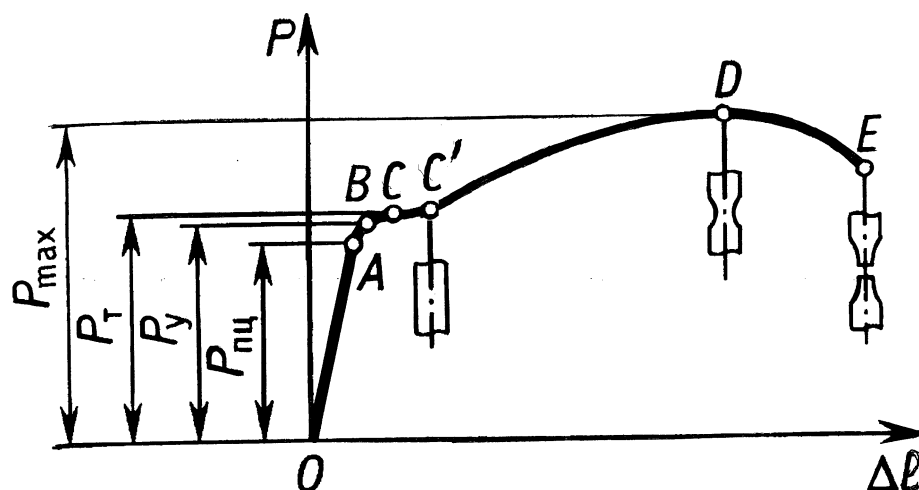


Рисунок 1.2 – Машинная диаграмма растяжения малоуглеродистой стали

При испытаниях металлов на растяжение необходимо руководствоваться требованиями ГОСТ 1497-61. Большинство современных испытательных машин снабжены диаграммным аппаратом, который автоматически в процессе испытания вычерчивает график изменения удлинения образца $\Delta\ell$ в зависимости от статического увеличения растягивающей силы P – диаграмму растяжения $P=f(\Delta\ell)$.

На рисунке 1.2 изображена машинная диаграмма растяжения образца из малоуглеродистой стали (типа Ст.3). Приведенная диаграмма, хотя и характеризует поведение материала, но зависит от размеров образца, т. е. если взять образец с другим поперечным сечением, то получим иную диаграмму.

Поэтому для исключения влияния поперечных размеров и длины рабочей части образца, удобно перестроить машинную диаграмму растяжения $P=f(\Delta\ell)$, разделив силы P на первоначальную площадь сечения образца F_0 , а абсолютное удлинение $\Delta\ell$ на расчётную длину ℓ_0 т. е.

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \quad \varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0}. \quad (1.1)$$



$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{P_{\text{пц}}}{F_0}, \quad (1.2)$$

где $P_{\text{пц}}$ – нагрузка, соответствующая пределу пропорциональности. Для малоуглеродистой стали $\sigma_{\text{пц}} = 2 \cdot 10^8 \text{ Па} = 200 \text{ МПа} = 2000 \text{ кг/см}^2$.

Тангенс угла α наклона участка OA к оси абсцисс равен модулю упругости:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} = E. \quad (1.3)$$

Выше точки A диаграмма начинает несколько искривляться, и закон Гука нарушается. Однако можно отметить такое небольшое напряжение (точка B на рисунке 1.2), до которого в материале имеют место только упругие деформации, полностью исчезающие после снятия нагрузки. Это напряжение называется пределом упругости:

$$\sigma_{\text{о}} = \frac{P_{\text{о}}}{F_0}. \quad (1.4)$$

Чтобы найти предел упругости, необходимо после каждого малого приращения нагрузки за пределом пропорциональности образец разгружать и следить, не образовалась ли пластическая деформация, не исчезающая при снятии нагрузки. Так как пластические деформации в отдельных кристаллах появляются уже в самой ранней стадии нагружения, то величина σ_y , как и $\sigma_{\text{пц}}$, будет зависеть от требований точности, которые накладываются на

производимые замеры. Обычно остаточную деформацию, соответствующую пределу упругости, принимают в пределах 0,001 – 0,003 %. Соответственно этому допуску предел упругости обозначается через $\sigma_{0,001}$ или $\sigma_{0,003}$. Точки *A* и *B* на диаграмме (рисунок 1.3) настолько близки друг к другу, что часто предел упругости и предел пропорциональности считают совпавшими, хотя это не совсем верно.

За точкой *B* деформации растут быстрее нагрузки, искривление увеличивается, и в некоторой точке *C* поведение материала резко меняется: деформации возрастают без заметного увеличения нагрузки (или даже при постоянной нагрузке) до точки *C'* – материал, как говорят, «течет» (явление текучести металлов). Горизонтальный (или почти горизонтальный) участок *CC'* на диаграмме растяжения называется площадкой текучести, а напряжение, при котором происходит течение материала (увеличение деформаций при приблизительно постоянной нагрузке), называется пределом текучести и обозначается σ_T , причём

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{F_0}, \quad (1.5)$$

где P_T – нагрузка, соответствующая площадке текучести на рисунке 1.2 (для Ст.3 предел текучести примерно равен $\sigma_T = 2,4 \cdot 10^8 \text{ Па} = 240 \text{ МПа} = 2400 \text{ кг/см}^2$).

Многие пластичные металлы и сплавы (среднеуглеродистые стали, медь, алюминий, дюралюмин и др.) не имеют четко выраженной площадки текучести на диаграмме растяжения (рисунок 1.5). Для таких материалов определяется условный предел текучести: напряжение, при котором остаточное удлинение составляет 0,2% (иногда 0,5%). Условный предел текучести обозначается $\sigma_{0,2}$ и определяется по формуле:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0},$$

где $P_{0,2}$ – нагрузка, соответствующая остаточному удлинению 0,2% от расчётной длины образца. Для ее определения на оси абсцисс диаграммы откладывают величину остаточного удлинения $OB = 0,0002 \ell_0$ (рисунок 1.5) в масштабе удлинений и из точки B проводят прямую, параллельную первоначальному прямолинейному участку диаграммы. Ордината точки A пересечения ее с диаграммой растяжения и определяет нагрузку $P_{0,2}$, соответствующую условному пределу текучести $\sigma_{0,2}$.

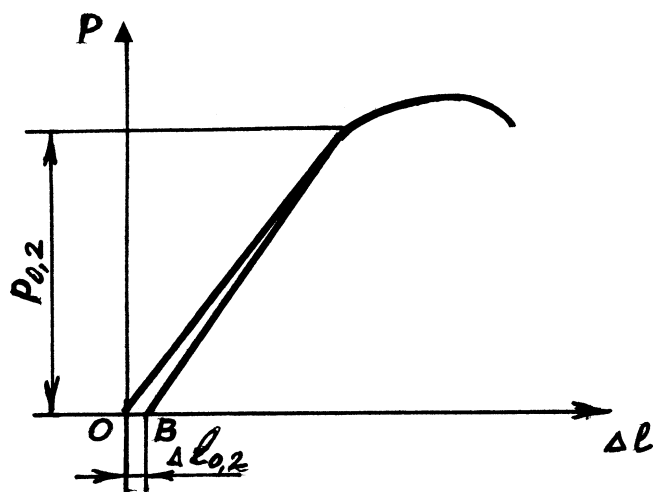


Рисунок 1.5 – Диаграмма растяжения образца без четко выраженной площадки текучести

При дальнейшем деформировании образца за точкой C' напряжения и растягивающее усилие вновь увеличиваются, то есть происходит упрочнение стали, причём этот процесс идёт до момента достижения силой P своего наибольшего значения.

На диаграмме этапу упрочнения отвечает наклоненная кривая $C'D$ (рисунок 1.2), называемая зоной упрочнения. Напряжения, соответствующие наибольшему значению P_{max} , называются временным сопротивлением или пределом прочности $\sigma_{вр}$:

$$\sigma_{AD} = \frac{P_{max}}{F_0}. \quad (1.6)$$

На диаграмме $\sigma_{вр}$ соответствует точке D (для Ст. 3 $\sigma_{вр} \approx 4000 \text{ кг/см}^2 = 400 \text{ МПа}$). Ввиду того, что временное сопротивление очень просто определяется из опыта (достаточно разорвать образец с известной площадью F_0 сечения на машине и отметить при этом P_{max}), эта характеристика является основной для суждения о прочности металла.

До достижения предела прочности продольные и поперечные деформации равномерно распределяются по расчетной длине образца. В момент достижения предела прочности поведение образца еще раз резко меняется: деформация образца локализуется в одном, наиболее слабом месте (или в месте наличия дефектов-надрезов, царапин и т. д.), вследствие чего наблюдается местное поперечное сужение образца, где и начинается образовываться так называемая шейка (рисунок 1.4), остальные же сечения остаются практически неизменными.

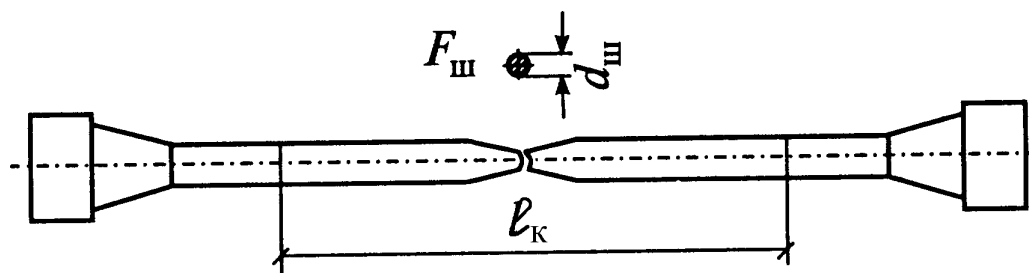


Рисунок 1.4 – Эскиз образца после испытаний

Вследствие резкого уменьшения поперечного сечения образца для дальнейшего его растяжения нужна все меньшая и меньшая сила и, наконец, в точке E (рисунок 1.3) происходит разрыв (разрушение) образца. Ниспадающая ветвь DE диаграммы растяжения называется зоной местной текучести.

Рассмотрев характерные ординаты диаграммы растяжения, устанавливают ряд механических характеристик материала $\sigma_{\text{пл}}$, σ_y , σ_t , $\sigma_{\text{вр}}$, которые являются характеристиками прочности материала.

Рассмотрим теперь абсциссы диаграммы σ - ϵ (рисунок 1.3). Полную деформацию образца при разрыве $\epsilon_{\text{разр}}$ (рисунок 1.3) можно разделить на упругую $\epsilon_{\text{разр}}^y$, мгновенно исчезающую после разрыва, и пластическую, которая обычно обозначается через δ и называется относительным остаточным удлинением при разрыве:

$$\delta\% = \frac{\ell_k - \ell_0}{\ell_0} \cdot 100 \quad (1.7)$$

В формуле (1.7) ℓ_k – длина расчётной части образца ℓ_0 после разрыва, измеренная после соединения частей разорванного образца. Величина δ характеризует пластичность материала для Ст.3 $\delta = 21 \dots 23\%$, а для наиболее распространенных сортов стали $\delta = 8 \dots 28\%$.

Для оценки пластичности материала определяется и другая характеристика – относительное остаточное сужение поперечного сечения в шейке после разрыва:

$$\psi\% = \frac{F_0 - F_{\text{ш}}}{F_0} \cdot 100, \quad (1.8)$$

где F_0 – первоначальная площадь поперечного сечения образца;

$F_{\text{ш}}$ – площадь поперечного сечения шейки в месте разрыва (в наиболее тонком месте шейки); для Ст.3 $\psi = 55 \dots 70 \%$.

Величина ψ более точно характеризует пластические свойства, т. е. пластическая деформация по длине образца распределяется неравномерно, и величина δ является некоторым средним удлинением. Чем больше δ и ψ , тем пластичнее материал, поэтому δ и ψ называются механическими характеристиками пластичности материала.

Аппаратура и материалы

Разрывная машина Р-50, разрушаемый образец (рисунок 1.1), штангенциркуль, карандаш, ручка, тетрадь, калькулятор для выполнения инженерных расчетов.

Указания по технике безопасности

1. Общие правила техники безопасности в лабораториях

сопротивления материалов

1.1. Каждый студент допускается к выполнению лабораторных работ только после ознакомления с настоящими правилами.

1.2. К выполнению работы можно приступить только лишь после получения разрешения преподавателя или лаборанта, ответственного за данное лабораторное занятие.

1.3. Настройку тензометров и других измерительных приборов, а также нагружение установок и машин производить только после достаточного изучения их по соответствующим руководствам и описаниям.

1.4. Ручное нагружение на испытательных машинах осуществлять плавно, без рывков.

1.5. После выполнения испытаний на данной машине или установке привести рабочее место в первоначальный вид и пригласить руководителя занятий для проверки.

1.6. В лаборатории запрещается:

- находиться в пальто или плащах;

- трогать испытательные машины, установки и приборы, которые не используются в выполняемой лабораторной работе;
- начинать испытания без разрешения руководителя занятий;
- находиться во время испытания вблизи движущихся частей машин (траверс, маятников, захватов, муфт);
- самостоятельно отлучаться из лаборатории во время занятий.

1.7. За нарушение правил техники безопасности студенты могут быть отстранены от выполнения лабораторных работ.

2. Техника безопасности при работе на испытательной машине Р-50

2.1. Общие требования по охране труда

К работе на машине допускаются лица, имеющие доступ и только после ознакомления с настоящей инструкцией.

2.2. Требования безопасности перед началом работы.

- Убедиться в надежности и исправности всех узлов, защитных кожухов, предусмотренных конструкцией.
- Проверить наличие заземления.
- Проверить исправность токоведущих частей.
- Перед пуском машины убедиться, что ее включение никому не угрожает.

2.3. Требования безопасности во время работы.

- Включение машины производить только в присутствии преподавателя или учебного мастера.
- Не загромождать рабочие поверхности машины ненужными деталями.
- Не оставлять без контроля машину, находящуюся под напряжением.

- Работать на машине в спецодежде, допускающей провисание элементов (рукавов, поясов и т. д.) на движущиеся части машины; под ногами должен быть диэлектрический коврик.

- Запрещается во время работы производить техобслуживание, отвлекаться, убирать руку от штурвала нагружения во избежание перегрузок образца.

2.4. Требования безопасности в аварийных ситуациях.

- Прекратить работу на машине и отключить ее от сети при нарушении изоляции токоведущих частей и возникновении замыкания в электрической части установки.

- Отключить машину при перерыве в подаче электроэнергии.

- При возникновении механического шума или вибрации отключить машину от сети, принять меры к их устранению.

2.5. Требования безопасности по окончании работ.

- Отключить машину от сети.

- Привести рабочее место в порядок.

Методика и порядок выполнения работы

1. Перед установкой образца в машину тщательно измеряется начальная расчётная длина и диаметр образца с точностью до 0,1 мм, причем диаметр измеряется не менее чем в трех сечениях (в середине и на концах расчётной части ℓ_0). Начальная расчётная длина его округляется до ближайшего числа, кратного 5 (обычно для коротких образцов) или 10 (для длинных образцов), и с точностью до 1% ограничивается неглубокими кернами или рисками.

2. По наименьшему из полученных размеров диаметра вычисляется начальная площадь поперечного сечения образца. Эти и другие данные целесообразно свести в журнал наблюдений (таблица 1.1).

3. Образец закрепляется в захватах испытательной машины, подготавливается к работе диаграммный аппарат и производится пуск машины и нагружение образца. В процессе испытания ведется наблюдение за поведением материала как непосредственно по образцу, так и по диаграмме растяжения. После достижения нагрузки P_n (рисунок 1.2), соответствующей пределу пропорциональности, необходимо внимательно следить за стрелкой силоизмерителя с тем, чтобы зарегистрировать силу P_t , соответствующую пределу текучести: по достижении этой силы стрелка на некоторое время останавливается. После достижения силой величины P_{max} появляется шейка, которая хорошо видна на образце. Величина P_{max} определяется по показаниям контрольной стрелки силоизмерителя.

4. После разрушения образца необходимо остановить машину, освободить из захватов обе половинки образца, снять с барабана диаграммного аппарата бумагу с диаграммой растяжения и произвести отсчёт величины наибольшей нагрузки по шкале силоизмерительного устройства, записав её затем в журнал наблюдений. Это необходимо для определения масштаба диаграммы по оси нагрузок, если он неизвестен.

5. Измеряется минимальный диаметр шейки (в месте разрыва) в двух взаимно перпендикулярных направлениях с точностью не ниже 0,1 мм. По среднему арифметическому из полученных значений диаметра вычисляется площадь поперечного сечения в шейке $F_{ш}$ и затем по формуле (1.8) находится относительное остаточное сужение ψ .

6. Аккуратно сложив обе половинки разрушенного образца по месту разрыва, измеряется новая длина расчётной части ℓ_k разрушенного образца. Имея ℓ_k , по формуле (1.7) можно найти относительное остаточное удлинение δ образца после разрыва.

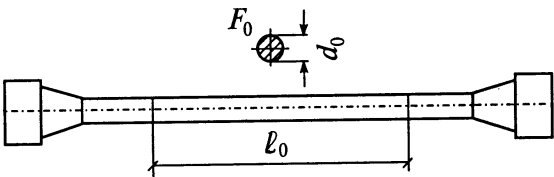
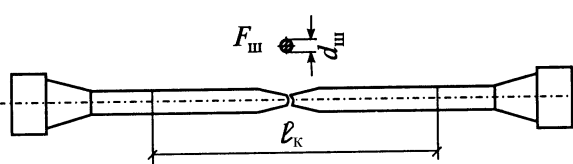
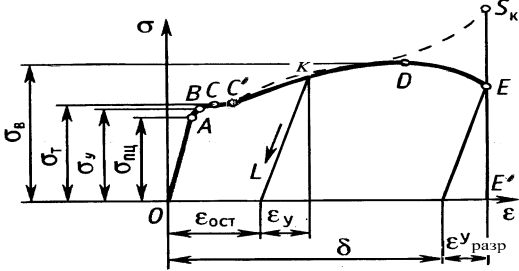
7. По диаграмме растяжения устанавливаются величины нагрузок $P_{п}$, P_y , P_t и P_{max} (рисунок 1.2), а по формулам (1.2),(1.5),(1.6) – соответствующие механические характеристики.

Содержание отчета и его форма

Отчет по лабораторной работе выполняется в тетради для лабораторных работ и должен содержать следующие разделы:

- 1) название и цель работы;
- 2) краткий конспект основных теоретических положений;
- 3) результаты измерений и расчетов в форме таблицы 1.1;
- 4) копию машинной диаграммы растяжения;
- 5) условную диаграмму растяжения, построенную по результатам эксперимента.

Таблица 1.1

Эскиз образца	
 ДО ИСПЫТАНИЯ	 ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЯ
Размеры образца	
Диаметр, мм $d_0 =$ Расчетная длина, мм $l_0 =$ Площадь сечения, мм²: $F_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} =$	Диаметр шейки, мм $d_{ш} =$ Длина расчетной части, мм $l_k =$ Площадь сечения в шейке, мм²: $F_{ш} = \frac{\pi d_{ш}^2}{4} =$
Результаты испытаний	
Условная диаграмма растяжения  Масштабы: по оси нагрузок по оси удлинения	Нагрузки, кгс, соответствующие пределам: пропорциональности $P_{п} =$ текучести $P_{т} =$ прочности $P_{max} =$ Нагрузка в момент разрыва $P_{раз} =$
Механические характеристики	

Пределы; МПа: пропорциональности $\sigma_{\text{пц}} =$ текучести $\sigma_{\text{т}} =$ прочности $\sigma_{\text{вр}} =$ Истинное сопротивление при разрыве, МПа $\sigma_{\text{max}} = \frac{P_{\delta\dot{\alpha}\zeta}}{F_{\emptyset}} =$	Относительное остаточное удлинение $\delta\% \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon_0} \cdot 100 =$ Относительное остаточное сужение площади поперечного сечения в шейке $\psi\% \frac{F_0 - F_{\emptyset}}{F_0} \cdot 100 =$
Вывод:	

Вопросы для защиты работы

1. Какова цель работы?
2. Какой образец применяется для испытаний?
3. На какой испытательной машине выполняется работа?
4. В каких координатах вычерчивается диаграмма растяжения диаграммным аппаратом испытательной машины?
5. Какой вид имеет машинная диаграмма растяжения малоуглеродистой стали?
6. Как строится условная диаграмма растяжения?
7. Какие изменения, происходящие с образцом в процессе растяжения, не учитываются условной диаграммой растяжения?
8. Что называется пределом пропорциональности, пределом упругости, пределом текучести, пределом прочности (или временным сопротивлением разрыву) и как они определяются?

9. Как определить предел пропорциональности по машинной диаграмме растяжения?

10. Как определить нагрузку, соответствующую пределу текучести, по силоизмерителю машины в процессе растяжения малоуглеродистой стали?

11. Какие зоны можно выделить на диаграмме растяжения?

12. Как определить, в какой точке заканчивается зона упругости при испытании на растяжение?

13. По каким участкам образца происходит его растяжение в зоне упрочнения и в зоне местной текучести?

14. Какие деформации называются упругими, а какие пластическими (остаточными)?

15. Образец нагрузили до точки K (рисунок 1.3), а затем решили его разгрузить. Покажите на диаграмме, как пойдет линия разгрузки и объясните, почему. Какую остаточную деформацию при этом получил образец?

16. Почему после нагружения образца выше предела прочности нормальное напряжение σ начинает падать?

17. Какие механические характеристики служат для оценки пластичности металлов и как эти характеристики определить?

18. Каков порядок проведения испытания и обработки его результатов?

19. Как определяется предел условный текучести по диаграмме растяжения, не имеющей четко выраженной площадки текучести?

20. Объясните, как определить модуль упругости по условной диаграмме растяжения малоуглеродистой стали.

21. Объясните основные принципы построения условной диаграммы растяжения по машинной диаграмме.

22. Какие преимущества имеет условная диаграмма по сравнению с машинной диаграммой?

23. Изменение каких параметров образца в процессе его деформирования не учитывает условная диаграмма растяжения?

Лабораторная работа 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ПОСТОЯННЫХ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Цель и содержание работы: экспериментальное определение модуля продольной упругости E , коэффициента поперечной деформации μ и косвенное определение модуля сдвига G при растяжении стального образца.

Теоретическое обоснование

Упругие постоянные E , μ , G используются для решения практических задач и характеризуют свойства материала сопротивляться различным видам деформаций, вызываемых воздействием внешних нагрузок. Числовые значения упругих постоянных не могут быть определены теоретически, а получаются экспериментальным путем при испытании образцов из различных материалов на растяжение, сжатие, кручение, изгиб.

Для конкретного материала значения упругих постоянных E , μ , G зависят от условий эксплуатации, а следовательно, от условий проведения эксперимента. На величину упругих постоянных оказывает влияние вид деформаций (растяжение, сжатие, изгиб и т. д.), температура, уровень радиации, давление и другие факторы. Наиболее распространенным видом испытаний является испытание на растяжение при нормальных условиях, что в значительной степени оправдано соответствующими условиями эксплуатации большего числа элементов реальных сооружений, деталей машин и оборудования.

Модуль упругости первого рода (модуль Юнга) характеризует сопротивляемость материала упругой деформации при растяжении и сжатии:

чем больше модуль упругости материала, тем меньшее удлинение или укорочение получит стержень при прочих равных условиях (длине, площади, нагрузке).

В законе Гука, устанавливающем зависимость между нормальным напряжением σ и относительной линейной деформацией ε , модуль Юнга E выступает в роли коэффициента пропорциональности

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.1)$$

Напряжение σ имеет размерность Паскаль, относительная деформация ε величина безразмерная. Следовательно, модуль Юнга имеет размерность такую же, как и напряжение, то есть Па. Величину модуля упругости можно найти на основе формулы (2.1)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon},$$

где $\sigma = \frac{P}{F},$

P – сила, растягивающая образец,

F – площадь поперечного сечения образца,

$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ – относительная продольная деформация, фиксируемая в данной работе методом электрического тензометрирования.

Коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) μ характеризует способность материала сопротивляться поперечному деформированию, т. е. изменению поперечных размеров при действии продольных сил. Его можно вычислить, зная соответствующие значения

относительной поперечной деформации ε' и относительной продольной деформации

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right|. \quad (2.2)$$

Коэффициент Пуассона зависит в основном от материала и находится в пределах $0 < \mu < 0,5$. Например, пробковое дерево имеет $\mu=0$, а каучук или эластичная резина $\mu=0,5$. Различная степень поперечного расширения указанных двух материалов наблюдается при простейших примерах сжатия пробок и пластика. Для сталей, отличающихся содержанием углерода, легирующих добавок, а также видом механической, термической или иной обработки, указанные упругие постоянные E и μ изменяются в незначительных пределах

$$E_c = (1,9 \dots 2,1) \cdot 10^{11} \text{ Па} = (1,9 \dots 2,1) \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2, \quad \mu_c = 0,25 \dots 0,30$$

Модуль упругости второго рода (модуль сдвига) G характеризует сопротивляемость материала сдвиговым (угловым) деформациям. Он выступает в роли коэффициента пропорциональности в законе Гука при сдвиге, устанавливающем зависимость между касательным напряжением τ и углом сдвига γ

$$\tau = G \gamma. \quad (2.3)$$

Модуль сдвига G экспериментально определяется на основе формулы (3) при чистом кручении стального образца круглого поперечного сечения. С другой стороны, теоретически доказано, что для изотропного упругого

материала существует функциональная зависимость между тремя характеристиками E , μ , G , (только две из них являются независимыми, а третья может быть вычислена).

Поэтому в данной работе, кроме непосредственного определения постоянных E и μ , мы можем теоретически вычислить (определить косвенным путем) и постоянную G по формуле

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}, \quad (2.4)$$

а затем сравнить в указанной выше работе с экспериментальным значением, полученным также для стального образца. Среднее значение модуля сдвига для стали, приводимое в справочниках, оценивается величиной $G = 0,8 \cdot 10^{11} \text{ Па} = 0,8 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$.

Деформации в данной работе будем определять методом электрического тензометрирования. Относительные деформации в реальных конструкциях составляют, как правило, несколько тысячных долей единицы, т. е. $\epsilon = \frac{\Delta l}{l} = 0,0014 - 0,003$. Следовательно, абсолютные деформации Δl

также очень малы по сравнению с длиной l , а именно $\Delta l \approx (0,001 - 0,003)l$. Поэтому, чтобы их зафиксировать, необходимо использовать приборы, имеющие значительный коэффициент увеличения (в тысячу и более раз).

Приборы, чувствительные к изменению длины отрезка определенного направления, называются тензометрами (от слова «тензо» – деформация). Длина отрезка, на котором производится замер деформации, называется базой тензометра и обозначается l .

Существует несколько методов измерения деформации. В зависимости от принципа действия различают тензометры механические, оптические, пневматические, акустические, электрические и другие.

Метод электрического тензометрирования основан на принципе изменения омического сопротивления проводника при его деформировании. Известно, что электрическое сопротивление проводника равно

$$R = \rho \frac{\ell}{F}, \quad (2.5)$$

где ρ – удельное сопротивление материала;

ℓ – длина проводника;

F – площадь поперечного сечения проводника.

В результате растяжения проводника его длина ℓ увеличивается на $\Delta\ell$, а площадь сечения F уменьшится на ΔF . Следовательно, сопротивление R увеличится на некоторую величину ΔR . При сжатии проводника его сопротивление уменьшится. Относительное изменение сопротивления определяется формулой (2.6), последнее слагаемое в которой учитывает изменение удельного сопротивления при деформации:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta\ell}{\ell} (1 + 2\mu) + \frac{\Delta\rho}{\rho}. \quad (2.6)$$

Ошибка! Раздел не указан.

Общий вид проволочного тензодатчика, который тензодатчика

наклеивается на исследуемый объект, показан на рисунке 2.1. Он представляет собой проволочную решетку, состоящую из нескольких петель, уложенных между слоями диэлектрика. Тензодатчик наклеивается на исследуемый объект и становится, благодаря своим малым размерам и массе, как бы одним целым с ним. Деформации объекта воспринимаются проволочной решеткой тензодатчика. К концам решетки припаяны выводы, через которые тензодатчики включаются в измерительную схему, состоящую из моста Уитстона, усилителя и регистрирующего прибора (миллиамперметра).

На рисунке 2.2 показана принципиальная схема тензостанции ИД-70, используемой в лабораторной работе. Четыре сопротивления R_a , R_k , R_δ , R_δ' , соединенные в мост Уитстона. Одно плечо моста, состоящее из двух регулируемых балансировочных сопротивлений R_δ и R_δ' , связанных через реохорд, находится внутри прибора.

Рисунок 2.2 – Принципиальная схема тензостанции

Второе плечо моста образуется двумя тензодатчиками практически равного сопротивления. Активный датчик R_a наклеен на исследуемый объект. Компенсационный датчик R_k наклеен на ненагружаемую деталь, изготовленную из того же материала, что и объект. Он служит для компенсации тех изменений сопротивления активного датчика, которые вызваны происходящими во времени перепадами температуры, давления и т. д. и вносящими при его отсутствии значительные погрешности в измеряемые деформации.

При подаче в рабочую диагональ (рисунок 2.2) напряжения в измерительной диагонали появляется ток i , который усиливается, а затем регистрируется миллиамперметром. Ток в измерительной диагонали будет равен нулю только в том случае, если

$$\frac{R_A}{R_k} = \frac{R_\delta}{R_\delta'}, \quad (2.7)$$

т. е. при равных отношениях сопротивлений в обоих плечах моста. Балансировочные сопротивления R_δ и R_δ' связаны с отградуированной для визуального снятия значений сопротивлений шкалой реохорда.

При нулевой (или условно нулевой) нагрузке на исследуемый образец, вращая ручку реохорда, добиваются выполнения равенства (2.7), изменяя соотношение $\frac{R_\delta}{R_\delta'}$. В тот момент, когда ток в измерительной диагонали и, следовательно, в регистрирующем миллиамперметре, станет равным нулю, выполняют нулевой или начальный отсчёт.

Загрузив исследуемый образец заданной нагрузкой, получают разбаланс моста ввиду изменявшегося отношения $\frac{R_A}{R_\delta}$. Этот разбаланс снова ликвидируется вращением реохорда, т. е. путем подбора соответствующего значения $\frac{R_\delta}{R_\delta'}$. При нулевом токе i берут вторичный отсчёт по шкале, а затем подсчитывают разность показаний реохорда до и после нагрузки.

Выполнив предварительную градуировку шкалы реохорда в единицах относительной деформации (е. о. д.), получим искомые значения ε и ε' . Градуировка производится на основании известного коэффициента тензочувствительности датчиков. Коэффициентом тензочувствительности K

называется отношение относительного изменения сопротивления $\frac{\Delta R}{R}$ к относительной деформации $\frac{\Delta l}{l}$. Коэффициент тензочувствительности K датчиков указывается в паспорте завода - изготовителя.

Для определения модуля Юнга E и коэффициента Пуассона μ изготовлен стальной образец прямоугольного сечения шириной b и высотой h , который подвергается осевому растяжению на испытательной машине. Эскиз образца с наклеенными активными датчиками показан на рисунке 2.3. Чтобы исключить влияние деформаций изгиба, которые могут возникнуть в результате нестрогого осевого нагружения образца, тензодатчики наклеены парами на двух противоположных гранях и соединены последовательно. В результате положительная деформация изгиба (растяжение) одной грани будет компенсироваться такой же по величине, но отрицательной деформацией (сжатие) другой грани. Другими словами, происходит осреднение деформаций на двух взаимно противоположных гранях с автоматическим выделением «чистой» деформации, вызванной идеально осевой нагрузкой.

Опыт проводится на универсальной испытательной машине УМ-5 с предельной нагрузкой в 5 т. Нагрузка изменяется ручным приводом, перемещающим нижнюю траверсу. При этом верхняя траверса находится в фиксированном положении. Величину развиваемого усилия показывает на шкале стрелка силоизмерительного устройства. При вращении рукоятки привода против часовой стрелки траверса движется вниз – образец растягивается, а при вращении по часовой стрелке траверса перемещается вверх – образец разгружается.

Рисунок 2.3 – Стальной образец с тензодатчиками

Аппаратура и материалы

Испытательная машина УМ-5, образец (рисунок 2.3) с установленными на его поверхности тензодатчиками (рисунок 2.1), тензостанция (рисунок 2.2), штангенциркуль, линейка, карандаш, тетрадь, калькулятор для выполнения инженерных расчетов.

Указания по технике безопасности

1. Каждый студент допускается к выполнению лабораторных работ только после ознакомления с настоящими правилами.
2. К выполнению работы можно приступить только лишь после получения разрешения преподавателя или лаборанта, ответственных за данное лабораторное занятие.
3. Настройку тензометров и других измерительных приборов, а также нагужение установок и машин производить только после достаточного изучения их по соответствующим руководствам и описаниям.
4. Ручное нагужение на испытательных машинах осуществлять плавно, без рывков.
5. После выполнения испытаний привести рабочее место в первоначальный вид и пригласить руководителя занятий для проверки.
6. В лаборатории запрещается:
 - находиться в пальто или плащах;
 - трогать испытательные машины, установки и приборы, которые не используются в выполняемой лабораторной работе;
 - начинать испытания без разрешения руководителя занятий;

- находиться во время испытания вблизи движущихся частей машин (траверс, маятников, захватов, муфт);

- самостоятельно отлучаться из лаборатории во время занятий.

7. За нарушение правил техники безопасности студенты могут быть отстранены от выполнения лабораторных работ.

Методика и порядок выполнения работы

1. Замерить ширину b и высоту h поперечного сечения рабочей части образца (рисунок 2.3) и записать их в тетрадь.

2. Вычислить площадь поперечного сечения $F=bh$. Установить образец в нижнем и верхнем захватах испытательной машины и включить тензостанцию. Тензоусилителю дать прогреться 10–15 мин.

3. Загрузить образец условно нулевой нагрузкой P_0 .

4. Сбалансировать мост Уитстона, вращая ручку реохорда (миллиамперметр при этом покажет нулевой ток). Взять первоначальный отсчёт C_0 по шкале реохорда и записать его в журнал испытаний. Переключить тензостанцию на поперечный датчик и, сбалансировав мост, взять отсчёт C_0' .

5. Дать приращение нагрузки ΔP .

6. Сбалансировав мост, взять соответствующие отсчёты C_P и C_P' .

Записать их в журнал (таблица 2.1).

7. Разгрузить образец.

8. Повторить предыдущие пункты 3 – 7 еще два раза. Приращение нагрузки ΔP во всех трех опытах должно быть одним и тем же, а условно нулевая нагрузка P_0 может меняться.

9. Найти разницы отсчётов ΔC и $\Delta C'$ в каждом из экспериментов и вычислить их среднее значение ΔC_{cp} и $\Delta C'_{cp}$ по трем опытам.

Содержание отчета и его форма

Отчет по лабораторной работе выполняется в тетради для лабораторных работ и должен содержать следующие разделы:

- название и цель работы;
- краткий конспект основных теоретических положений;
- описание метода тензометрирование, принципиальную схему тензостанции ИД-70 (рисунок 2.2), тензодатчика (рисунок 2.1), с пояснениями порядка их работы;
- эскиз образца с наклеенными активными датчиками (рисунок 2.3);
- результаты испытаний в форме таблицы 2.1;
- вычисление значений относительных продольной и поперечной деформации (C_ε – цена деления реохорда; $C_\varepsilon = 1,75 \cdot 10^{-6}$);

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{\Delta C_{\text{ср}}}{C_\varepsilon}, \quad \varepsilon_{\text{ср}} = \frac{\Delta C_{\text{ср}}}{C_\varepsilon} \quad ,$$

- вычисление нормального напряжения в поперечном сечении образца

$$\sigma = \frac{\Delta P}{F} ;$$

- определение модуля Юнга

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} ;$$

- определение коэффициента Пуассона

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right|;$$

- вычисление значения модуля сдвига

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}.$$

Таблица 2.1

Нагрузка P , кг	Приращение нагрузки ΔP , кг	Показания датчиков		Разница отсчетов	
		C_P	$C_{P'}$	ΔC	$\Delta C'$
		Средние значения			

Вопросы для защиты работы

1. Физический смысл модуля упругости первого рода (модуля Юнга).
2. Физический смысл коэффициента Пуассона.
3. Физический смысл модуля упругости второго рода (модуля сдвига).
4. Как записывается закон Гука, при растяжении – сжатии?
5. Как записывается закон Гука, при сдвиге?
6. Какая теоретическая зависимость существует между упругими постоянными изотропного материала?
7. Объяснить принцип действия тензодатчика.
8. Объяснить принцип измерения деформации тензодатчиками, соединенными по схеме моста Уитстона.
9. Для чего служит компенсационный тензодатчик?
10. С какой целью тензодатчики на образце наклеиваются парами по одному на противоположных гранях?
11. Что называется коэффициентом тензочувствительности?

Лабораторная работа 3

ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ

Цель и содержание работы: ознакомление с методикой испытаний и определения механических характеристик при сжатии; сравнительное изучение особенностей разрушения пластичных и хрупких, изотропных и анизотропных материалов при испытаниях на сжатие.

Теоретическое обоснование

Для изучения механических характеристик материалов существенное значение имеют испытания не только на растяжение, но и на сжатие, причём для хрупких материалов испытания на сжатие являются основными.

Многие пластичные материалы совсем не разрушаются при сжатии, или разрушаются только при значительной остаточной деформации.

При испытании пластичных материалов (например, стального образца) диаграмма сжатия вначале аналогична диаграмме растяжения (рисунок 3.1): предел пропорциональности и предел текучести почти совпадают, но площадка текучести не получается столь же ярко выраженной, как при растяжении.

При дальнейшем нагружении сжимающая сила все время возрастает, т.к. возникают значительные пластические деформации, в результате чего увеличивается площадь поперечного сечения образца. При этом образец за счет трения на торцах³ принимает бочкообразную форму (рисунок 3.2): силы трения мешают частям образца, примыкающим к торцам, расширяться в поперечном направлении; средняя часть образца, удаленная от концов, имеет такую возможность. Вследствие этого напряженное состояние в образце становится неоднородным и значительно отличается от линейного. Довести до разрушения образец из малоуглеродистой стали практически не удастся, цилиндр превращается в тонкий диск без видимых признаков разрушения. Диаграмма сжатия не имеет конечной точки, поэтому предел прочности при сжатии такого рода материалов не может быть определен и понятие предела прочности лишено физического смысла. Для таких материалов условно принимают предел прочности при сжатии равным пределу прочности при растяжении. Испытание обычно прекращается по достижении нагрузки, в 3 – 5 раз превышающей P_T .

Хрупкие материалы (чугун, камень, бетон и т.п.) разрушаются при сжатии, однако характерным является то, что разрушение происходит при напряжениях, значительно больших, чем при растяжении.

При испытании чугунного образца диаграмма сжатия сохраняет качественные особенности диаграммы растяжения (рисунок 3.3), однако сопротивление сжатию значительно выше (в 4 – 5 раз) сопротивления

³ Силы трения можно в значительной степени уменьшить путём смазки опорных поверхностей образца жиром или подкладки пропитанной парафином фильтровальной бумаги.

растяжению. Нагружение образца продолжается до тех пор, пока не начнёт снижаться нагрузка и не наступит разрушение образца. Конечный участок AB диаграммы соответствует процессу разрушения (трещинообразование, расслоение) и не может быть использован для оценки каких-либо механических характеристик материала. Поэтому участок AB диаграммы сжатия во внимание не принимается.

Значение максимальной нагрузки P_{max} определяется по шкале силоизмерительного устройства пресса, заносится в журнал и по ней определяется предел прочности чугуна:

$$\sigma_A = \frac{P_{max}}{F_0}. \quad (3.1)$$

При разрушении цилиндрического образца возникают трещины под углом около 45° к оси образца (рисунок 3.4). Уменьшение сил трения (смазка торцов, применение конических насадок и др.) изменяет характер разрушения.

При испытании образцов из чугуна и других хрупких материалов необходимо применять ограждения опорных плит из прозрачных пластмасс для предохранения от осколков при разрушении.

Цементный кубик при раздавливании принимает вид усеченных пирамид, составленных меньшими основаниями (рисунок 3.5, а). Трещины образуются под углом, примерно равным 45° . Диаграмма сжатия цементного кубика имеет вид такой же, как и диаграмма сжатия чугунного образца.

Если исключить влияние сил трения между торцами кубика и плитами машины (например, смазать торцы парафином или подложить резиновые прокладки), то кубик разрушается по плоскостям, параллельным линии действия силы (рисунок 3.5, б), на которых напряжения равны нулю. Предел прочности при этом оказывается меньше, чем для кубика, испытанного без смазки.

Все материалы можно условно разделить на два типа: изотропные (имеющие одинаковые механические свойства в разных направлениях) и анизотропные (имеющие различные свойства в разных направлениях). Все рассмотренные ранее материалы относятся к изотропным материалам.

Древесина является анизотропным материалом и поэтому результаты, полученные при сжатии вдоль и поперек волокон, резко отличны (рисунок 3.6, а). Характерным для диаграммы сжатия древесины поперек волокон является значение нагрузки, после которой её рост существенно замедляется, а деформация продолжает возрастать. Испытание образца обычно прекращается, когда его высота уменьшается на $1/3$. При дальнейшем нагружении древесина не разрушается, а лишь прессуется (рисунок 3.6, б). За предел прочности в таком случае принимается ордината переломной точки A (рисунок 3.6, а).

Разрушение деревянного кубика при сжатии его вдоль волокон происходит за счет сдвига одной части по другой (рисунок 3.6, в). Соответствующая диаграмма сжатия имеет вид, представленный на рисунке 3.6, а. Как видно из рисунка 3.6, а, предел прочности на сжатие вдоль волокон значительно выше (в 8 – 10 раз), чем поперек волокон.

Для проведения испытаний на сжатие применяется гидравлический пресс П-125 или одна из разрывных машин Р-10, Р-20, Р-50. Разрывные машины снабжены диаграммным аппаратом, автоматически записывающим в процессе испытаний диаграмму сжатия. Для испытания металлов на сжатие используются образцы в виде коротких цилиндров-крешеров, у которых высота равна одному - двум диаметрам⁴. Для других материалов применяются образцы в виде кубиков (стороны кубиков: для дерева 50 мм, для цемента и камня 70 мм, для бетона 200 – 300 мм).

Аппаратура и материалы

⁴ При большей высоте образца его сжатие обычно сопровождается искривлением, искажающим результаты испытаний. При очень малой высоте образца большое влияние на результаты опыта оказывает трение между торцами образца и плитами пресса.

Гидравлический пресс П-125, стальной и чугунный цилиндры-крешеры, бетонный кубик, два деревянных кубика, штангенциркуль, тетрадь, ручка, линейка, карандаш, микрокалькулятор для выполнения инженерных расчетов.

Указания по технике безопасности

При работе на гидравлическом прессе П-125 следует соблюдать следующие правила техники безопасности

1. Общие требования по охране труда.

1.1. К работе на прессе П-125 допускаются лица, имеющие допуск только после ознакомления с настоящей инструкцией.

2. Требования безопасности перед началом работы.

2.1. Убедиться в надежности и исправности всех узлов, защитных кожухов, предусмотренных конструкцией.

2.2. Проверить наличие заземления.

2.3. Проверить исправность токоведущих частей пресса.

2.4. Перед пуском пресса убедиться, что его включение никому не угрожает.

3. Требования безопасности во время работы.

3.1. Включение пресса производить только в присутствии преподавателя или учебного мастера.

3.2. Не загружать рабочие поверхности пресса ненужными деталями.

3.3). Не оставлять без контроля пресс, находящийся под напряжением.

3.4. Работать на прессе в спецодежде, не допускающей провисания элементов и задевания рукавами движущейся части машины, под ногами должен быть диэлектрический коврик.

3.5. Запрещается во время работы производить техобслуживание, отвлекаться, убирать руку от штурвала нагружения во избежание перегрузок образца.

4. Требования безопасности в аварийных ситуациях.

4.1. Прекратить работу на прессе и отключить его от сети при нарушении изоляции токоведущих частей и возникновении замыкания в электрической части установки.

4.2. Отключить пресс при перерыве в подаче электроэнергии.

4.3. При возникновении механического шума или вибрации отключить пресс от сети, принять меры к их устранению.

5. Требования безопасности по окончании работ.

5.1. Отключить пресс от сети; привести рабочее место в порядок.

Методика и порядок выполнения работы

1. Перед началом испытания образцов необходимо измерить образцы, результаты измерений занести в журнал испытаний (таблица 3.1). Измерения стального, чугунного и цементного образцов производятся с точностью до 0,1 мм, а деревянных кубиков с точностью до 1,0 мм ввиду меньшей тщательности их изготовления.

2. Установить образец в машину. При установке следить за тем, чтобы образец был хорошо центрирован по отношению к оси приложения

сжимающей силы. Желательно, чтобы одна из плит пресса имела шаровую опору для устранения возможных перекосов и связанного с ними изгиба. После установки образца подвижную плиту плавно подвести к его поверхности.

3. Произвести пуск машины и нагружение образца.

4. После окончания испытания образец разгружается и вынимается из машины. По шкале силоизмерительного устройства фиксируется максимальная нагрузка и записывается в журнал испытаний.

5. Эскиз образца до и после испытания и вид полученной диаграммы зарисовываются в журнал (таблица 3.1).

Содержание отчета и его форма

Отчет по лабораторной работе выполняется в тетради для лабораторных работ и должен содержать следующие разделы:

- название и цель работы;
- краткий конспект основных теоретических положений;
- эскизы всех образцов до и после испытаний;
- диаграммы сжатия (если таковые были вычерчены с помощью диаграммного аппарата испытательной машины);
- подсчёт механических характеристик испытанных материалов;
- результаты испытаний в форме таблицы 3.1.

Таблица 3.1 – Журнал испытаний на сжатие

	Материалы				
	Сталь	Чугун	Цемент	Дерево	
				вдоль волокон	поперек волокон

Эскиз образца до испытаний					
Размеры поперечного сечения					
Эскиз образца после испытаний					
Площадь поперечного сечения $F_0, \text{см}^2$					
$P_{\max}$, кг					
$\sigma_{\text{вр}}$, кг/см ²					

Вопросы для защиты работы

1. Какова цель работы?
2. Какие образцы используются при испытаниях на сжатие?
3. Чем обусловлено определенное соотношение высоты и поперечных размеров образцов при сжатии?
4. Какой вид имеет диаграмма сжатия малоуглеродистой стали?
5. Какие механические характеристики можно определить при испытании пластичной стали на сжатие?
6. Можно ли довести до разрушения образец из пластичной стали при сжатии?

7. Какой вид имеет диаграмма сжатия для чугунного образца? Её отличие от диаграммы растяжения.

8. Порядок определения механических характеристик при испытаниях чугунного образца на сжатие?

9. Каков характер разрушения чугунного образца при сжатии? Чем объясняется приобретение образцом бочкообразной формы?

10. Какие механические характеристики можно определить при испытании цементного кубика на сжатие?

11. Каков характер разрушения при сжатии цементного кубика при наличии и отсутствии сил трения?

12. Какой вид имеют диаграммы для деревянных образцов, испытанных на сжатие вдоль и поперек волокон? В чем различия этих диаграмм?

13. Можно ли довести до разрушения деревянный образец при сжатии поперек волокон?

14. Каков характер разрушения деревянного образца при испытании на сжатие вдоль волокон?

15. Каков порядок проведения испытаний на сжатие и обработки результатов испытаний?

Лабораторная работа 4

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ ЭЛЕМЕНТОВ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ ДОПУСКАЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И РАЗРУШАЮЩИХ НАГРУЗОК

Цель и содержание работы: изучение методик расчета статически неопределимых стержневых систем при растяжении - сжатии методом допускаемых напряжений и методом допускаемых нагрузок.

Теоретическое обоснование

В ряде случаев необходимые для расчета усилия невозможно найти только из уравнений равновесия. Такие задачи называются статически неопределимыми. Степенью статической неопределимости системы называется разность между количеством неизвестных и числом возможных уравнений равновесия.

При решении статически неопределимых задач для вычисления неизвестных усилий составляют дополнительные уравнения, называемые уравнениями совместности деформаций. Количество дополнительных уравнений равно степени статической неопределимости системы.

Дополнительные уравнения составляются после изучения деформаций, которые испытывает конструкция при ее нагружении. Всегда можно составить необходимое количество дополнительных уравнений, чтобы полное число уравнений вместе с уравнениями статики равнялось числу неизвестных.

Дополнительные уравнения оставляются на основании одного общего принципа – они должны выражать условия совместности деформаций элементов системы.

Всякая конструкция, чтобы не потерять своей работоспособности, деформируется так, что не происходит разрывов стержней, отделения их друг от друга или не предусмотренных схемой сооружения перемещений одной части конструкции относительно другой. В этом и заключается совместность деформаций элементов системы.

Методика расчета статически неопределимых стержневых систем включает несколько этапов:

- определяется степень статической неопределимости системы и записываются уравнения статики;
- составляются недостающие уравнения совместности деформаций (перемещений), то есть геометрические зависимости между продольными деформациями отдельных стержней системы;
- деформации выражаются через усилия по закону Гука и подставляются в уравнения перемещений;
- совместно решаются уравнения перемещений и уравнения статики, в результате решения находят продольные усилия в стержнях;
- определяют напряжения в стержнях системы;
- по наибольшему (опасному) напряжению подбирается допускаемая нагрузка.

Для определения предельной грузоподъемности системы следует иметь в виду, что в одном из стержней напряжение больше, чем в остальных. При увеличении нагрузки напряжение в этом стержне достигнет предела текучести раньше, чем в других. Когда это произойдет, напряжение в наиболее нагруженном стержне не будет расти некоторое время даже при увеличении нагрузки, система представляется нагруженной силой, равной

предельной грузоподъемности системы (пока еще неизвестной). Усилие в этом стержне будет равно

$$N_i = \sigma_T \cdot F_i,$$

где σ_T – предел текучести для материала стержня,

F_i – площадь поперечного сечения i – го участка стержня.

При дальнейшем увеличении нагрузки напряжение и в остальных стержнях достигнет предела текучести.

Записав уравнение статики и подставив в него значения усилий N_i , находят предельную грузоподъемность системы $P_{пред}^T$ и допускаемую нагрузку $[P^T]$

$$[P^T] = \frac{P_{пред}^T}{n_T},$$

где n_T – коэффициент запаса прочности.

Аппаратура и материалы: линейка, карандаш, ручка, калькулятор для выполнения инженерных расчетов, тетрадь.

В помещении проведения лабораторных работ должно быть смешанное (естественное и искусственное) освещение, что обеспечивает освещенность в соответствии с требованиями к освещению учебных аудиторий.

В аудитории во время проведения занятий должна поддерживаться температура воздуха 20 ± 5 °С, обеспечиваться работа вентиляции.

Методика и порядок выполнения работы

Для плоской системы сил, изображенной на рисунке 4.1, требуется:

1 определить степень статической неопределимости системы, считая брус *ABC* абсолютно жестким;

2 составить уравнения равновесия;

3 составить уравнения совместности деформаций, установив геометрическую зависимость между продольными деформациями $\Delta \ell_1$ и $\Delta \ell_2$ отдельных стержней 1 и 2;

4 выразить деформации $\Delta \ell_1$ и $\Delta \ell_2$ через усилия N_1 и N_2 по закону Гука;

5 подставить деформации, определенные в п.4, в уравнения статики;

6 решить уравнения статики совместно с уравнениями совместности деформаций, полученными в п.5, выразив предельные усилия в стержнях системы N_1 и N_2 через приложенную силу P ;

7 выполнить энергетическую проверку правильности определения усилий в стержнях, сравнив работу силы P на перемещениях $\Delta \ell_i$ и

потенциальную энергию упругой деформации U всех стержней, входящих в систему;

8 найти напряжения во всех стержнях системы (σ_1 и σ_2);

9 из условия прочности наиболее нагруженного стержня определить допускаемую нагрузку $[P]$, приняв допускаемое напряжение $[\sigma]=160$ МПа;

10 приравняв напряжения во всех стержнях системы к пределу текучести $\sigma_T=240$ МПа, определить усилия в каждом стержне, подставить полученные значения в уравнение статики и определить предельную грузоподъемность системы $P_{пред}^T$ и допускаемую нагрузку $[P^T]$, если коэффициент запаса прочности $n_T=1,5$.

11 сравнить допускаемую нагрузку, определенную по методу допускаемых напряжений $[P]$ с нагрузкой, рассчитанной по методу разрушающих нагрузок $[P^T]$;

12 сделать вывод.

Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать следующие разделы:

- название работы;
- цель и содержание работы;
- расчетную схему (рисунок 4.1);
- схему деформации конструкции с подробным описанием характера деформации;
- вычисления по определению всех промежуточных величин по пунктам 1 – 11 с указанием размерности;

○ выводы с указанием, какой из изученных методов расчета дает более экономичное решение и почему.

Вопросы для защиты работы

1. Какое напряжение называется допускаемым, как определяют допускаемые напряжения для пластичных и хрупких материалов?
2. Что называется коэффициентом запаса прочности?
3. Каковы могут быть численные значения коэффициента запаса прочности?
4. Сформулируйте условие прочности, запишите условие прочности при растяжении (сжатии).
5. Какие виды расчетов можно производить по условию прочности?
6. Какие системы (конструкции) называются статически неопределимыми?
7. Что называется уравнением совместности деформаций?
8. Каков порядок решения статически неопределимых задач?
9. В чем заключается метод расчета по допускаемым напряжениям?
10. В чем заключается метод расчета по разрушающим нагрузкам?
11. Как определить предельную грузоподъемность системы?
12. По заданию преподавателя раскрыть статическую неопределимость двух- или трехстержневой системы.

Лабораторная работа 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ СЕЧЕНИЙ

Цель и содержание работы: изучение геометрических характеристик плоских симметричных сечений, составленных из нескольких простейших геометрических фигур.

Теоретическое обоснование

При расчетах элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость часто возникает необходимость определения геометрических характеристик поперечных сечений сложной формы, которые зависят не только от формы и размеров самих сечений, но и от расположения осей и полюсов, относительно которых они определяются. В силу своего узкого прикладного значения геометрические характеристики сечений изучаются не в общем курсе геометрии, а в курсе сопротивления материалов.

Простейшей геометрической характеристикой сечения является его площадь. Для сложной фигуры площадь вычисляется путем интегрирования

$$F = \int_F dF. \quad (5.1)$$

Статическим моментом сечения относительно некоторой оси называется взятая по всей площади F сумма произведений площадей элементарных площадок dF на их расстояния до этой оси

$$S_x = \int_F y \cdot dF; \quad S_y = \int_F x \cdot dF. \quad (5.2)$$

Размерность статического момента м^3 , см^3 , мм^3 . Кроме рассмотренных геометрических характеристик в расчетах на прочность широко используются моменты инерции сечений.

Осевым (экваториальным) моментом инерции сечения относительно некоторой оси x или y называется взятая по всей площади F сумма произведений элементарных площадок dF на квадраты их расстояний до этой оси

$$I_x = \int_F y^2 dF; \quad I_y = \int_F x^2 dF, \quad (5.3)$$

где x и y – расстояния от элементарной площадки, выбранной в пределах данного сечения, до соответствующей оси (рисунок 5.1).

Полярным моментом инерции сечения относительно некоторого полюса (точки) называется взятая по всей площади F сумма произведений элементарных площадок dF на квадраты их расстояний до этого полюса ρ

$$I_{\rho} = \int_F \rho^2 dF . \quad (5.4)$$

Центробежным моментом инерции сечения относительно двух взаимно перпендикулярных осей x и y называется взятая по всей площади F сумма произведений элементарных площадок dF на расстояния до этих осей

$$I_{xy} = \int_F xy dF.$$

(5.5)

Размерность осевого, полярного и центробежного моментов инерции сечений м^4 , см^4 , мм^4 .

В таблице 5.1 приведены осевые моменты инерции наиболее распространенных геометрических фигур. Оси x и y для всех фигур проходят через центры тяжести сечений C .

Осевым моментом сопротивления сечения называется частное от деления осевого момента инерции, взятого относительно этой же оси, на расстояние $y_{\max}$ или $x_{\max}$ от рассматриваемой оси до наиболее удаленной точки сечения

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}}; W_y = \frac{I_y}{x_{\max}}. \quad (5.6)$$

Таблица 5.1 – Моменты инерции простейших геометрических фигур

Форма, размеры и положение центра тяжести сечения	Осевые моменты инерции сечения	
	I_x	I_y
Ошибка! Раздел не указан.	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{hb^3}{12}$
Ошибка! Раздел не указан.	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{hb^3}{48}$

Продолжение таблицы 5.1

Форма, размеры и положение центра тяжести сечения	Осевые моменты инерции сечения
---	--------------------------------

	I_x	I_y
	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{hb^3}{36}$
	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^4}{64}$
	$0,11r^4$	$\frac{\pi d^4}{128} = \frac{\pi r^4}{8}$

С изменением положения системы координат изменяются по величине геометрические характеристики сечений. При параллельном переносе осей координат осевые и центробежный моменты инерции преобразуются в соответствии с формулой Гюйгенса и определяются из выражений (5.7).

$$\begin{aligned}
 I_{x_1} &= I_x + a^2 \cdot F, \\
 I_{y_1} &= I_y + b^2 \cdot F; \\
 I_{x_1 y_1} &= I_{xy} + ab \cdot F; \\
 I_x &= I_{x_1} + I_{x_2} + I_{x_3} + \dots + I_{x_n}.
 \end{aligned} \tag{5.7}$$

В выражениях (5.7) a и b – расстояния между горизонтальными и вертикальными осями соответственно (рисунок 5.2). При этом следует помнить, что оси x и y проходят через центр тяжести сечения, то есть являются центральными. В противном случае выражения (5.7) будут несправедливы.

Определить центр тяжести сложного сечения можно экспериментально или теоретически.

Для экспериментального определения положения центра тяжести сечения нужно подвесить образец в произвольной точке, с помощью отвеса отбить вертикальную линию; изменить точку подвеса, вновь отбить отвесом вертикальную прямую; повторно изменить точку подвеса, отбить отвесом вертикальную прямую; на пересечении отбитых линий отметить центр тяжести сечения.

Для теоретического определения положения центра тяжести сложного сечения его разбивают на простые фигуры (прямоугольник, треугольник, круг, полукруг). Координаты центра тяжести определяются по известным из теоретической механики зависимостям

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n S_{Y_i}}{\sum_{i=1}^n F_i} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n F_i};$$

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n S_{X_i}}{\sum_{i=1}^n F_i} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n F_i},$$
(5.8)

где x_c, y_c – координаты центра тяжести сложного сечения;

x_i, y_i – координаты центров тяжести простейших фигур, на которые разбито сечение, подставляются в выражения (5.8) с учетом знаков.

В формулах (5.8) координаты x_i и y_i и площади F_i могут иметь положительный и отрицательный знак. При наличии отверстий или вырезов в сечениях значения площадей подставляются с отрицательным знаком.

Две взаимно перпендикулярных оси, относительно которых центробежный момент инерции равен нулю, называются главными осями инерции, а осевые моменты инерции относительно этих осей – главными моментами инерции.

Через любую точку сечения всегда можно провести две взаимно перпендикулярные главные оси. Как правило, практическое значение имеют главные оси, проходящие через центр тяжести; они называются главными центральными осями инерции.⁵ Эти оси принято обозначать u и v . Моменты инерции относительно главных центральных осей (I_u и I_v) называются главными центральными моментами инерции.

Главные оси u и v характерны тем, что относительно одной из них осевой момент инерции максимален, а относительно другой – минимален по сравнению с моментами инерции относительно любых других осей, проходящих через ту же точку.

Для сечений, имеющих одну или несколько осей симметрии, положение главных осей определяется на следующих основаниях:

- если сечение имеет ось симметрии, то эта ось и любая другая ось, ей перпендикулярная, образуют систему главных осей;
- если сечение имеет две оси симметрии, то эти оси симметрии являются главными центральными осями инерции сечения;
- если сечение имеет три и более осей симметрии, то любая центральная ось сечения является главной и все главные центральные моменты инерции сечения равны между собой.

⁵ Иногда эти оси называют главными центральными осями.

Аппаратура и материалы: макет образца исследуемого сечения, отвес, шило, линейка, карандаш, ручка, калькулятор для выполнения инженерных расчетов, тетрадь.

Указания по технике безопасности

В помещении проведения лабораторных работ должно быть смешанное (естественное и искусственное) освещение, что обеспечивает освещенность в соответствии с требованиями к освещению учебных аудиторий.

В аудитории во время проведения занятий должна поддерживаться температура воздуха 20 ± 5 °С, обеспечиваться работа вентиляции.

Методика и порядок выполнения работы

Для заданного симметричного сечения (рисунок 5.3), требуется:

- 1) экспериментально определить положение центра тяжести сечения;
- 2) для теоретического определения положения центра тяжести сечения необходимо вычертить заданное сечение в масштабе, нанести на него систему координат XOY так, чтобы ось Y являлась одновременно осью симметрии сечения;
- 3) разбить заданное сечение на простейшие (прямоугольник, треугольники, полукруг), определить площадь каждой простой фигуры F_i и площадь всей фигуры F ;

4) нанести на схему центры тяжести каждой простой фигуры C_i и провести через них координатные оси X_i и Y_i , параллельные ранее выбранным осям X и Y ;

5) определить координаты центра тяжести каждой из фигур в предварительно выбранной случайной системе координат XOY ;

6) по схеме найти расстояния y_i между осями X и X_i ; и расстояния x_i между осями Y и Y_i ;

7) по формулам (5.2) вычислить статические моменты каждой простой фигуры относительно ранее выбранных случайных осей X и Y ;

8) по формулам (5.8) вычислить координаты центра тяжести сечения x_C и y_C ; сравнить расчетные значения с экспериментальными, полученными в п.1, определить погрешность измерений;

9) отметить на схеме положение центра тяжести фигуры точки C и провести через нее координатные оси X_C и Y_C , параллельные осям X и Y ;

10) найти расстояния между осями X_C и X_i : $a_i = y_i - y_C$ и показать их на чертеже;

11) найти расстояния между осями Y_C и Y_i : $b_i = x_i - x_C$ и показать их на чертеже;

12) пользуясь таблицей 5.1, вычислить осевые I_{x_i} , I_{y_i} и центробежный $I_{x_i y_i}$ моменты инерции каждой простой фигуры относительно ее собственных главных центральных осей инерции $X_i C_i Y_i$;

13) по формулам (5.7) вычислить моменты инерции всей фигуры относительно главных центральных осей инерции X_C и Y_C ;

14) найти моменты сопротивления сечения в главных осях инерции по формулам (5.6).

Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать следующие разделы:

- название работы;
- цель и содержание работы;
- расчетную схему сечения в масштабе ($M\ 1:1$ либо $M\ 1:2$) с нанесенными размерами и осями, используемыми в расчете, и расстояниями между ними;
- вычисления по определению всех геометрических характеристик каждого сечения (статических моментов, координат центра тяжести; осевых и центробежного моментов инерции; осевых моментов сопротивления относительно главных центральных осей);
- выводы о расположении плоскости максимальной и минимальной жесткости.

Вопросы для защиты работы

1. Относительно каких осей следует определять моменты сопротивления и моменты инерции сечения при изгибе?
2. Какие оси называются главными и центральными?
3. Как определить положение центра тяжести сложного сечения?
4. Какой знак имеют осевые моменты инерции сечения?
5. Как определить моменты инерции сечения относительно параллельных осей, одни из которых центральные?
6. Какие моменты инерции называются главными?

7. Чему равны осевые моменты инерции прямоугольника, круга, квадрата, треугольника, полукруга относительно их главных осей инерции?
8. Что называется осевым моментом сопротивления сечения?
9. По заданию преподавателя определить геометрические характеристики (моменты инерции и моменты сопротивления) сечения, составленного из простых геометрических фигур.

Лабораторная работа 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ СЕЧЕНИЙ, СОСТАВЛЕННЫХ ИЗ ПРОКАТНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Цель и содержание работы: изучение геометрических характеристик плоских симметричных сечений, составленных из нескольких простейших геометрических фигур.

Теоретическое обоснование

Через центр тяжести фигуры сечения проведем систему координат XOY . При повороте координатных осей осевые моменты инерции преобразуются по формулам (6.1), а центробежные моменты инерции преобразуются в соответствии с выражением (6.2).

Угол α при этом отсчитывается от оси x ; положительные значения угла α откладываются против часовой стрелки.

$$\begin{aligned} I_{X_1} &= I_X \cos^2 \alpha + I_Y \sin^2 \alpha - I_{XY} \sin 2\alpha, \\ I_{Y_1} &= I_Y \cos^2 \alpha + I_X \sin^2 \alpha + I_{XY} \sin 2\alpha, \end{aligned} \quad (6.1)$$

$$I_{X_1 Y_1} = \frac{I_X - I_Y}{2} \sin 2\alpha + I_{XY} \cos 2\alpha. \quad (6.2)$$

Положение главных осей сложного сечения определяют по формуле

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = - \frac{2I_{X_0 Y_0}}{I_{X_0} - I_{Y_0}} = \frac{2I_{X_0 Y_0}}{I_{Y_0} - I_{X_0}}. \quad (6.3)$$

Поворачивая оси, можно найти такое положение, при котором осевые моменты инерции принимают экстремальные значения, а центробежный момент инерции становится равным нулю. Такие оси называются главными, а моменты инерции относительно этих осей называются главными центральными моментами инерции. Оси симметрии всегда являются главными осями.

Угол α_0 необходимо отложить от оси x_0 против часовой стрелки, если он положителен, и по ходу часовой стрелки, если он отрицателен. Формула (6.3) дает два значения угла: α_0 и $\alpha_0 + 90^\circ$, которые определяют положение двух взаимно перпендикулярных главных центральных осей инерции U и V . Угол α_0 дает положение главной оси, относительно которой момент инерции имеет максимальное значение при $I_{xc} > I_{yc}$ и минимальное при $I_{xc} < I_{yc}$.

Величина главных моментов инерции определяется по формулам (6.4), из которых следует, что если $I_x = I_y$, то любая центральная ось будет

главной, и все главные центральные моменты инерции будут равны между собой.

$$\begin{aligned} I_{\max} &= \frac{I_{X_C} + I_{Y_C}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(I_{X_C} - I_{Y_C})^2 + 4I_{X_C Y_C}^2}; \\ I_{\min} &= \frac{I_{X_C} + I_{Y_C}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(I_{X_C} - I_{Y_C})^2 + 4I_{X_C Y_C}^2}. \end{aligned} \quad (6.4)$$

При использовании формул (6.3) и (6.4) значения центробежного момента инерции I_{xyc} необходимо подставлять с учетом его знака. Если $I_{xyc} < 0$, то главная ось, относительно которой момент инерции имеет наибольшее значение, проходит через 1-й и 3-й, а при $I_{xyc} > 0$ – через 2-й и 4-й квадранты.

Для определения моментов инерции сложных сечений, составленных из прокатных профилей, необходимо:

- разбить сечение на простые фигуры (прокатные профили);
- выписать из таблиц сортамента прокатной стали геометрические характеристики сечений стандартных профилей;
- определить положение центра тяжести сложного сечения и через него провести центральные оси; координаты центра тяжести сложного сечения, состоящего из n простых прокатных профилей, определяются по формулам (5.8);
- определить осевые и центробежные моменты инерции относительно центральных осей X_C, Y_C , используя формулы (5.7);
- определить угол поворота главных осей U и V относительно центральных осей X_C, Y_C , используя формулу (6.3);

○ определить главные центральные моменты инерции сложного сечения по формулам (6.4).

Для определения положения главных осей и величины главных моментов инерции необходимо знать центробежные моменты инерции каждого прокатного профиля, входящего в сечение. Центробежные моменты инерции швеллера и двутавра равны нулю. В таблицах сортамента последних лет приведены значения центробежных моментов инерции уголков, в ранее изданных таблицах такие данные отсутствуют.

Если известны величины главных моментов инерции I_x и I_y и положение осей x_0 и y_0 относительно главных осей, то центробежный момент инерции может быть найден по формуле

$$I_{\bar{o}_0\bar{o}_0} = \frac{I_x - I_y}{2} \sin 2\alpha. \quad (6.5)$$

Центробежный момент инерции можно вычислить, зная величины трех осевых моментов инерции I_{x_0} , I_{y_0} и $I_{x_0'}$ и угол α (рисунок 6.2)

$$I_{x_0y_0} = \frac{I_{x_0} \cos^2 \alpha - I_{y_0} \sin^2 \alpha - I_{x_0'} \sin 2\alpha}{\sin 2\alpha}. \quad (6.6)$$

Если известны величины осевых моментов инерции I_x , I_y , I_{x_0} , I_{y_0} относительно главных осей x и y и относительно осей x_0 и y_0 , то центробежный момент инерции относительно осей x_0 и y_0 может быть вычислен по одной из формул (6.7), (6.8) или (6.9). Знак в правой части этих формул перед радикалом зависит от знака центробежного момента инерции.

$$I_{x_0 y_0} = \pm \sqrt{I_{X_0} I_{Y_0} - I_X I_Y}, \quad (6.7)$$

$$I_{x_0 y_0} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{(I_X - I_Y)^2 - (I_{X_0} - I_{Y_0})^2}, \quad (6.8)$$

$$I_{x_0 y_0} = \pm \sqrt{(I_{X_0} - I_Y)(I_{Y_0} - I_X)} = \pm \sqrt{(I_X - I_{X_0})(I_X - I_{Y_0})}. \quad (6.9)$$

Если известно расположение главных осей инерции, то знак центробежного момента определяется по следующему правилу: центробежный момент инерции положителен, если ось с максимальным моментом инерции проходит через 2-й и 4-й квадранты и отрицателен, если эта ось проходит через 1-й и 2-й квадранты.

На рисунке 6.2 для иллюстрации приведенного правила дано четыре варианта расположения равнобокого уголка с указанием знака для центробежного момента инерции.

Чтобы найти величину центробежного момента инерции равнобокого уголка 100×100×10 мм по ГОСТ 8509-57 относительно центральных осей x_0 и y_0 (рисунок 6.3), необходимо выписать из таблицы сортамента необходимые для расчета данные

$$I_{max}=I_x=284 \text{ см}^4;$$

$$I_{min}=I_y=74,1 \text{ см}^4.$$

По формуле (6.5)

$$I_{x_0y_0} = \frac{I_x - I_y}{2} \sin 2\alpha = \frac{284 - 74,1}{2} \sin(-90^\circ) \approx -105 \text{ см}^4.$$

Чтобы вычислить центробежный момент инерции неравнобокого уголка 100×63×8 мм по ГОСТ 8510-57 относительно центральных осей x_0 и y_0 (рисунок 6.4), следует выписать из таблицы сортамента необходимые для расчета данные

$$I_{x_0}=127 \text{ см}^4;$$

$$I_{y_0}=39,2 \text{ см}^4;$$

$$I_y=23,4 \text{ см}^4;$$

$$\operatorname{tg} \alpha=0,391.$$

Находим:

$$\alpha=21^\circ 21';$$

$$\operatorname{Cos} \alpha=\operatorname{Cos} 21^\circ 21'=0,931;$$

$$\sin \alpha = \sin(-21^\circ 21') = -0,364;$$

$$\sin 2\alpha = \sin(-42^\circ 42') = -0,678;$$

$$I_x = I_{x_0} + I_{y_0} - I_y = 127 + 39,2 - 23,4 = 142,8 \text{ см}^4.$$

По формуле (6.5)

$$I_{x_0 y_0} = \frac{I_x - I_y}{2} \sin 2\alpha = \frac{142,8 - 23,4}{2} \cdot (-0,678) \approx -40,5 \text{ см}^4$$

По формуле (6.6)

$$\begin{aligned} I_{x_0 y_0} &= \frac{I_x \cos^2 \alpha - I_y \sin^2 \alpha - \sin 2\alpha}{\sin 2\alpha} \\ &= \frac{127 \cdot 0,931^2 + 39,2(-0,364)^2 - 142,8}{0,678} \approx -40,5 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

По формуле (6.9)

$$\begin{aligned} I_{x_0 y_0} &= -\sqrt{(I_{x_0} - I_y)(I_{y_0} - I_y)} = \\ &= -\sqrt{(127,0 - 23,4)(39,2 - 23,4)} \approx -40,5 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

Аппаратура и материалы: линейка, карандаш, ручка, калькулятор для выполнения инженерных расчетов, тетрадь.

Указания по технике безопасности

В помещении проведения лабораторных работ должно быть смешанное (естественное и искусственное) освещение, что обеспечивает освещенность в соответствии с требованиями к освещению учебных аудиторий.

В аудитории во время проведения занятий должна поддерживаться температура воздуха 20 ± 5 °С, обеспечиваться работа вентиляции.

Методика и порядок выполнения работы

Для заданного сечения (рисунок 6.5), требуется:

1) из таблиц сортамента прокатной стали выписать геометрические характеристики каждого прокатного профиля, входящего в сечение: площадь F_i , осевые I_{xi} ; I_{yi} и центробежный I_{xiyi} моменты инерции, координаты центра тяжести, размеры, требуемые для вычерчивания профиля;

2) вычертить заданное сечение в масштабе, нанести на него систему координат XOY ; для упрощения расчетов лучше использовать систему координат симметричного профиля (швеллера или двутавра);

3) нанести на схему центры тяжести каждой простой фигуры C_i и провести через них координатные оси X_i и Y_i , параллельные ранее выбранным осям X и Y ;

4) определить координаты центра тяжести каждой из фигур, в предварительно выбранной случайной системе координат XOY ;

5) по схеме найти расстояния y_i между осями X и X_i ; и расстояния x_i между осями Y и Y_i ;

6) вычислить статические моменты инерции каждой простой фигуры относительно ранее выбранных случайных осей X и Y ;

7) по формулам (6.1) вычислить координаты центра тяжести сечения x_C и y_C ;

8) найти расстояния между осями X_C и X_i : $a_i = y_i - y_C$ и показать их на чертеже;

9) найти расстояния между осями Y_C и Y_i : $b_i = x_i - x_C$ и показать их на чертеже;

10) вычислить осевые I_{X_C} , I_{Y_C} и центробежный $I_{X_C Y_C}$ моменты инерции всей фигуры относительно центральных осей X_C и Y_C по формулам (5.7);

11) найти положение главных центральных осей инерции всего сечения U и V по формуле (6.3);

12) определить значения максимального и минимального моментов инерции сечения по формулам (6.4);

13) проверить правильность расчетов геометрических характеристик сечения по формулам:

$$I_{\max} + I_{\min} = I_{X_C} + I_{Y_C}; \quad I_{\max} \cdot I_{\min} = I_{X_C} \cdot I_{Y_C} - I_{X_C Y_C}^2;$$

при верно выполненных расчетах погрешность не должна превышать $\pm 5\%$;

14) определить точки сечения, наиболее удаленные от главных центральных осей инерции U и V и определить координаты этих точек в системе координат $X_C Y_C$, после чего вычислить координаты этих же точек U_{max} и V_{max} в системе координат U и V , воспользовавшись известными математическими зависимостями

$$U_{max} = x_C \cos \alpha - y_C \sin \alpha; \quad V_{max} = x_C \sin \alpha + y_C \cos \alpha;$$

15) по формулам (5.6) найти осевые моменты сопротивления сечения относительно главных центральных осей инерции.

Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать следующие разделы:

- название работы;
- цель и содержание работы;
- расчетные схемы сечений в масштабе (М 1:1 либо М 1:2) с нанесенными размерами и осями, используемыми в расчете, и расстояниями между ними;
- вычисления по определению всех геометрических характеристик каждого сечения (координат центра тяжести; осевых моментов инерции; центробежных моментов инерции; осевых моментов сопротивления относительно главных осей);
- выводы.

Вопросы для защиты работы

1. Относительно каких осей следует определять моменты сопротивления и моменты инерции сечения при изгибе?
2. Какие оси называются главными?
3. Какие оси называются центральными?
4. Какие оси называются главными центральными?
5. Какой знак имеют осевые моменты инерции сечения?
6. Как определить знак центробежного момента инерции уголка?
7. Какие моменты инерции называются главными?
8. На какой угол необходимо повернуть центральные оси, чтобы они стали главными?
9. По каким формулам можно определить главные центральные моменты инерции?
10. Что называется осевым моментом сопротивления сечения?
11. По заданию преподавателя определить геометрические характеристики (моменты инерции и моменты сопротивления) сечения, составленного из прокатных профилей.

Лабораторная работа 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ СДВИГА

Цель и содержание работы: экспериментальное определение модуля упругости второго рода (модуля сдвига) при кручении стального образца.

Теоретическое обоснование

При расчёте на прочность и жёсткость конструкций, испытывающих деформации сдвига, необходимо знать величину модуля сдвига G . Эта физическая постоянная материала может быть определена экспериментально при кручении бруса круглого поперечного сечения.

При испытании материалов на кручение зависимость между крутящим моментом $M_{кр}$ и углом закручивания φ характеризуется диаграммой кручения (рисунок 1), на которой, как при растяжении, можно выделить линейный участок, где выполняется закон Гука

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (7.1)$$

Модуль сдвига G в выражении (7.1) представляет собой коэффициент пропорциональности между касательными напряжениями τ и

относительным углом сдвига γ . С физической точки зрения G характеризует сопротивляемость материала упругим деформациям сдвига.

Если на цилиндрическую поверхность стержня нанести равномерную сетку из образующих и окружностей (рисунок 7.2 а), то после приложения крутящего момента можно заметить, что каждое поперечное сечение поворачивается относительно другого вокруг продольной оси стержня на некоторый угол φ , называемый углом закручивания. Образующие поворачиваются на один и тот же угол γ . При этом линейные размеры не изменяются, а первоначально прямые углы между линиями сетки изменяются (квадраты превращаются в ромбы, как показано на рисунке 7.2 б). Следовательно, в стержне возникают деформации сдвига. Величина φ определяется через крутящий момент $M_{кр}$, длину участка ℓ и полярный момент инерции I_p по формуле

$$\varphi = \frac{M_{\text{кр}} \cdot \ell}{G \cdot I_D} . \quad (7.2)$$

Для бруса, имеющего несколько участков, взаимный угол закручивания концевых сечений определяется как алгебраическая сумма углов закручивания на каждом участке

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \frac{M_{\partial i} \cdot \varphi_i}{G_i \cdot I_{\partial i}}. \quad (7.3)$$

Если все участки выполнены из одного и того же материала, а крутящий момент на всех участках одинаков, то выражение (7.3) примет вид:

$$\varphi = \frac{M_{\partial}}{G} \sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{I_{\partial i}}. \quad (7.4)$$

Аппаратура и материалы

Испытания проводятся на машине КМ-50-I, предназначенной для статических испытаний на кручение образцов круглого и прямоугольного поперечного сечения.

Указания по технике безопасности

В помещении проведения лабораторных работ должно быть смешанное (естественное и искусственное) освещение, что обеспечивает освещенность в соответствии с требованиями к освещению учебных аудиторий.

В аудитории во время проведения занятий должна поддерживаться температура воздуха 20 ± 5 °С, обеспечиваться работа вентиляции.

Методика и порядок выполнения работы

1. Перед началом опыта у испытываемого образца (рисунок 7.3) измеряются диаметры (d_1 и d_2), и длины каждого участка (ℓ_1 и ℓ_2). После этого образец помещается в захваты машины.

2. Образец предварительно нагружается внешним моментом M_0 , величина которого контролируется по шкале силоизмерительного механизма крутильной машины (шкала А).

3. По лимбу машины измеряется угол закручивания φ_0 в градусах, соответствующий внешнему моменту M_0 . Значение M_0 и φ_0 записываются в журнал наблюдений (Таблица 7.1).

4. Образец нагружается рабочей нагрузкой M_p (не более 7 кг·м) и измеряется соответствующий угол закручивания φ . Значения M_p и φ заносятся в журнал наблюдений.

5. Опыт повторяется три раза, величины M_0 и M_p для каждого опыта задаются преподавателем. Перед началом каждого опыта нагрузка полностью снимается.

6. Полученные данные заносятся в таблицу 7.5, определяются средние значения M_{cp} , φ_{cp} и находится модуль сдвига G_{on} .

7. Найденная опытная величина G_{on} сравнивается со значением модуля сдвига, полученного в лабораторной работе 2.

Содержание отчета и его форма

1. Записать название и цель работы, кратко законспектировать основные теоретические положения.

2. Вычертить эскиз образца (рисунок 7.3),

3. Результаты измерений занести в таблицу (таблица 7.1)

Таблица 7.1 – Журнал испытаний

№ опыта	M , кг·м	φ , град	$\square M$, кг·м	$\square \varphi$, град
1				
2				
3				
Средние значения				

4. Привести результаты расчетов по форме:

$$\ell_1 = \quad d_1 = \quad I_{p1} = 0,1 \cdot d_1^4 =$$

$$\ell_2 = \quad d_2 = \quad I_{p2} = 0,1 \cdot d_2^4 =$$

$$G^{\varphi} = \frac{180}{\pi} \frac{\Delta M}{\Delta l} \frac{1}{\varphi} \left(\frac{\varphi_1}{\delta_1} + \frac{\varphi_2}{\delta_2} \right) =$$

5. Сделать вывод по работе.

Вопросы для защиты работы

1. Какой вид имеет диаграмма кручения малоуглеродистой стали?
2. Как записывается закон Гука при кручении?
3. Физический, алгебраический и геометрический смысл модуля сдвига.
4. Дать понятие угла закручивания φ и угла сдвига γ .
5. Как записывается формула для определения угла закручивания?
6. От чего зависит модуль сдвига?
7. Дать определение полярного момента инерции сечения.

Лабораторная работа 8

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ БАЛКИ ПРИ ЧИСТОМ ИЗГИБЕ

Цель и содержание работы: экспериментальная проверка формулы определения нормальных напряжений при чистом изгибе балки.

Теоретическое обоснование

Изгиб представляет собой деформацию, при которой ось бруса и его продольные волокна изменяют кривизну. В общем случае при изгибе в поперечных сечениях возникают два внутренних силовых фактора: изгибающий момент и поперечная сила. Такой вид изгиба называется поперечным изгибом. Частный случай изгиба, при котором в поперечных сечениях бруса возникает только изгибающий момент, называется чистым изгибом. Брус, работающий на изгиб, называется балкой.

Чистый изгиб может возникать при различных внешних нагрузках. Рассмотрим одну из наиболее распространенных схем нагружения балки, при которой реализуется чистый изгиб (рисунок 8.1). Как видно из эпюр поперечных сил и изгибающих моментов, в поперечных сечениях балки на среднем участке возникает только изгибающий момент, следовательно, этот участок находится в состоянии чистого изгиба.

В случае, когда плоскость изгибающего момента (силовая плоскость) совпадает с главной плоскостью инерции балки, прямолинейная ось балки искривляется в той же плоскости. Такой изгиб называется прямым или плоским. При изгибе продольные волокна изменяют свою длину, причём волокна на выпуклой стороне балки удлиняются, а на вогнутой укорачиваются. Между растянутыми и сжатыми волокнами располагается нейтральный слой, длина которого при деформации не изменяется. Линия пересечения нейтрального слоя с поперечным сечением балки называется нейтральной осью.

Для определения деформаций волокон при чистом изгибе используется гипотеза плоских сечений (гипотеза Бернулли), согласно которой сечения плоские и перпендикулярные к оси балки до деформации остаются плоскими и перпендикулярными к изогнутой оси бруса после деформации. Согласно этой гипотезе, деформации продольных волокон прямо пропорциональны их расстоянию от нейтрального слоя и в поперечных сечениях балки возникают только нормальные напряжения. Введём гипотезу об одноосном напряженном состоянии, согласно которой продольные волокна не давят друг на друга, т. е. напряжения в направлении, перпендикулярном оси балки, равны нулю. Тогда в соответствии с законом Гука нормальные напряжения в поперечном сечении балки также изменяются по линейному закону и равны:

$$\sigma_y = \frac{M}{I_x} \cdot y, \quad (8.1)$$

где M – изгибающий момент в рассматриваемом сечении балки;

I_x – осевой момент инерции поперечного сечения балки относительно нейтральной оси (нейтральная ось совпадает с главной центральной осью инерции сечения);

y – расстояние от точки сечения, в которой определяются напряжения, до нейтральной оси.

Эпюра нормальных напряжений для двутаврового сечения представлена на рисунке 8.2. Знаки, проставленные на эпюре, соответствуют

положительному изгибающему моменту. Наибольшие нормальные напряжения возникают в точках, наиболее удаленных от нейтральной оси.

$$\sigma_{\max} = \left| \frac{M(z)}{I_x} \cdot y_{\max} \right| = \frac{M(z)}{W_x}, \quad (8.2)$$

где W_x – осевой момент сопротивления сечения. Момент сопротивления является геометрической характеристикой поперечного сечения балки, определяющей её прочность при изгибе.

Аппаратура и материалы

Установка для испытаний (рисунок 8.3) представляет собой стальную двутавровую балку (двутавр №10 ГОСТ 8239-72), опирающуюся на две шарнирные опоры 2. На балке установлены тензометры Гутенберга A и B , как показано на рисунке 8.3.

Таблица 8.1 – Основные размеры и геометрические характеристики балки

h , см	b , см	I_x , см ⁴	W_x , см ³
10	5,5	198	39,7

Вращая штурвал 4 по часовой стрелке через систему рычагов и винтовую пару, нагружают балку (рисунок 8.3). При этом средний участок балки находится в состоянии чистого изгиба; измерение нагрузки производится динамометром 5.

Относительная деформация может быть определена по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{\square_0 \cdot K}, \quad (8.3)$$

где Δ – показания тензометра Гутенбергера;

$K = 1000$ – коэффициент увеличения $\ell_0 = 20$ мм, а соответствующие нормальные напряжения по закону Гука

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{E \cdot \Delta}{K \cdot \square_0}. \quad (8.4)$$

Указания по технике безопасности

В помещении проведения лабораторных работ должно быть смешанное (естественное и искусственное) освещение, что обеспечивает освещенность в соответствии с требованиями к освещению учебных аудиторий.

В аудитории во время проведения занятий должна поддерживаться температура воздуха 20 ± 5 °С, обеспечиваться работа вентиляции.

Методика и порядок выполнения работы

1. Перед началом испытаний установить два тензометра Гутенберга на среднюю часть балки. Тензометр, установленный на верхних волокнах, назовем A , а тензометр установленный на нижних волокнах – B (рисунок 8.3).

2. Загрузить балку условно «нулевой» нагрузкой и произвести измерения по тензометрам A и B . Полученные результаты занести в журнал наблюдений (таблица 8.2).

3. Дать приращение нагрузки ΔP и произвести повторный замер деформации A и B с соответствующей записью в журнал наблюдений.

4. Повторить опыт ещё два раза.

5. Определить опытное значение напряжений в точках A и B по формуле (8.4), предварительно определив средние значения приращений ΔA_{cp} и ΔB_{cp} по всем трем опытам.

6. Найти величину изгибающего момента $M = \frac{\Delta Pa}{2}$.

7. Так как расстояние от нейтральной оси до точек A и B одинаково и равно $y_A = y_B = y_{\max}$, то теоретические напряжения найдём по формуле

$$\sigma_A^B = \pm \frac{M}{W_x}.$$

Содержание отчета и его форма

- Записать название и цель работы, кратко законспектировать основные теоретические положения.
- Начертить рисунки 8.1 и 8.2, таблицу 8.1;
- Заполнить журнал испытаний (таблица 8.2);
- Выполнить расчеты по выражениям теоретического и опытного напряжений;

- Сделать вывод с оценкой расхождений между теоретическими и экспериментальными значениями напряжений.

Вопросы для защиты работы

1. Что называется изгибом?
2. Что называется чистым и поперечным изгибом?
3. Что называется балкой?
4. Что называется прямым или плоским изгибом?
5. Что называется нейтральным слоем и нейтральной осью?
6. Сформулируйте гипотезу плоских сечений (гипотезу Бернулли).
7. Запишите формулу нормальных напряжений в произвольной точке при чистом изгибе.
8. Как вычисляются наибольшие нормальные напряжения при чистом изгибе? Физический смысл момента сопротивления сечения.
9. Построение эпюр $Q(z)$ и $M(z)$ в балках.

Таблица 8.2 – Журнал испытаний

Нагрузка	Показания тензометров		Приращения нагрузки	Приращение	
P , кг	A	B	ΔP , кг	ΔA	ΔB

Средние значения					

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
Сопротивление материалов**

Направление подготовки
Направленность (профиль)

08.03.01 Строительство
Промышленное и гражданское
строительство

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

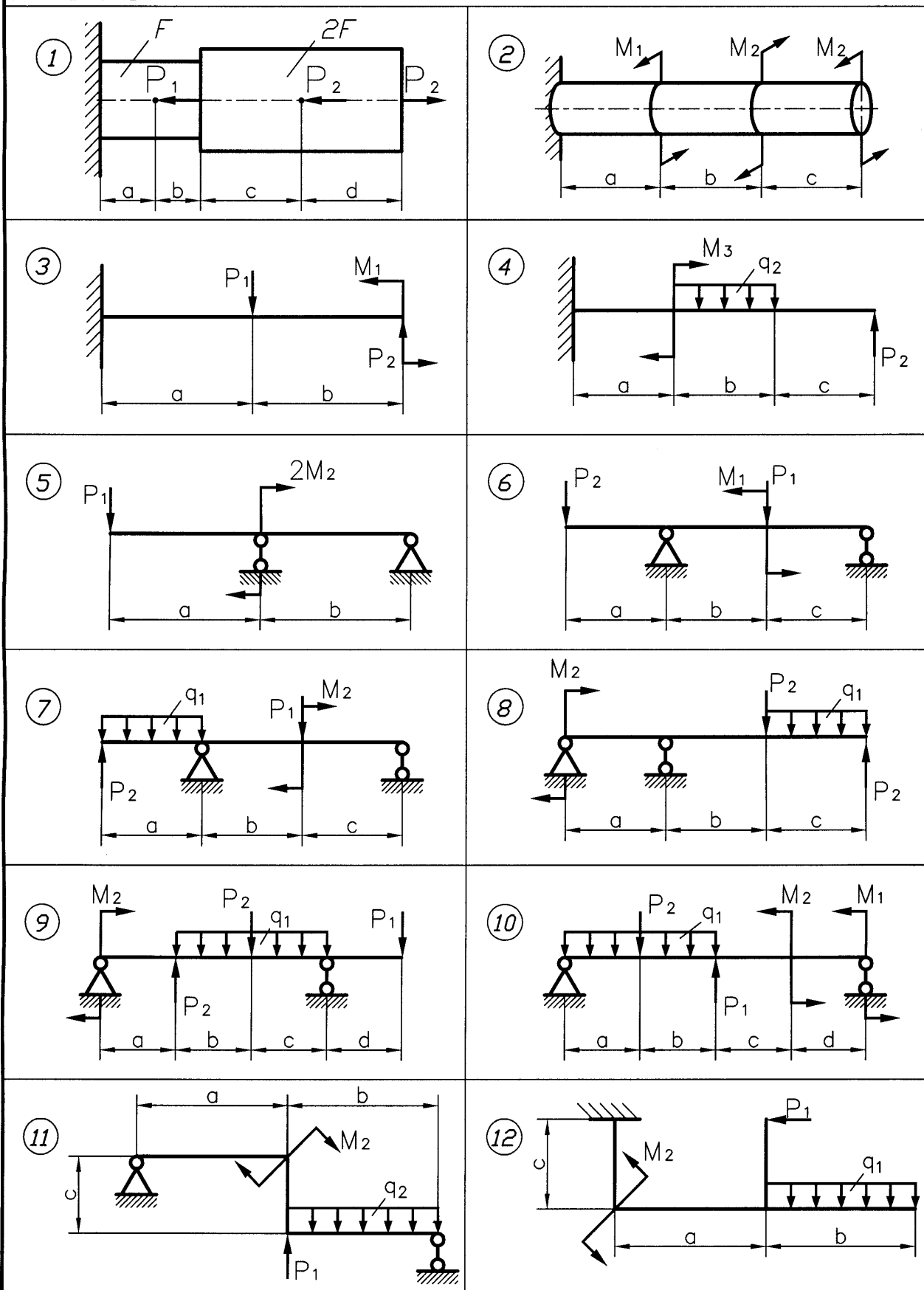
Вариант 2	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 3	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 4	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 5	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

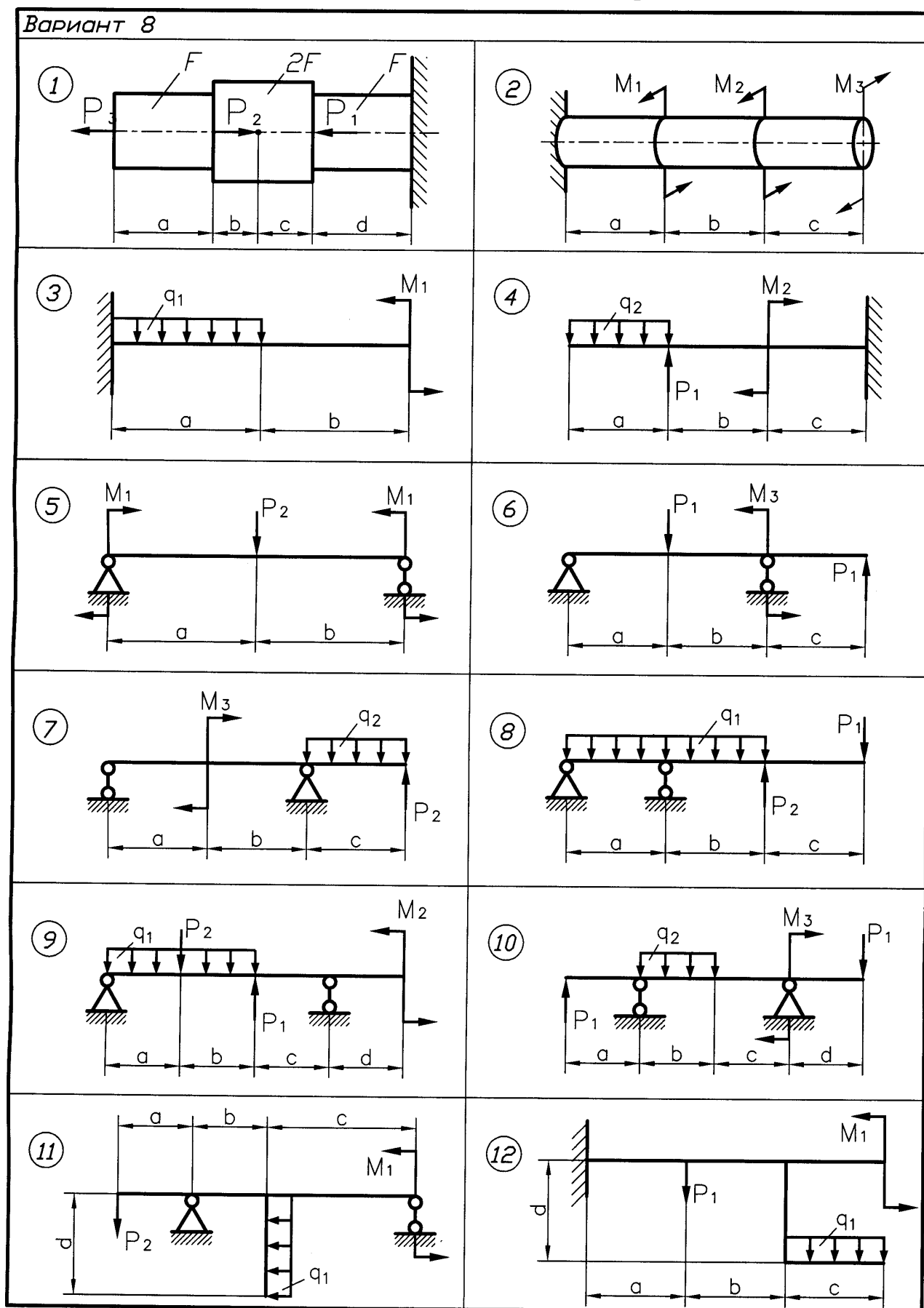
Вариант 6



Вариант 7

①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

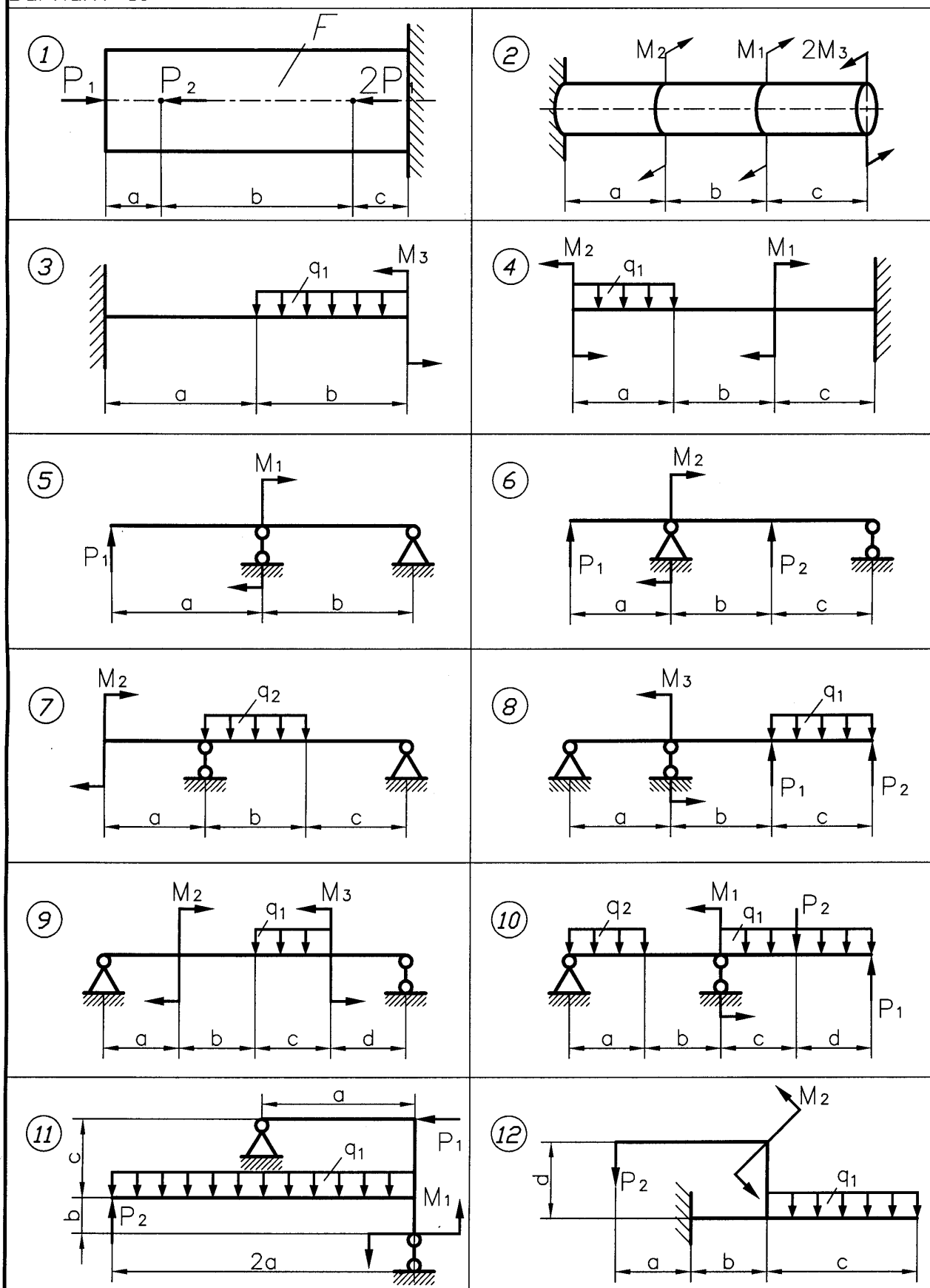
Вариант 8



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

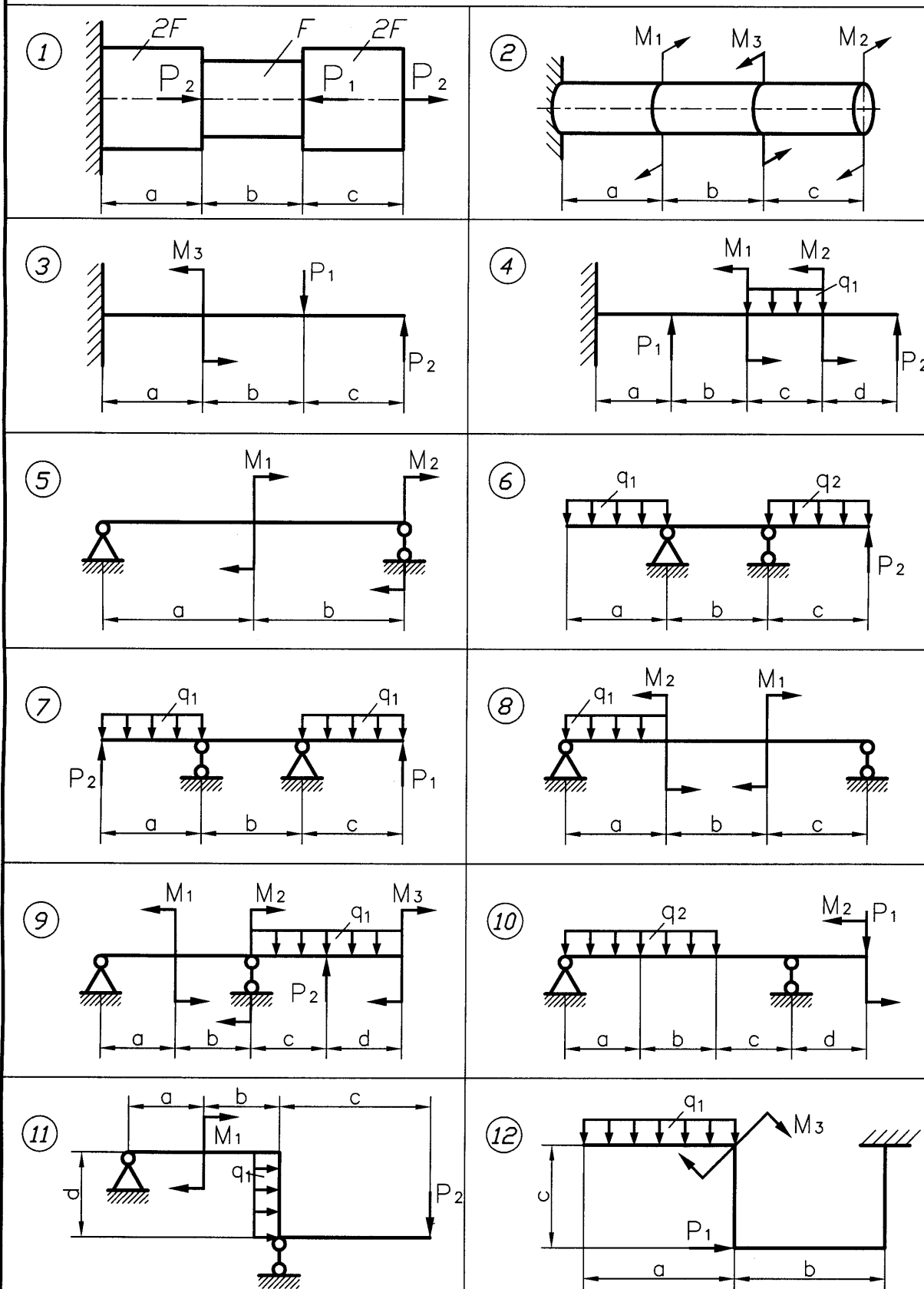
Вариант 13

①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 14

①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 15



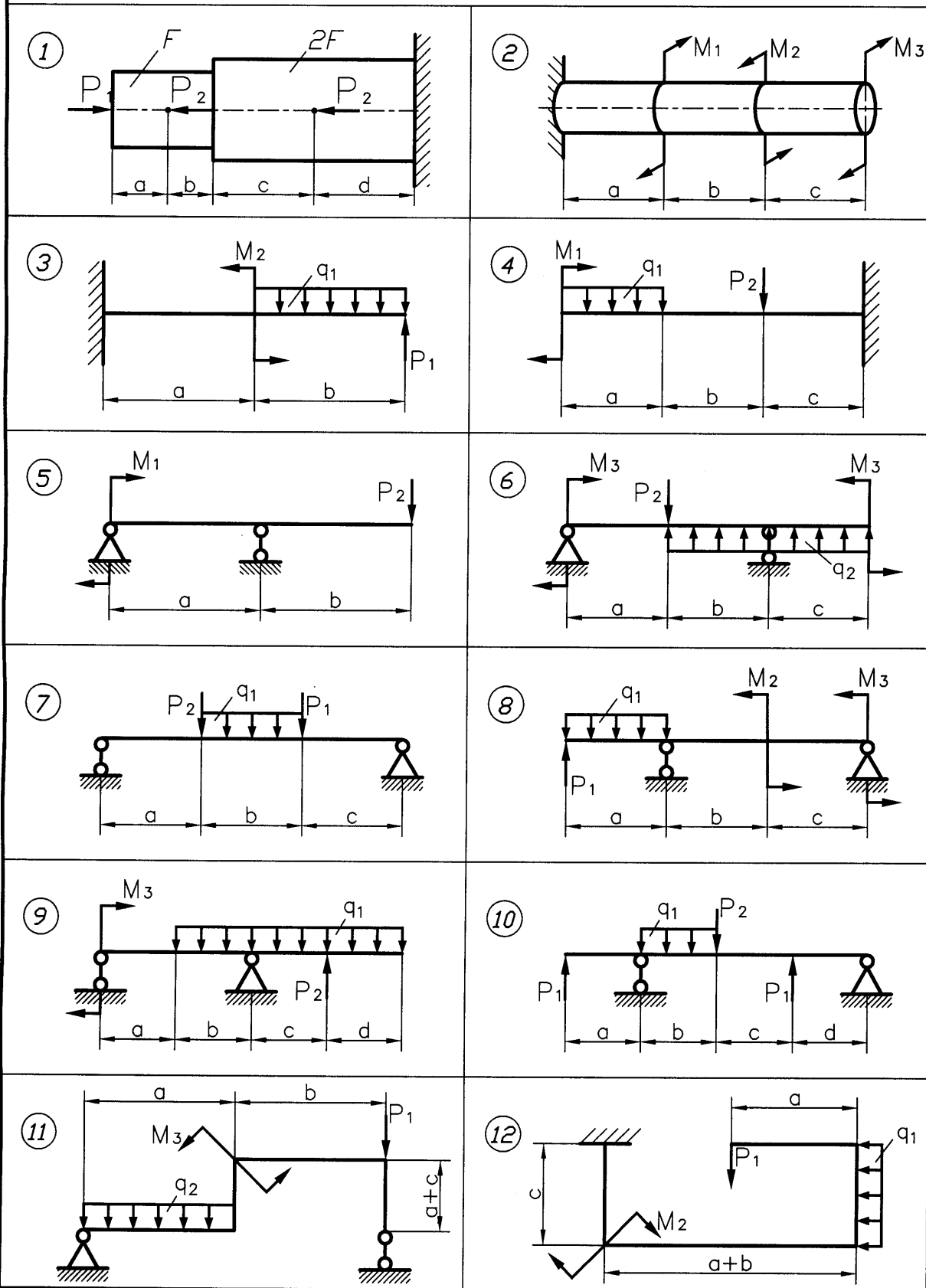
Вариант 16

①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

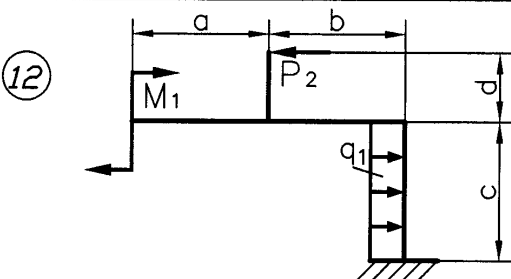
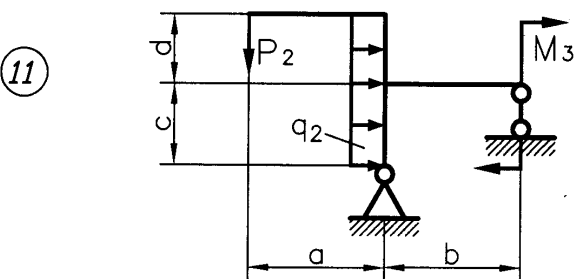
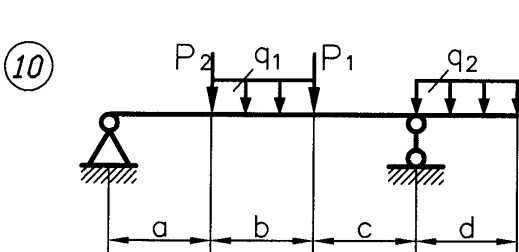
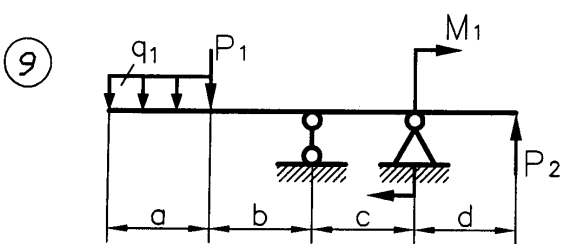
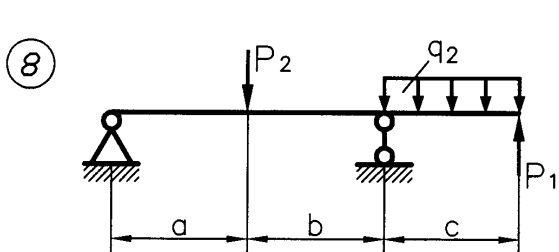
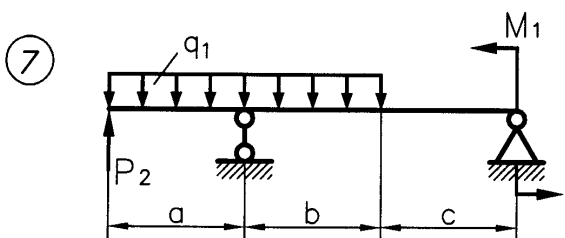
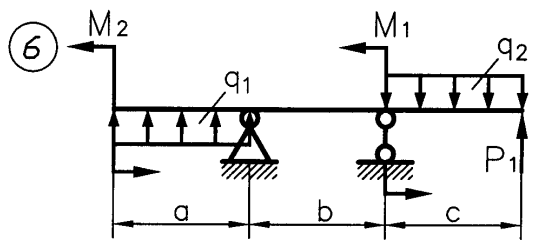
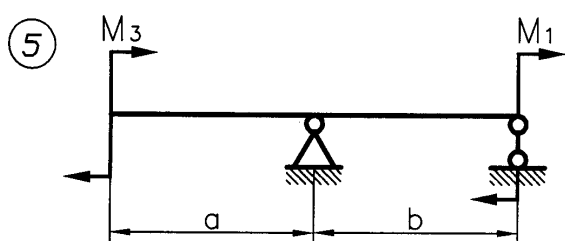
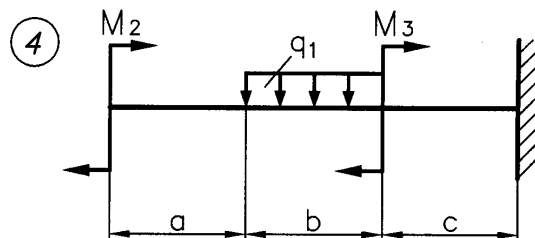
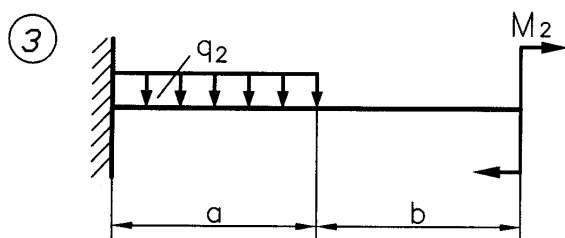
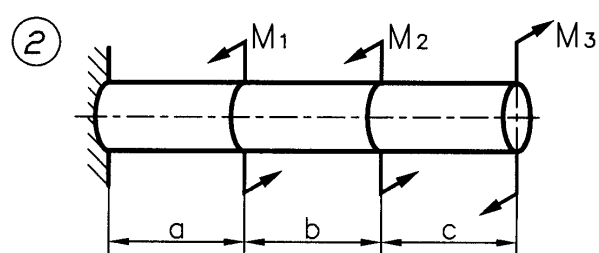
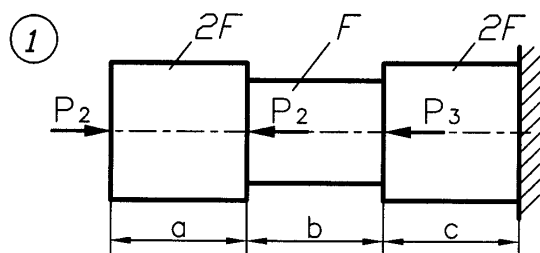
Вариант 17	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 18	
①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

Вариант 19

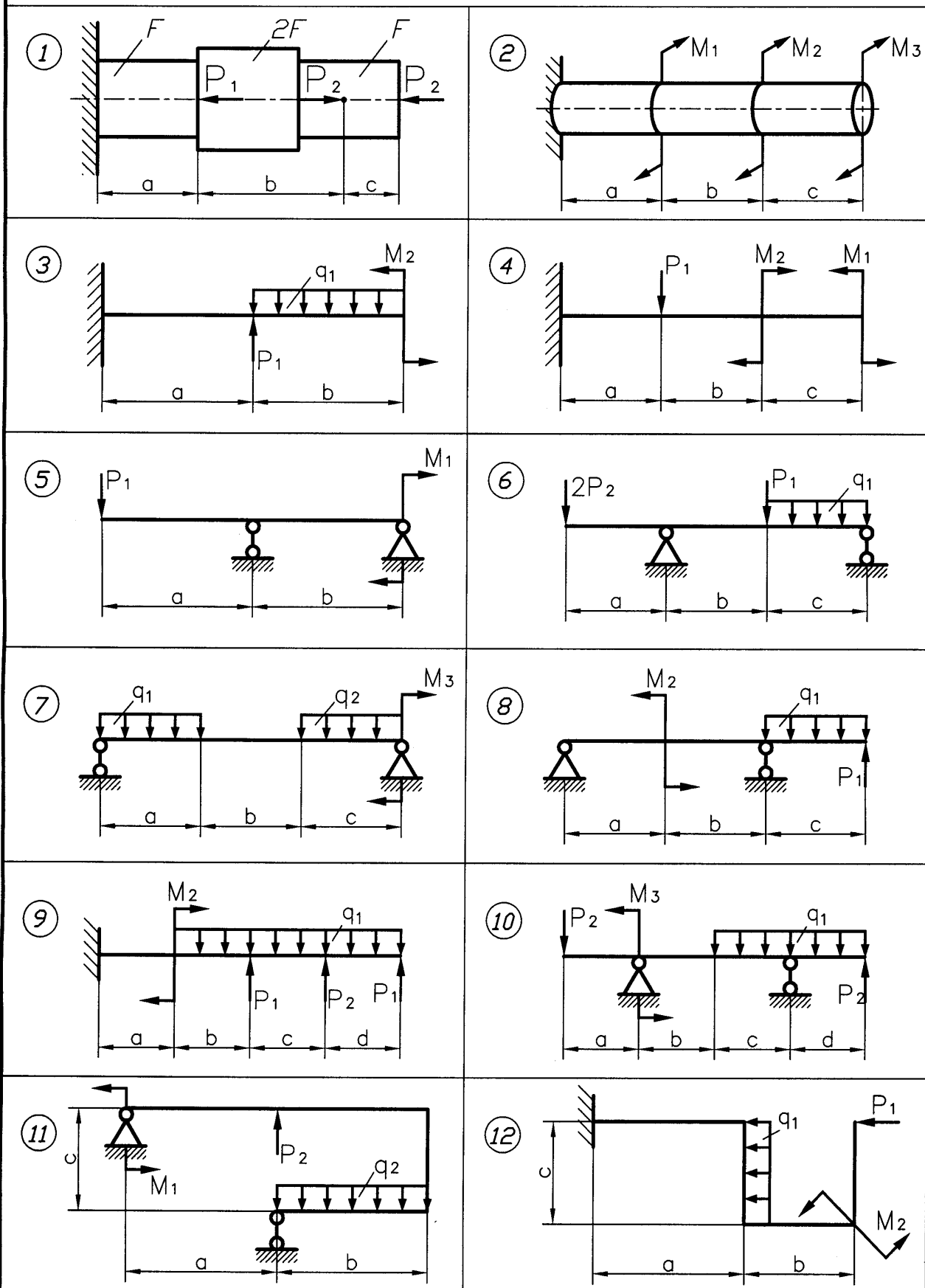


Вариант 20

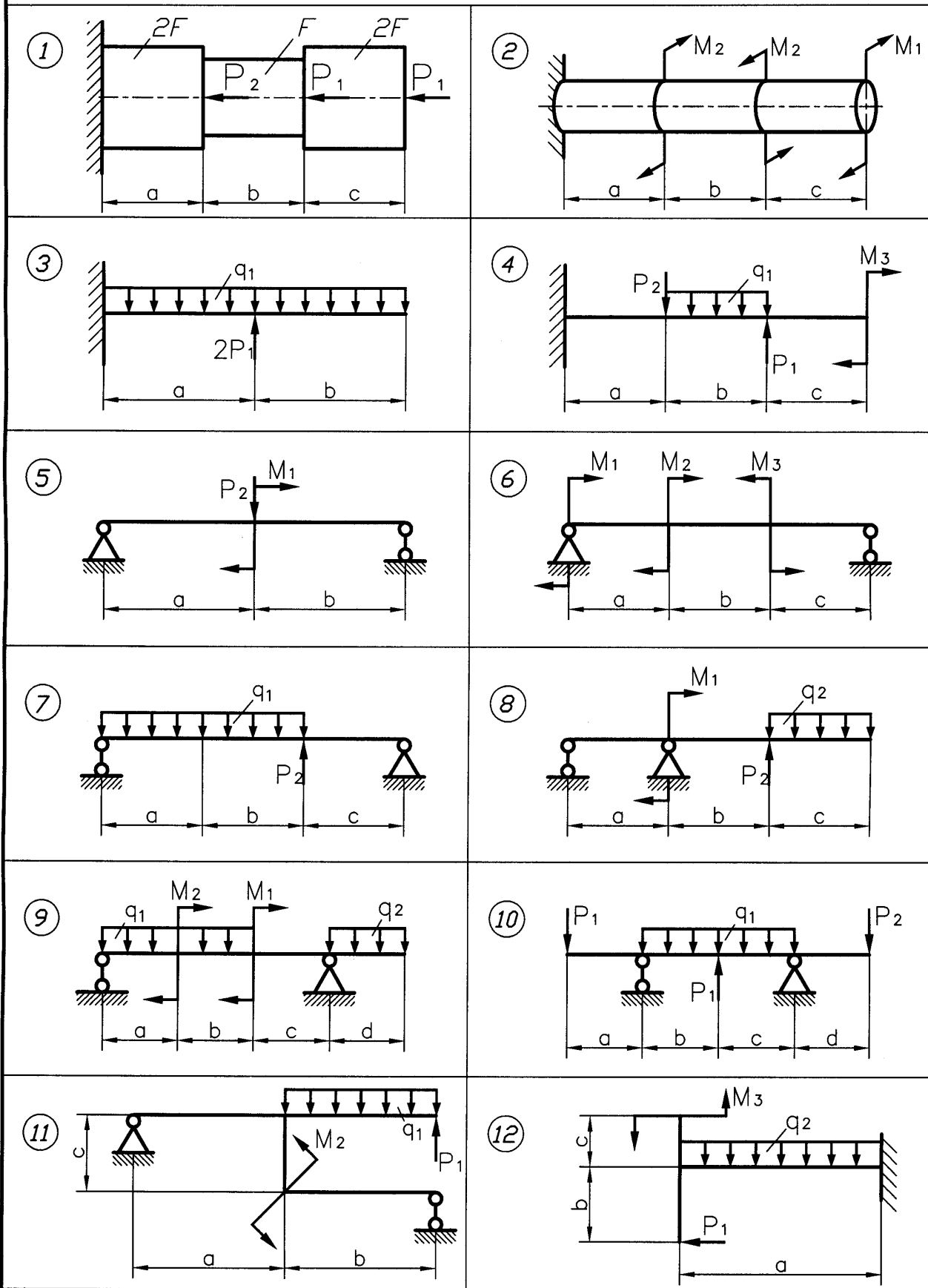


Вариант 21	
1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12

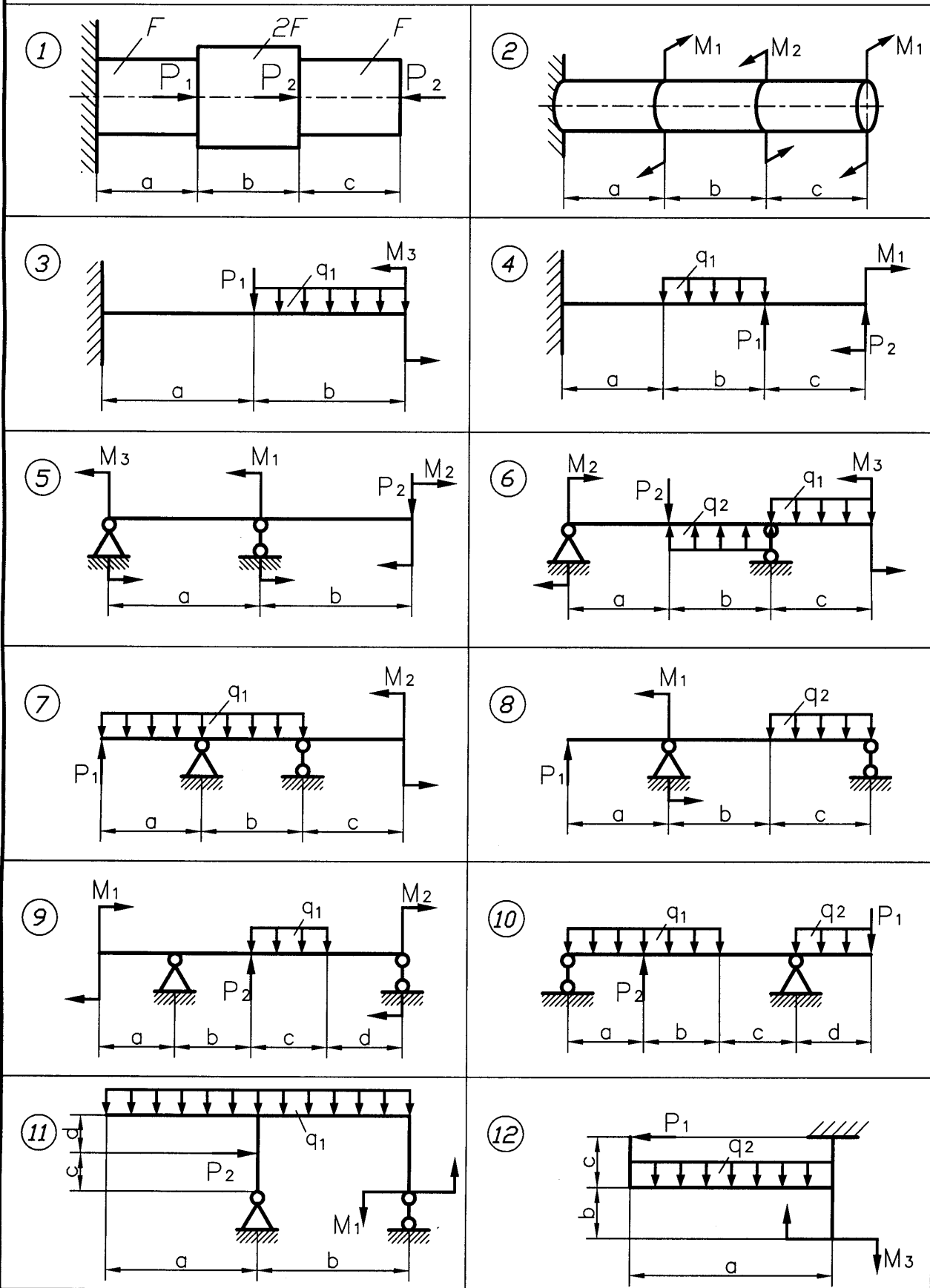
Вариант 22



Вариант 23



Вариант 24



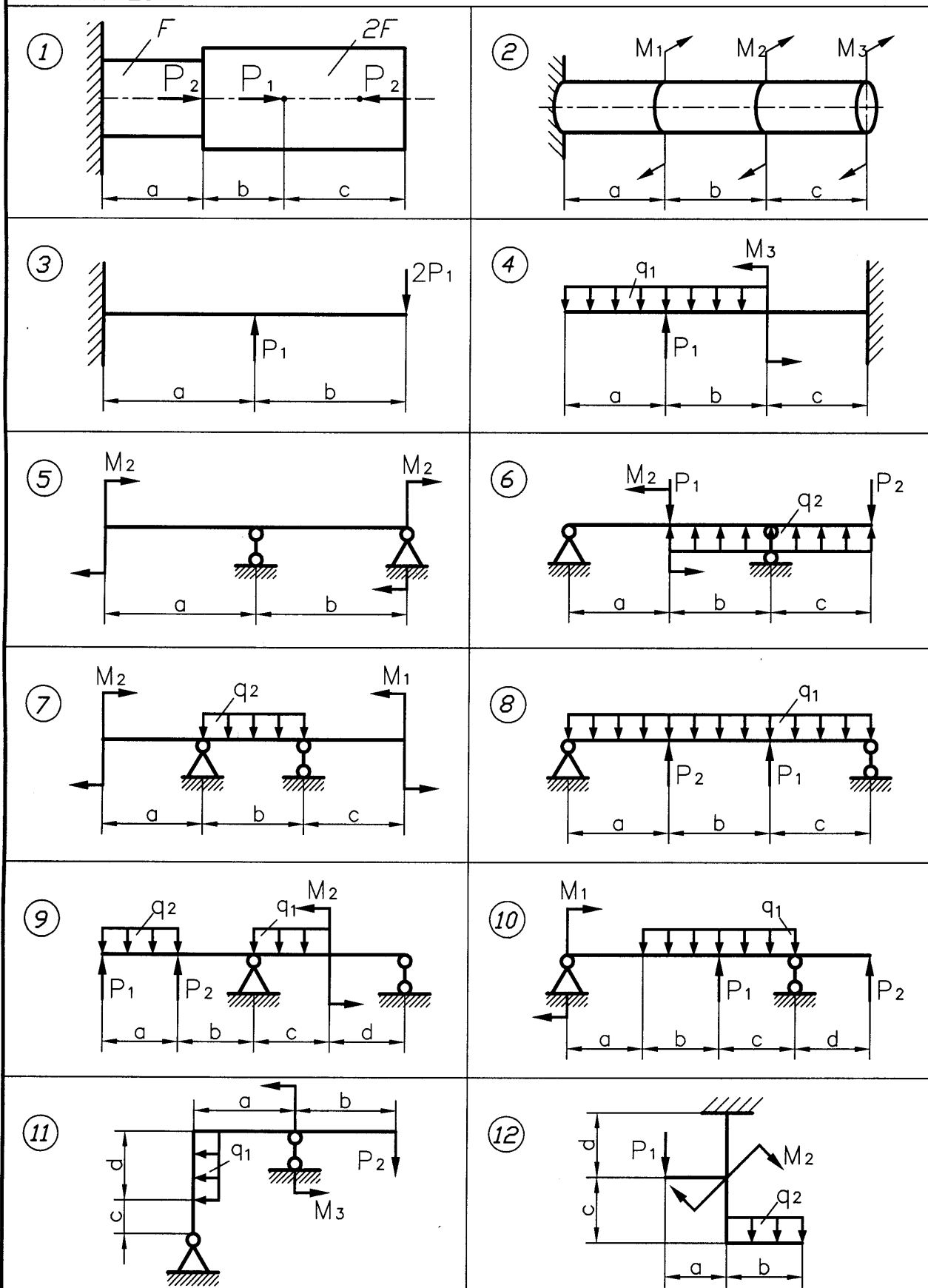
Вариант 25 ①	②
③	④
⑤	⑥
⑦	⑧
⑨	⑩
⑪	⑫

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

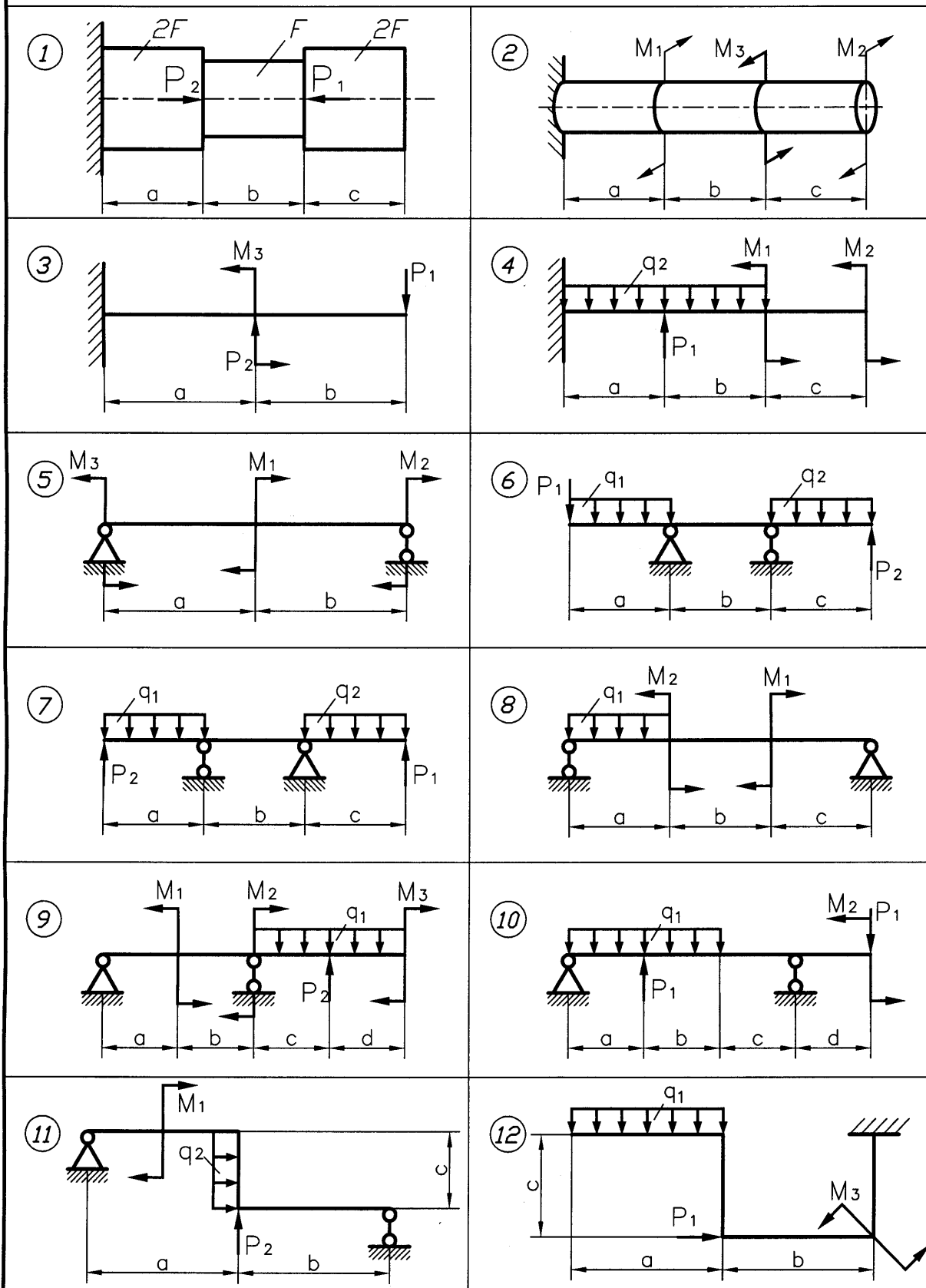


Таблица 2 – Расчетные данные к заданию 1

№ 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	$2ql$	$3ql$	ql^2	$5ql^2$	ql^2	q	$2,5q$	$2l$	$3l$	$0,5l$	l
22	ql	$2ql$	$2ql^2$	$4ql^2$	$2ql^2$	$0,5q$	$3q$	$3l$	$4l$	$1,5l$	$1,5l$
23	$1,5ql$	ql	ql^2	$3ql^2$	$3ql^2$	q	$3,5q$	$4l$	$5l$	$2l$	$2l$
24	$2ql$	$4ql$	$2ql^2$	$2ql^2$	$4ql^2$	$2q$	$1,5q$	$5l$	l	$0,5l$	$2,5l$
25	$0,5ql$	$3ql$	ql^2	ql^2	$5ql^2$	q	$2,5q$	l	$2l$	$1,5l$	$0,5l$
26	$2ql$	$2ql$	$2ql^2$	$5ql^2$	ql^2	$3q$	$3q$	$2l$	$3l$	$2l$	l
27	ql	ql	ql^2	$4ql^2$	$2ql^2$	q	$2q$	$3l$	$4l$	$0,5l$	$1,5l$
28	$1,5ql$	$4ql$	$2ql^2$	$3ql^2$	$3ql^2$	$0,5q$	q	$4l$	$5l$	$1,5l$	$2l$
29	$2ql$	$3ql$	ql^2	$2ql^2$	$4ql^2$	q	$2,5q$	$5l$	l	$2l$	$2,5l$
30	$0,5ql$	$2ql$	$2ql^2$	ql^2	$5ql^2$	$2q$	$4q$	l	$2l$	$0,5l$	$0,5l$
31	$2ql$	ql	ql^2	$5ql^2$	ql^2	$3q$	$2q$	$2l$	$3l$	$1,5l$	l
32	ql	$4ql$	$2ql^2$	$4ql^2$	$2ql^2$	$0,5q$	$1,5q$	$3l$	$4l$	$2l$	$1,5l$

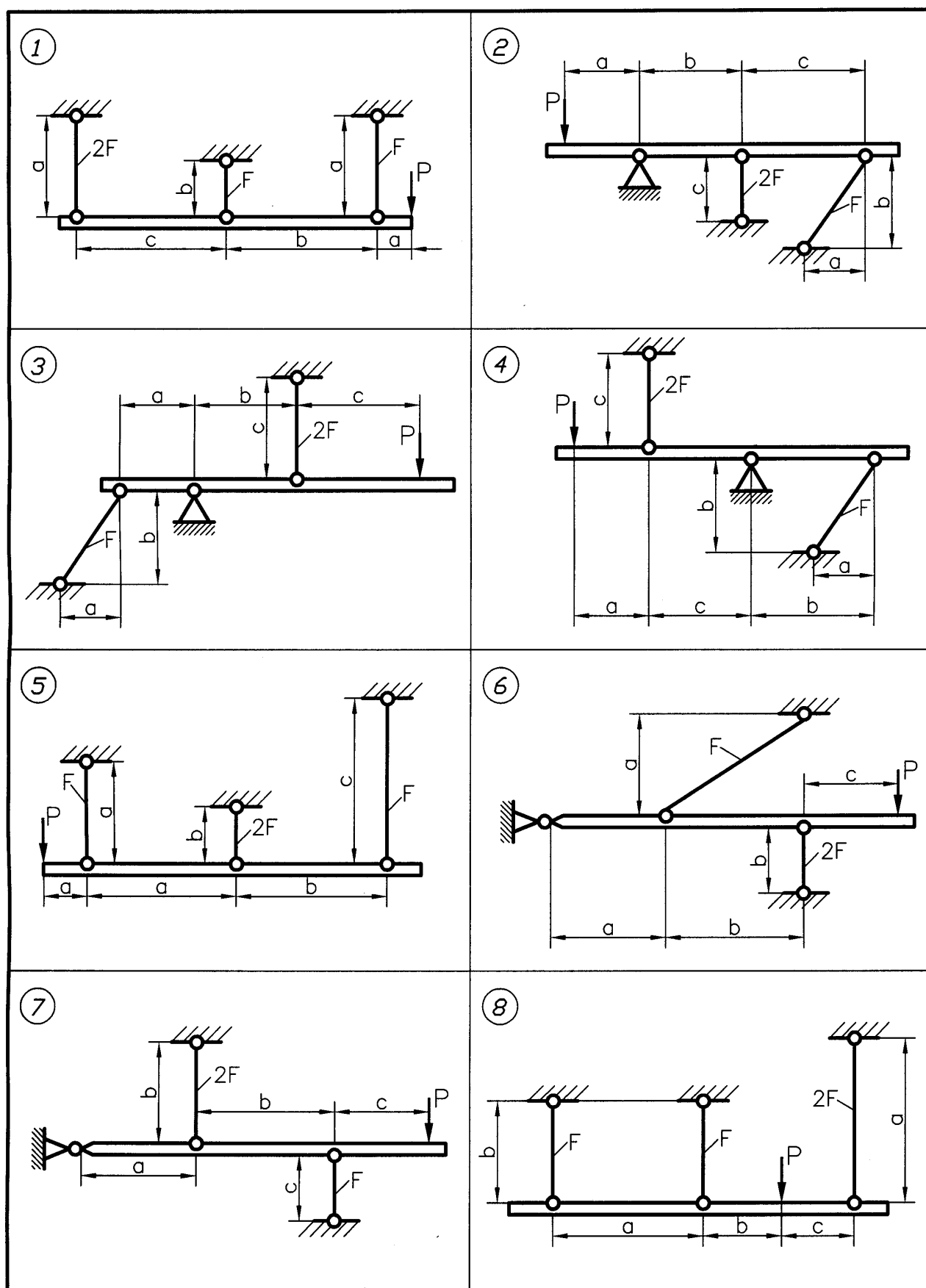
Задание 2. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ – СЖАТИИ

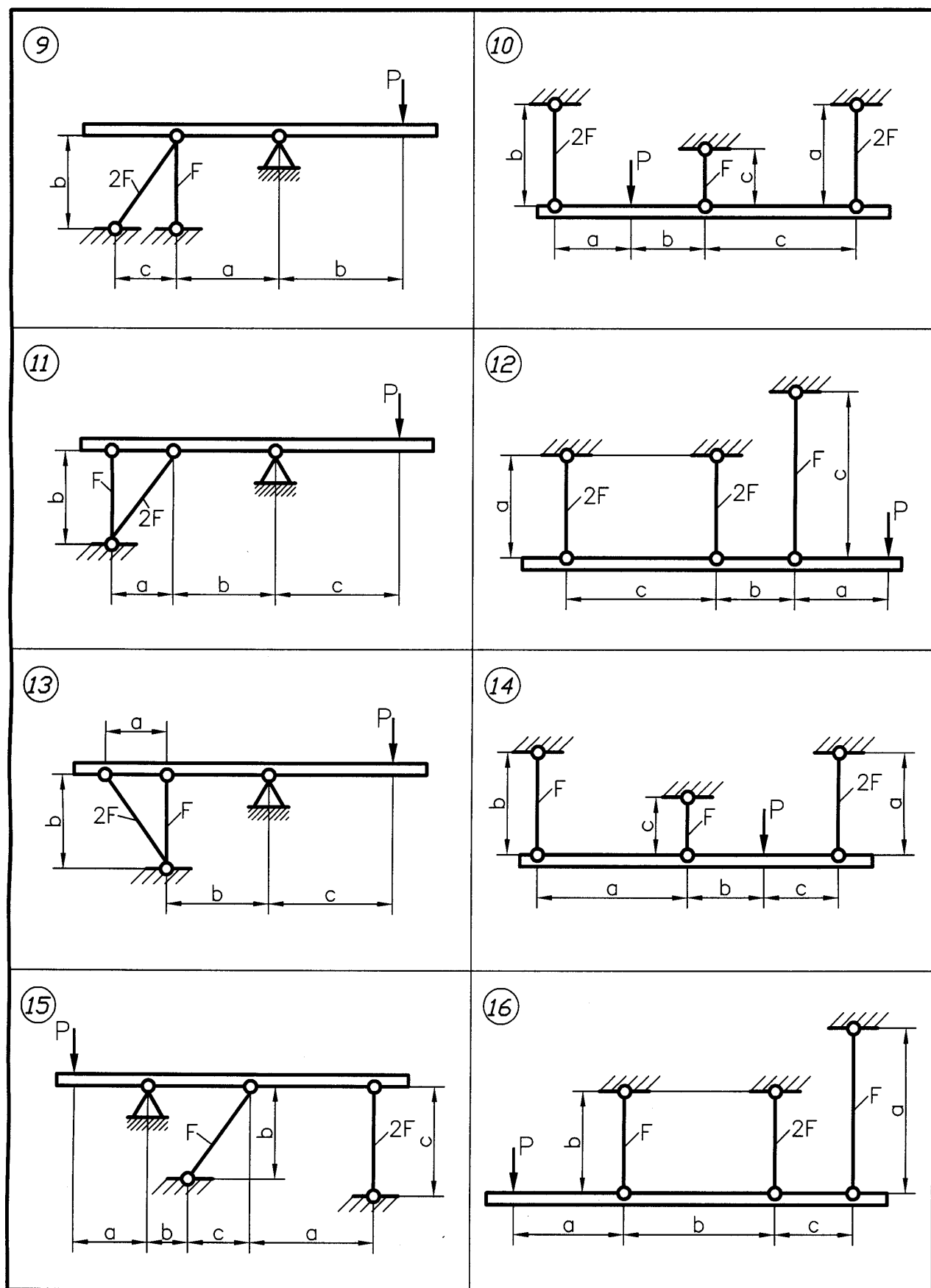
Весьма жесткий брус, деформацией которого можно пренебречь, опирается на шарнирно неподвижную опору и прикреплен к стержням при помощи шарниров. Требуется найти:

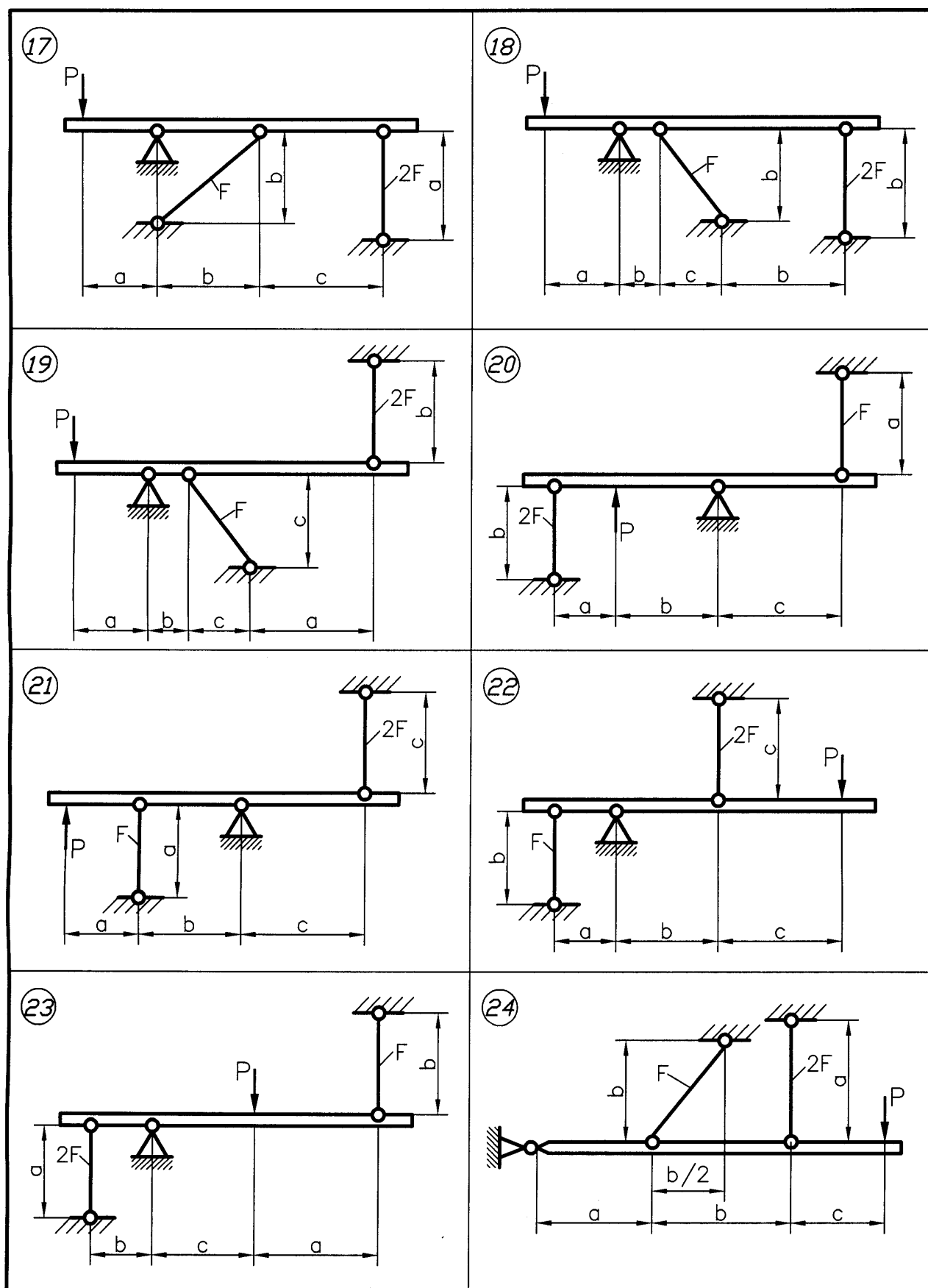
- 1) усилия и напряжения в стержнях, выразив их через силу P ;
- 2) потенциальную энергию упругой деформации системы и работу силы P ;
- 3) допускаемую нагрузку $[P]$, приняв допускаемое напряжение $[\sigma]=160\text{МПа}$;
- 4) предельную грузоподъемность системы $P_{\text{пред}}^T$ и допускаемую нагрузку $[P^T]$, 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







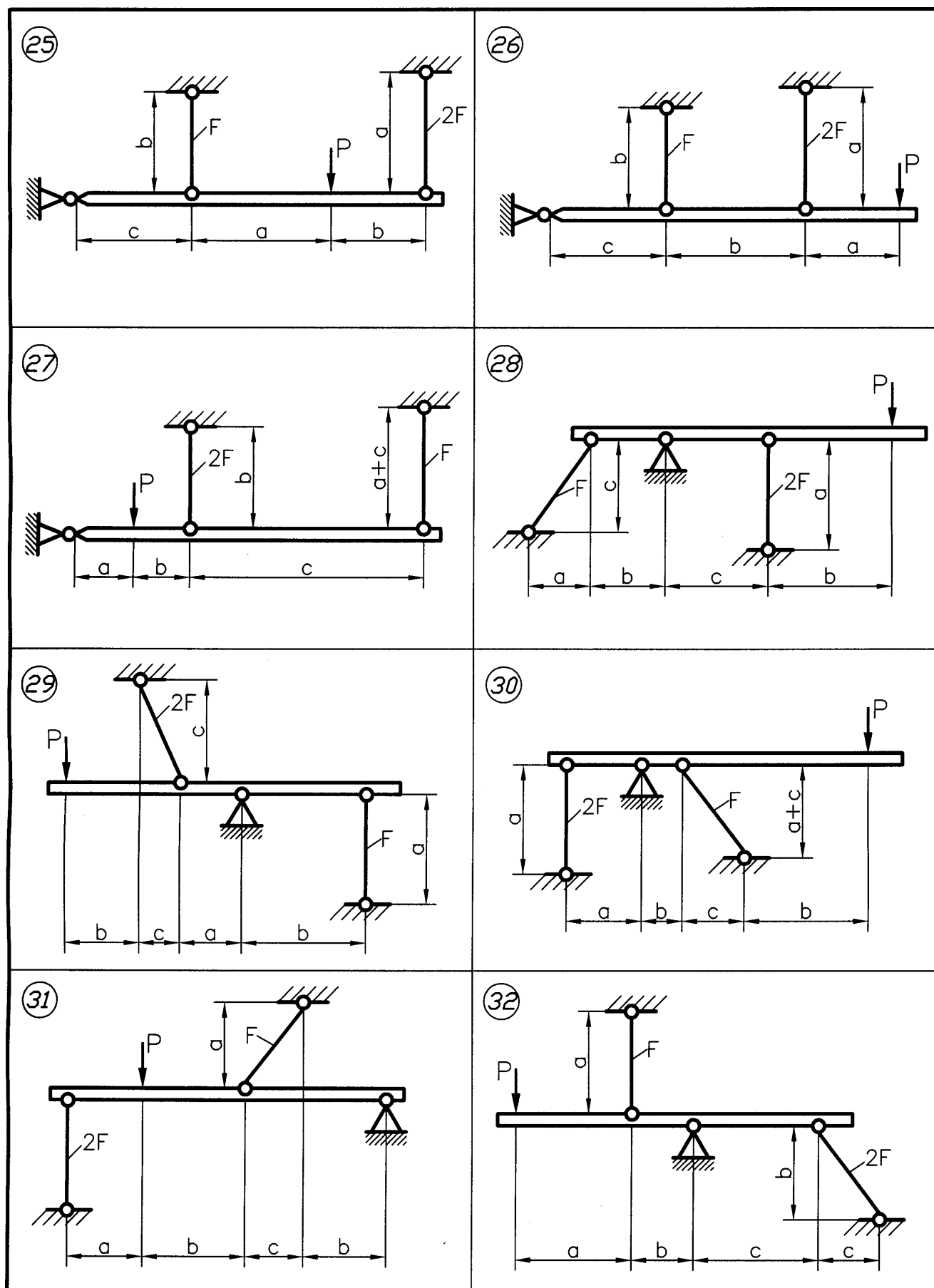


Таблица 4 – Расчетные данные к заданию 2

№ 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;

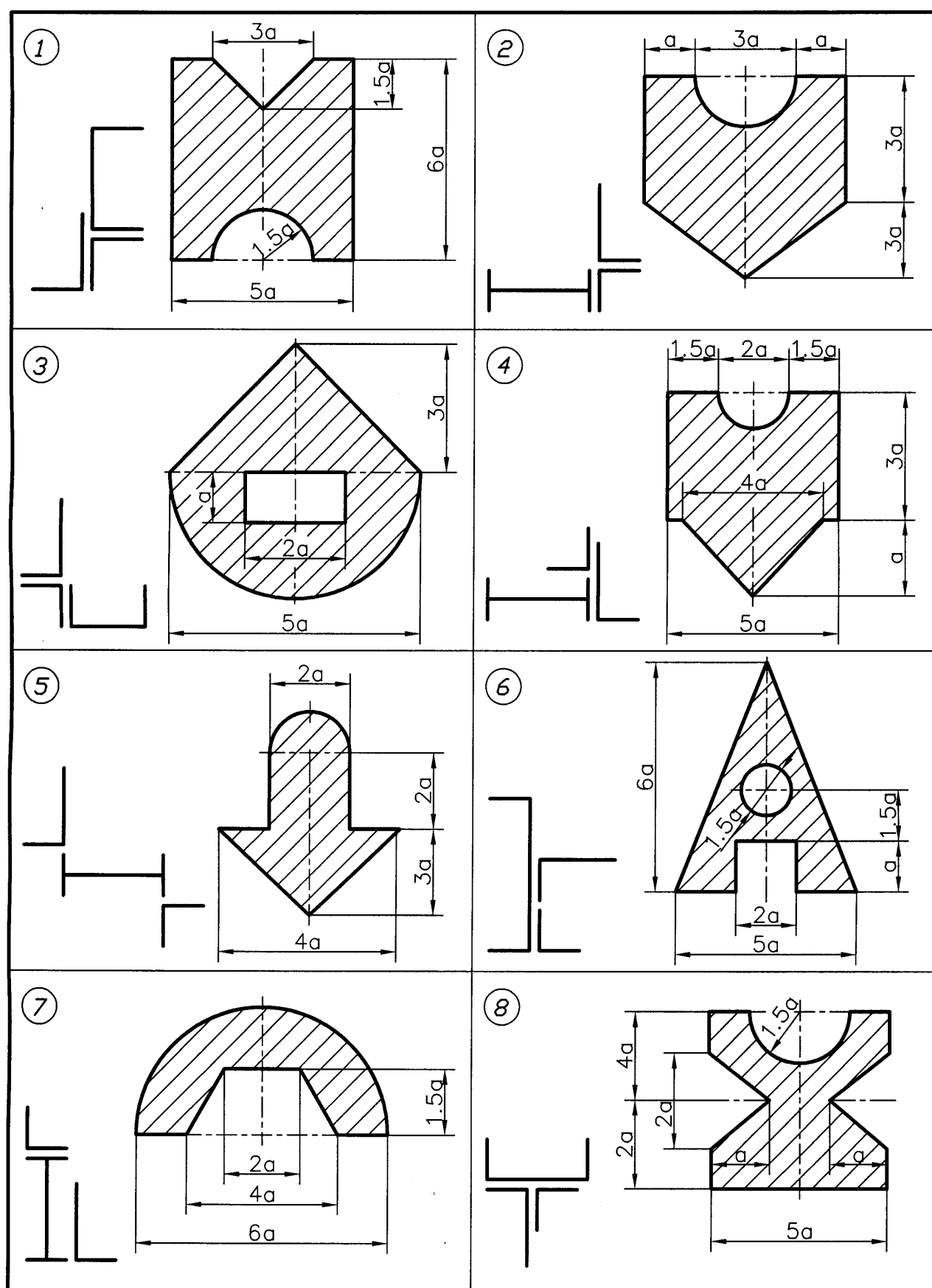
7) вычертить сечение в масштабе (М 1:1 либо М 1:2) на формате А4;

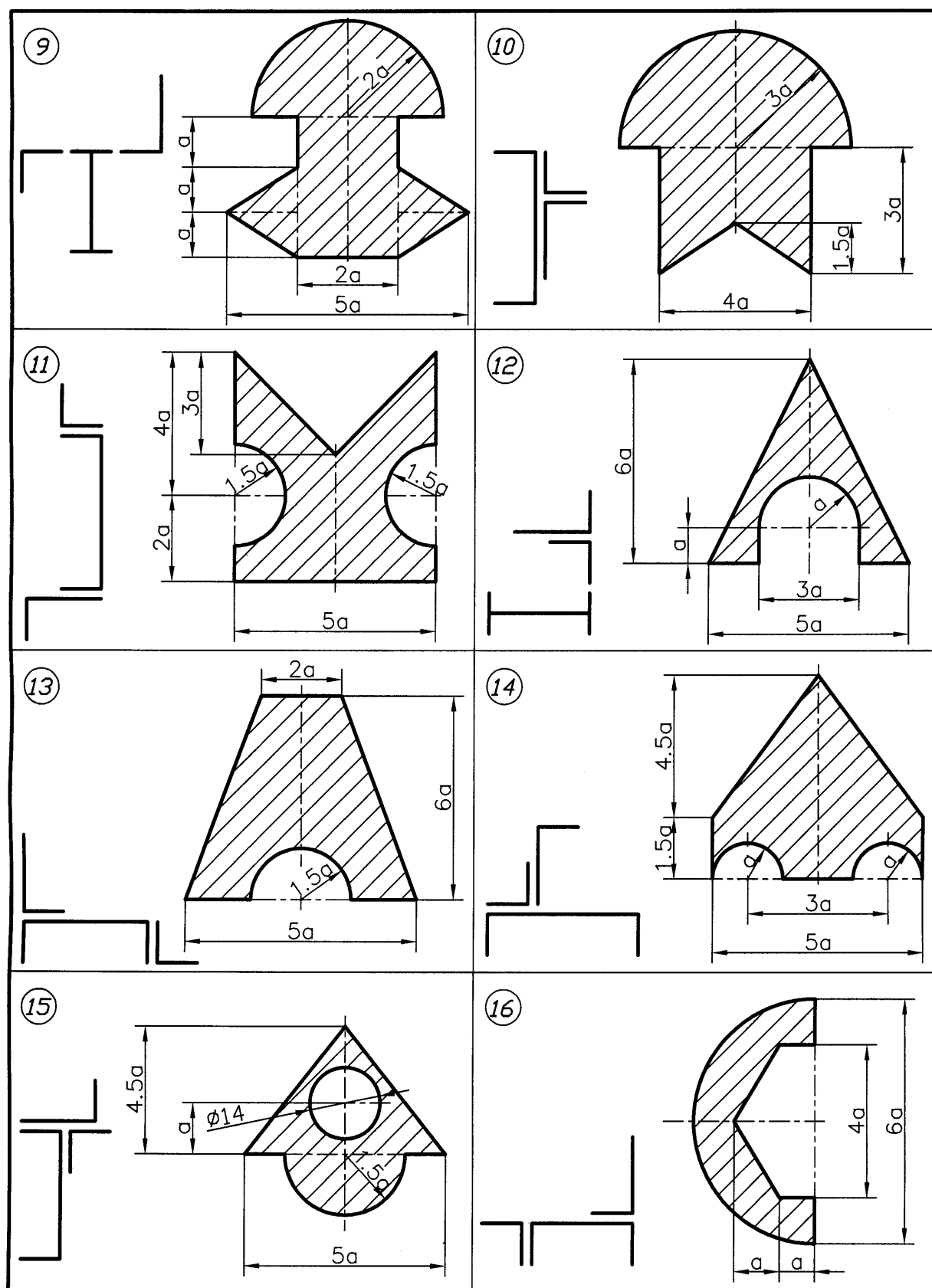
8) нанести на чертеж все размеры и оси, используемые в расчете, указать расстояния между ними.

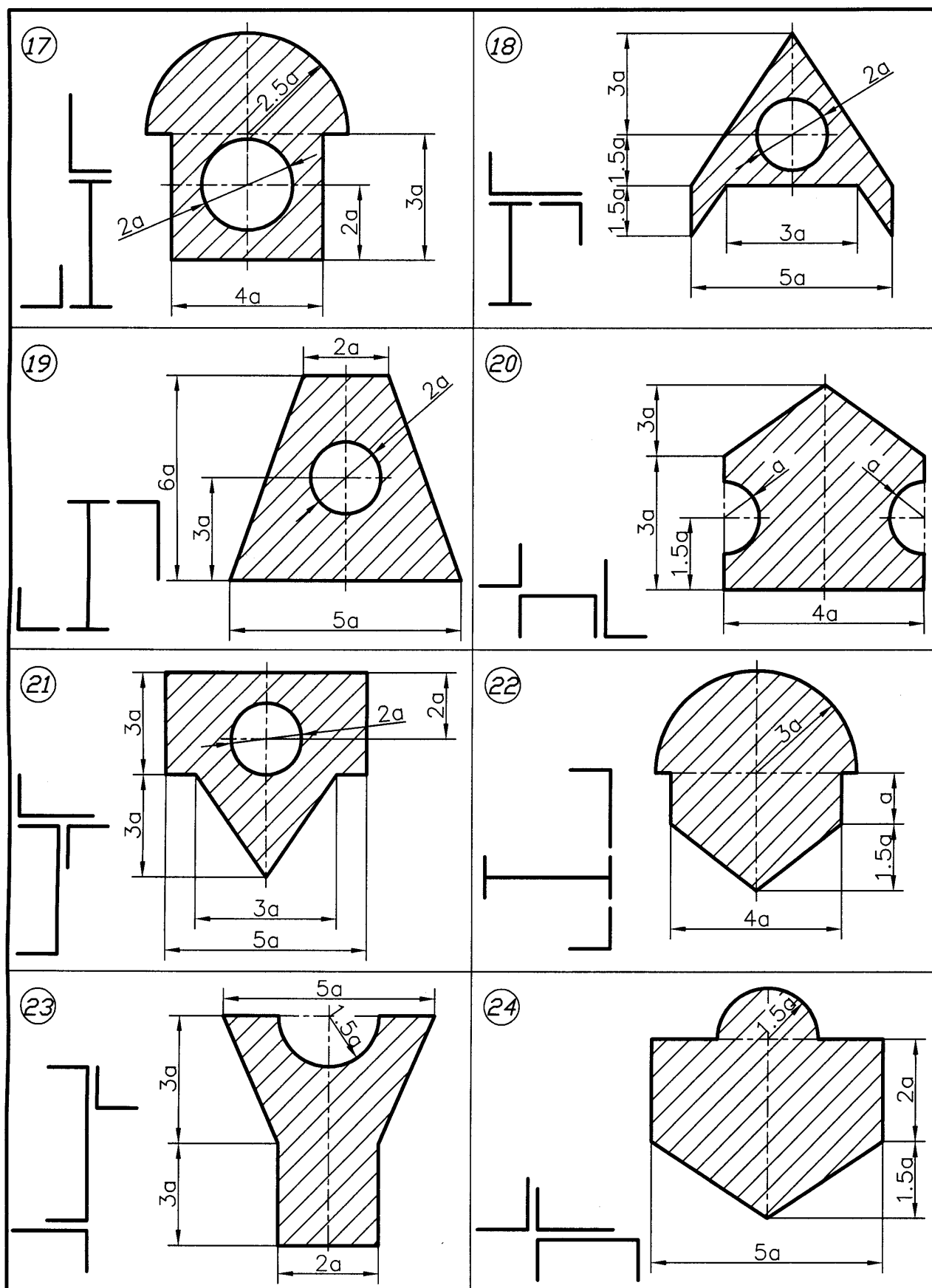
Схемы сечений выбрать по таблице 5, расчетные данные (размер **a** и номера прокатных профилей) – по таблице 6 в соответствии с индивидуальным четырехзначным шифром, выданным преподавателем в начале семестра.

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







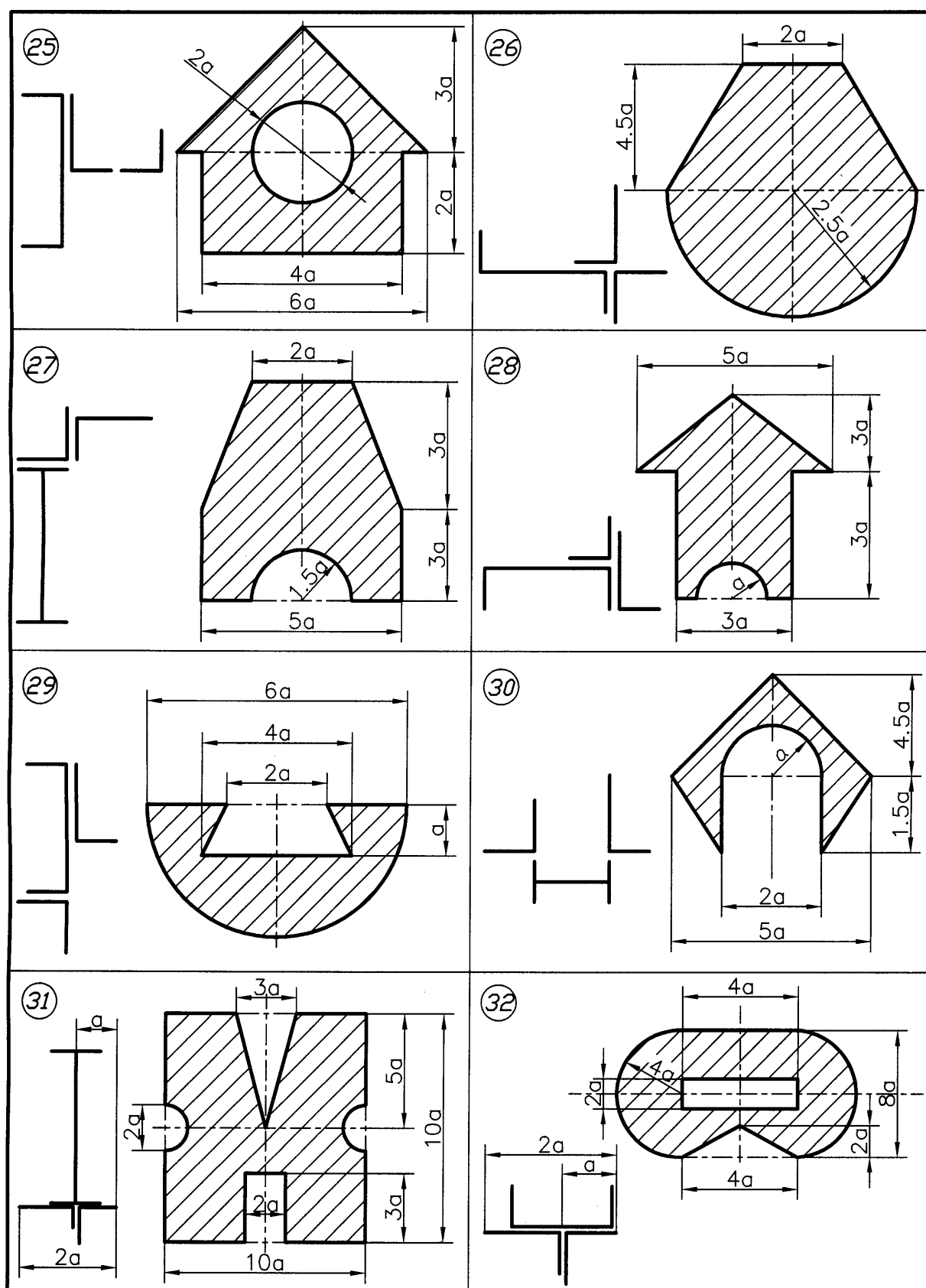


Таблица 6 – Расчетные данные к заданию 3

№ 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:

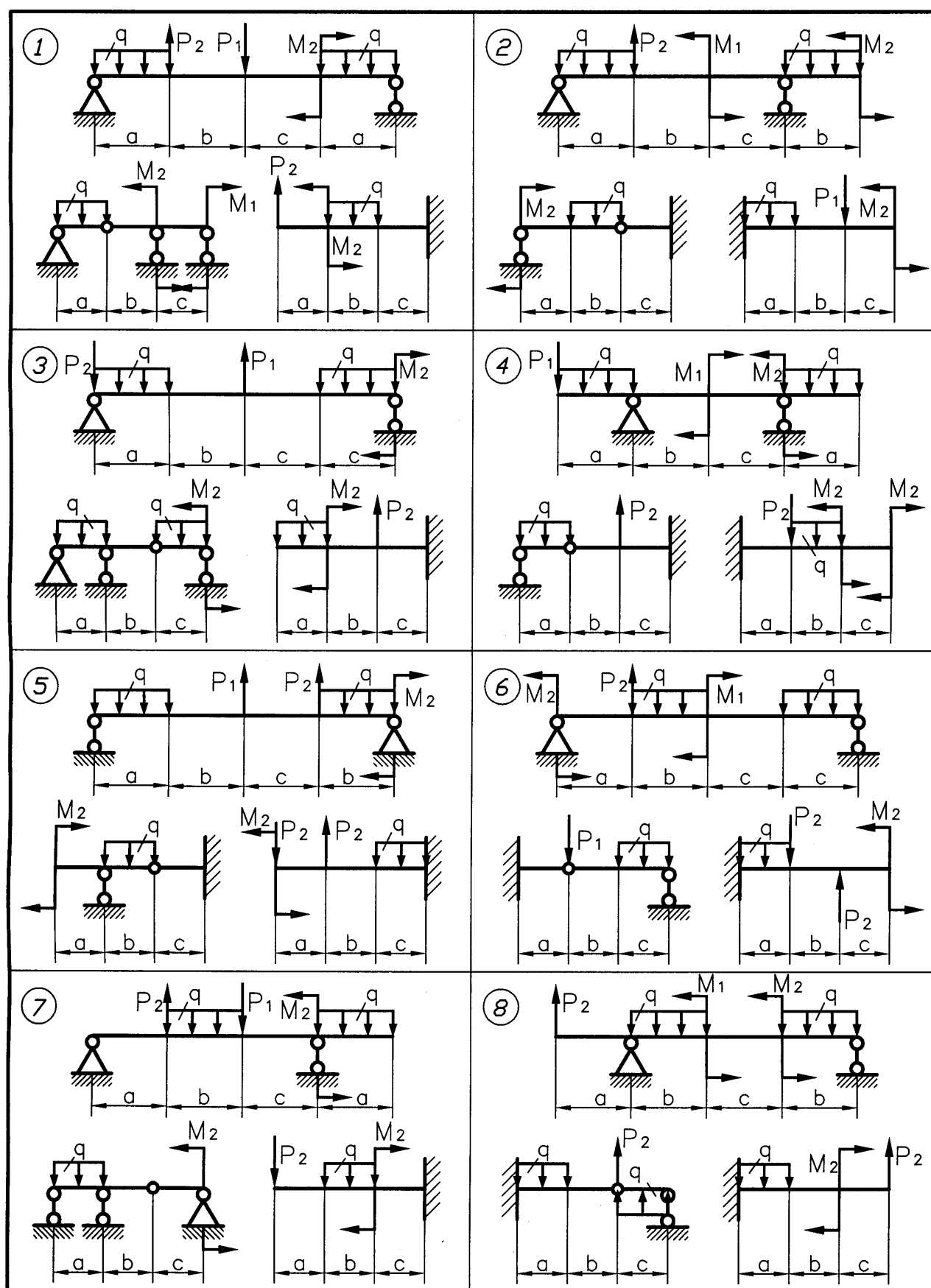
3) чертеж сечения с указанием основных размеров;

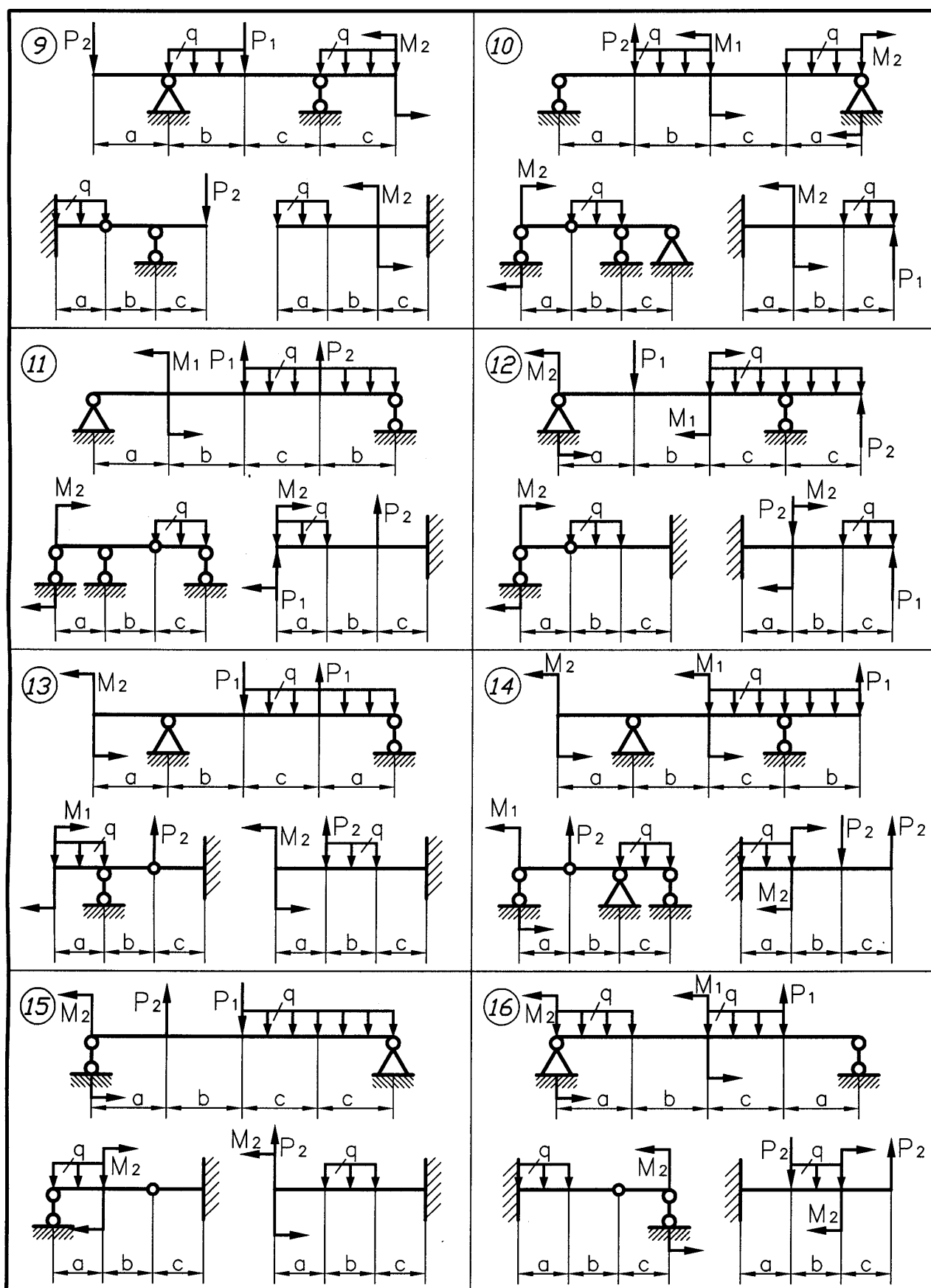
4) эпюры нормальных, касательных и главных напряжений в опасном сечении балки;

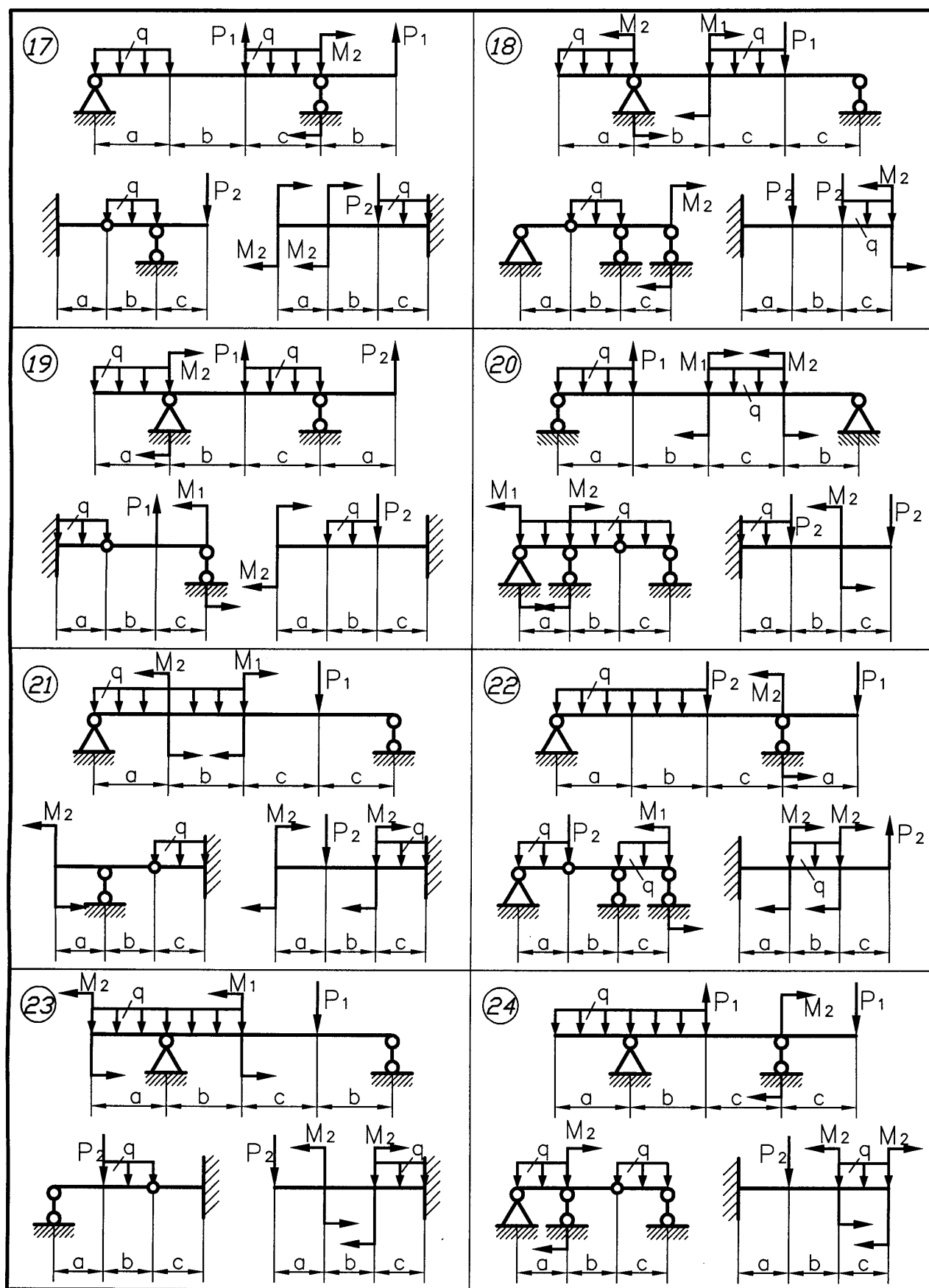
5) схемы плоского напряженного состояния в упомянутых выше пяти точках сечения с указанием напряжений на исходных площадках, направлений главных площадок и главных напряжений σ_1 и σ_3 .

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







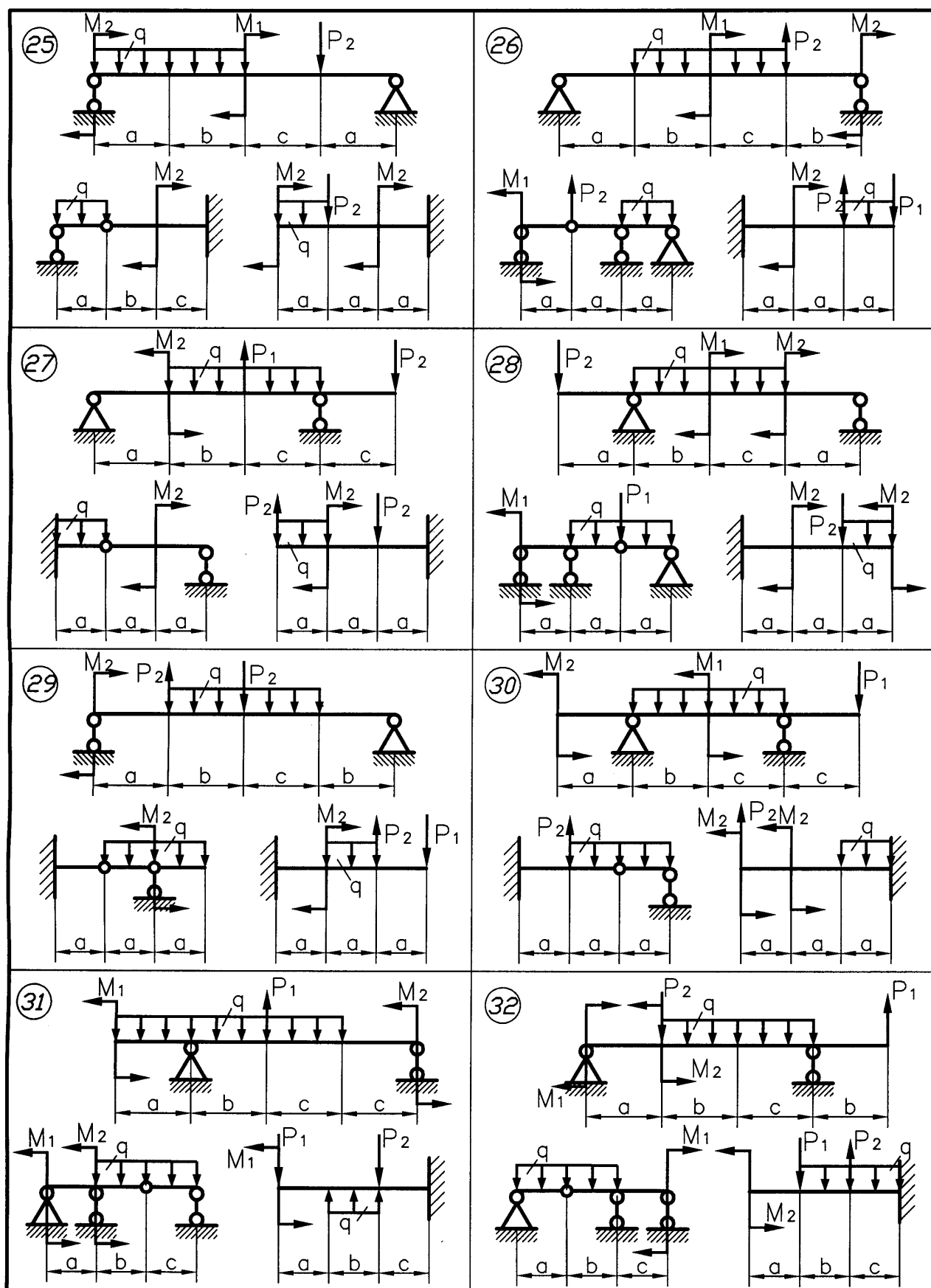


Таблица 8 – Расчетные данные к заданию 4

№ 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 ВЫПОЛНЕНИЮ
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
Сопротивление материалов

Направление подготовки 08.03.01 Строительство
Направленность (профиль) Промышленное и гражданское строительство

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 СРМ 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 студент включает:

- самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы;
- подготовка к лекциям;
- подготовка к практическим занятиям;
- выполнение расчетно-графической работы;
- подготовка к текущей и промежуточной 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, 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 вкладки 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 опiski, 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 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.

6.5 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.

6.6 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 департамент, за которыми закреплены дисциплины учебного плана, и может проводиться в следующих формах:

- собеседование,

- расчетно-графическая работа.

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 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 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.

7. Критерии оценки самостоятельной работы

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

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

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.