

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к расчетно-графическим заданиям 4-6  
по дисциплине «Сопротивление материалов»**

**(для студентов всех специальностей  
дневной формы обучения)**

*У т в е р ж д е н о*  
**на заседании кафедры  
технической механики.  
Протокол № 10 от 30.01.2001**

**Краматорск 2001**

## УДК 539.3/6

Методические указания к расчетно-графическим заданиям 4-6 по дисциплине «Сопротивление материалов» (для студентов всех специальностей дневной формы обучения) / Сост. Н.А. Соломин, А.Ю. Деньщиков.- Краматорск: ДГМА, 2001.- 47 с.

Содержат условия, исходные данные к задачам, входящим в задания № 4-6, приведена методика проверки прочности при изгибе, построения упругой линии балки, расчетов на прочность и жесткость стержней при различных видах нагружения, даны план решения статически неопределимых балок и рам, подбор сечения сжатой стойки, приведена методика определения напряжений в стержневой системе с учетом вынужденных колебаний.

Составители

Н.А. Соломин, ассистент

А.Ю. Деньщиков, ассистент

Отв. за выпуск

В.А. Овчаренко, доц.

## **1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ**

### **1.1 Цель курсовых расчетно-графических заданий**

Курсовые расчетно-графические задания предназначены для развития у студентов навыков выполнения типовых, наиболее часто встречающихся в инженерной практике, прочностных расчетов и способствуют лучшему усвоению теоретического материала лекционного курса и приобретению навыков самостоятельной практической работы.

### **1.2 Выдача задания**

Задания 4-6 выполняются после проработки соответствующего материала. Каждому студенту выдается вариант, по которому он выполняет задание. Номер варианта состоит из 4 цифр. Первая цифра указывает номер столбца в первой таблице, вторая - во второй, третья и четвертая - номер схемы.

### **1.3 Защита заданий**

Все задания после исправления замечаний преподавателя защищаются в аудитории во время проведения консультаций.

### **1.4 Оформление курсовых расчетно-графических заданий**

Оформление курсовых расчетно-графических заданий производится в соответствии с требованиями методических указаний к курсовым расчетно-графическим работам [10], выполняемым студентами всех форм обучения, и в соответствии с ГОСТ 2.105 – 95, ДСТУ 3008 – 95.

#### **Общие требования**

- 1 Титульный лист должен быть выполнен на плотной бумаге формата А4.
- 2 Задание должно быть написано от руки на одной стороне белой бумаги формата А4.
- 3 Поля должны оставляться с 4 сторон листа. Размер левого поля - 35 мм, правого - не менее 10 мм, нижнего и верхнего - не менее 20 мм.
- 4 Для каждой задачи на первой странице должно быть приведено условие с данными, соответствующими варианту, и все рисунки с необходимыми для расчетов размерами, значениями нагрузок и результатами расчетов. При необходимости формат листа можно увеличить до А3.
- 5 На следующих страницах должны приводиться в произвольной форме текстовая часть и расчеты, объясняющие выполнение задания.
- 6 Текстовая часть должна быть выполнена чернилами и четким почерком.
- 7 Все рисунки и эпюры должны быть выполнены в масштабе.
- 8 Исправления замечаний производить только на обратной стороне предыдущего листа. Допускается вставка дополнительного листа.

## 2 КУРСОВОЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ 4

### СЛОЖНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

#### 2.1 Задача 1. Полная проверка балки на прочность

##### 2.1.1 Условие задачи и исходные данные

Подобрать размеры поперечного сечения стальной двутавровой балки (табл. 2.1, 2.2, рис. 2.1), произвести полную проверку на прочность по IV теории прочности. Определить прогибы и углы поворота в двух точках и показать форму изогнутой оси балки. На основании расчетов на ЭВМ построить упругую линию и найти рациональное расположение правой опоры.

Таблица 2.1

Первая цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$[\sigma]$ , МПа	150	160	170	220	140	180	200	120	210	190
M, кНм	20	50	80	30	40	65	35	55	45	70
P, кН	30	40	60	70	20	35	65	45	35	55
q, кН/м	12	10	14	20	16	22	18	15	20	24

Таблица 2.2

Вторая цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a, м	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,8	2,7	2,6	2,5	2,1
b, м	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7	2,6	2,8
c, м	1,6	1,4	1,8	1,9	2,0	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4

##### 2.1.2 План решения задачи 1

###### 2.1.2.1 Подбор сечения и полная проверка прочности

- Строятся эпюры поперечных сил Q и изгибающих моментов M.
- Из эпюры M определяется наибольшее по абсолютной величине значение изгибающего момента  $M_{\max}$ .

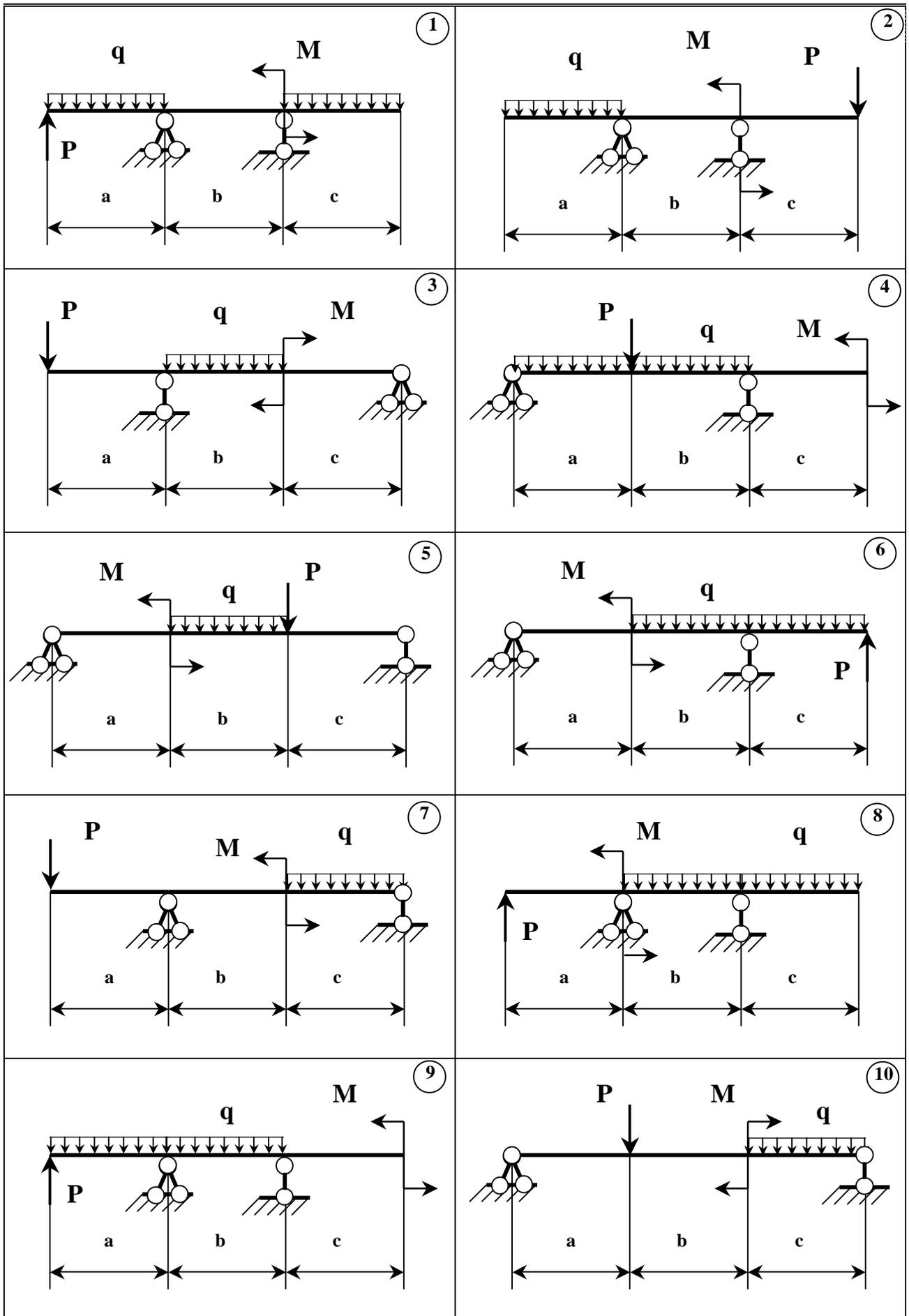


Рисунок 2.1

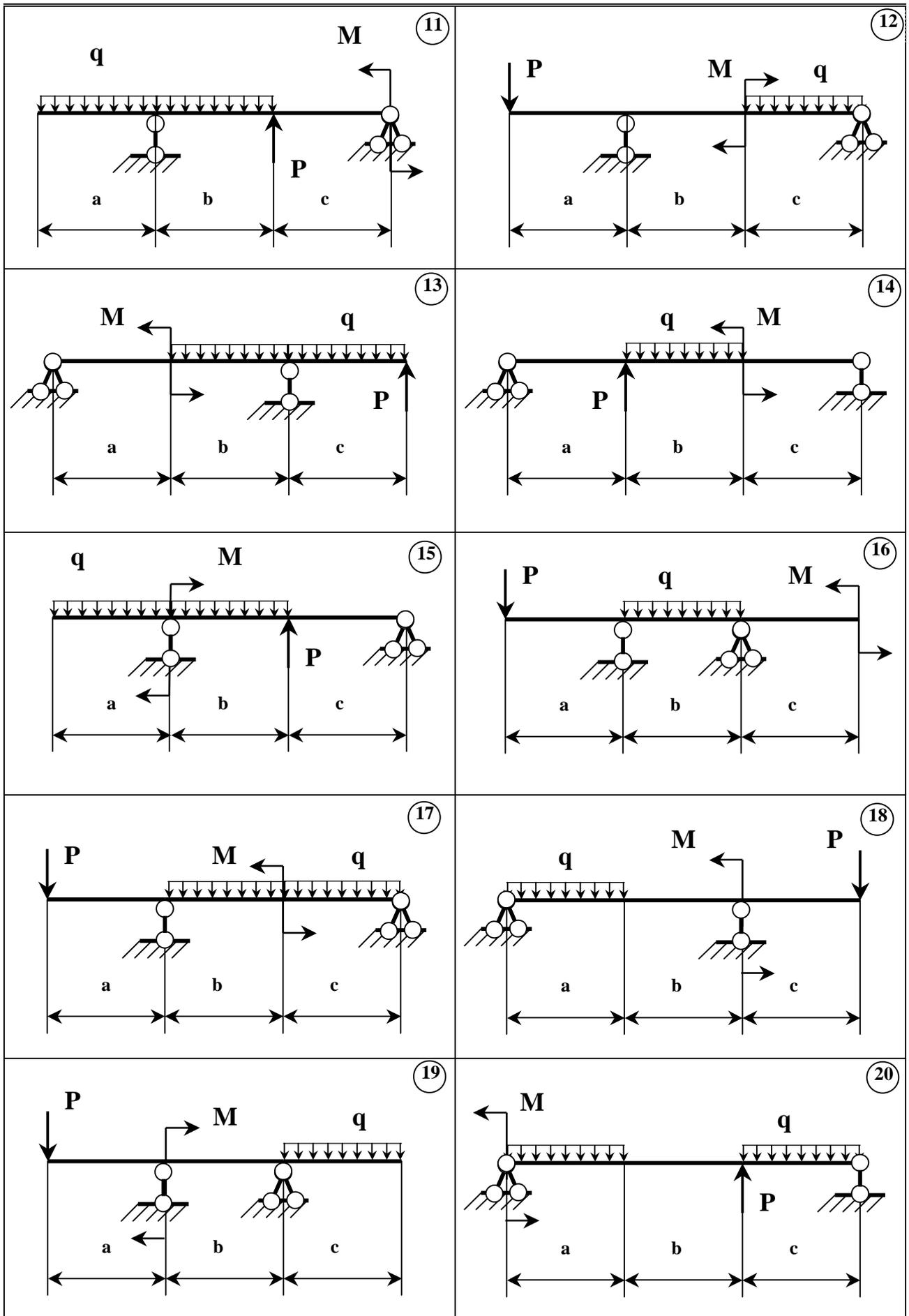


Рисунок 2.1, лист 2

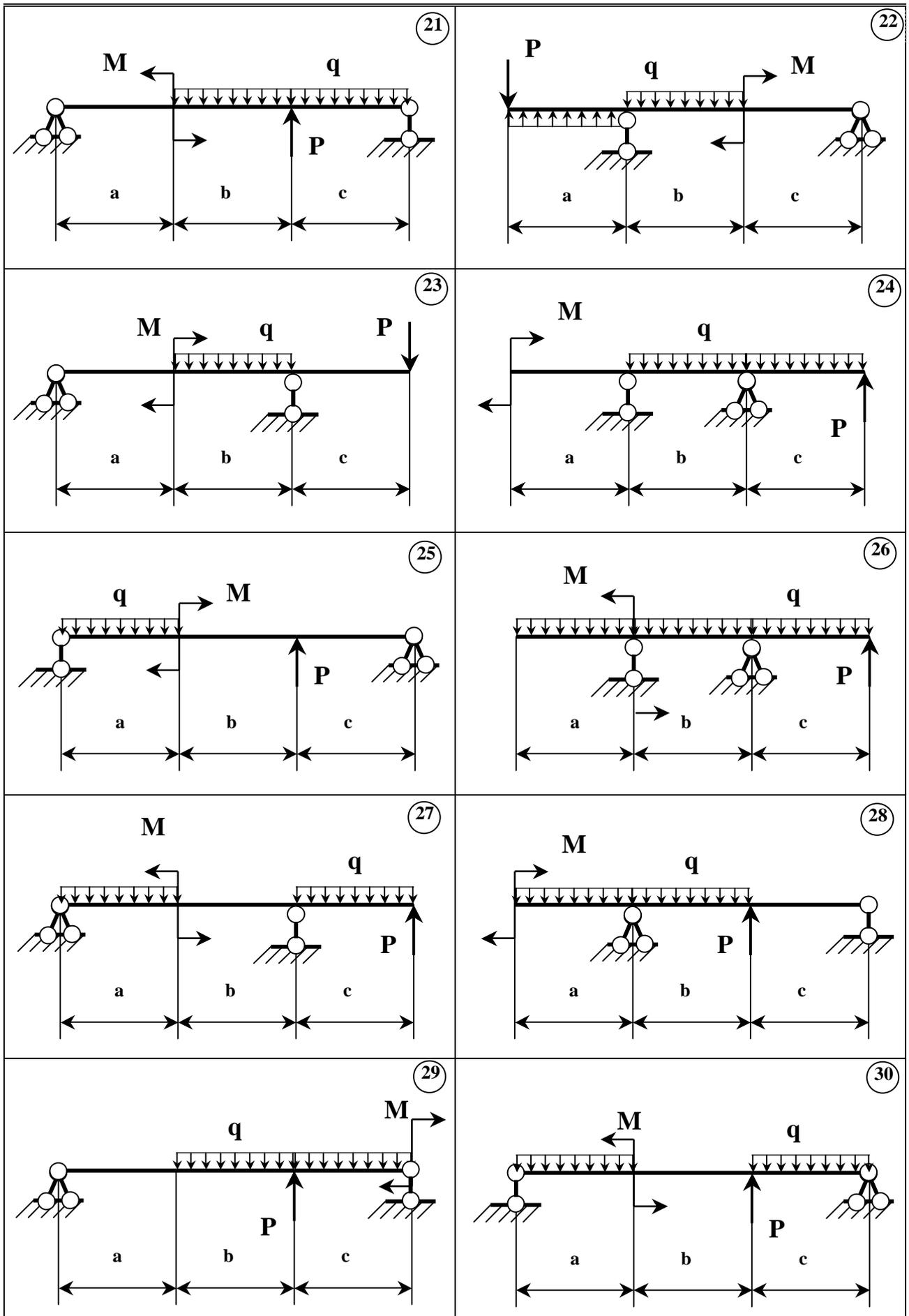


Рисунок 2.1, лист 3

в) Из условия прочности определяется требуемый момент сопротивления сечения:

$$S = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [S], \quad W_x \geq \frac{M_{\max}}{[S]},$$

где  $W_x$  - момент сопротивления сечения относительно оси  $x_c$ .

г) По моменту сопротивления сечения выбирается номер профиля, имеющий больший ближайший момент сопротивления. Допускается отклонение  $W_x$  в меньшую сторону, но не более чем на 2-3% от требуемого.

д) Сечение проверяется по нормальным напряжениям. Для этого определяется сечение, где максимальный изгибающий момент и находятся опасные точки в сечении, наиболее удаленные от нейтральной линии, и проверяется условие прочности:

$$S_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [S].$$

е) Сечение проверяется по касательным напряжениям. Для этого определяется сечение, где максимальная поперечная сила, опасные точки в сечении, находящиеся на главной оси инерции, и проверяется условие прочности:

$$t_{\max} = \frac{Q_{\max} S_{x \max}^*}{I_x b} \leq [t] = (0,5 \div 0,6) [S].$$

ж) Сечение проверяется на совместное действие нормальных и касательных напряжений по IV теории прочности. Во всех сечениях и во всех точках сечения должно удовлетворяться условие

$$S_{\text{экв}} = \sqrt{S^2 + 3t^2} \leq [S].$$

Из анализа эпюр находится опасное сечение 1, где  $M_1$  и  $Q_1$  близки к максимальным и, выбираются опасные точки в сечении, где  $\sigma$  и  $\tau$  близки к максимальным (в точке стыка полки и стенки  $k$ ), определяются нормальные и касательные напряжения в этих точках:

$$S_k = \frac{M_I y_k}{I_x}, \quad t_k = \frac{Q_I S_x^*}{I_x b},$$

где  $I_x$  – момент инерции сечения относительно главной центральной оси,  
 $y$  – расстояние от точки, где определяются напряжения до оси  $x_c$ ,  
 $M_I$  – изгибающий момент в сечении I,  
 $Q_I$  – поперечная сила в сечении I,  
 $S_x^*$  – статический момент части сечения выше или ниже того уровня, где определяется  $\tau$ , при определении  $\tau_{\max}$  значение  $S_x^*$  – статический момент полу-сечения определяется из сортамента.  
 $b$  – ширина сечения в том месте, где определяется  $\tau$ .  
и проверяется условие прочности:

$$S_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{S_K^2 + 4t_K^2} \leq [S].$$

При определении статического момента полки двутавра ее можно рассматривать как прямоугольник шириной, равной среднему значению  $t$ , т.е.

$$S_x^* = b t (h - t) 0,5$$

3) Строятся эпюры распределения нормальных  $\sigma$  и касательных напряжений  $\tau$  в опасных сечениях:

$$S_{\max} = \frac{M_{\max} y_{\max}}{I_x}, \quad t_{\max} = \frac{Q_{\max} S_{x \max}^*}{I_x b}.$$

Вид эпюр  $\sigma$  и  $\tau$  показан на рис 2.2.

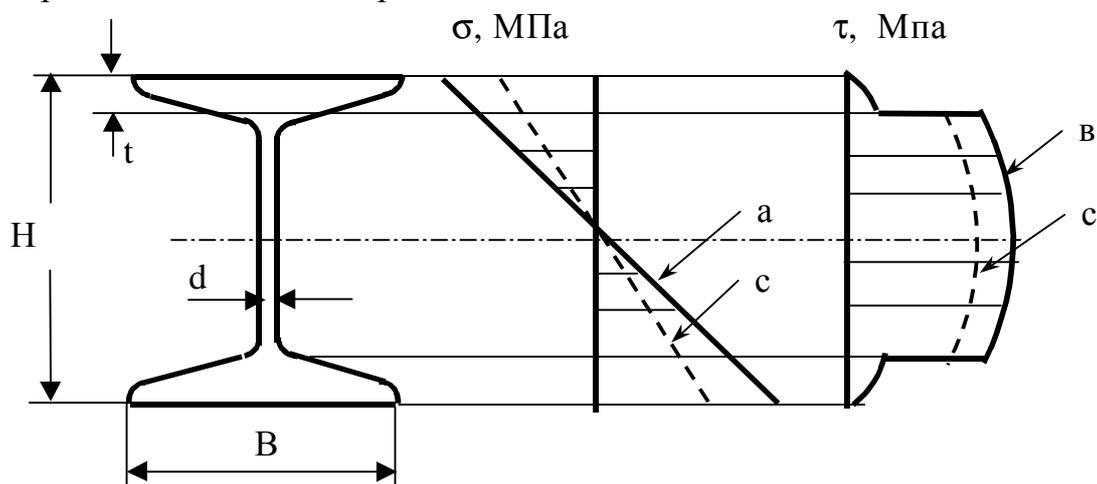


Рисунок 2.2 - Поперечное сечение. Эпюры распределения напряжений в опасных сечениях (а - нормальных, в – касательных, с – эквивалентных).

### 2.1.2.2 Построение упругой линии

а) Записывается универсальное уравнение упругой линии, при этом начало координат выбирается в крайнем левом сечении балки.

Универсальное уравнение представляет собой уравнение для последнего участка, считая от начала координат, которое включает в себя уравнения всех предыдущих участков:

$$y = y_0 + q_0 z + \frac{1}{E I_x} \left[ \sum_{i=1}^n \frac{M_i (z - a_i)^2}{2} + \sum_{i=1}^n \frac{P_i (z - b_i)^3}{6} + \sum_{i=1}^n \frac{q_i (z - c_i)^4}{24} \right].$$

б) Из граничных условий определяются начальные параметры: прогиб и угол поворота в начале координат ( $y_0$  и  $\theta_0$ ). Для шарнирно-опорной балки граничными условиями будут отсутствие прогиба в точках, где расположены опоры. Подставляя последовательно в универсальное уравнение значения  $z$ , равные координатам каждой из опор, получаем в общем случае систему двух линейных алгебраических уравнений для определения  $y_0$  и  $\theta_0$ . Если начало координат совпадает с одной из опор, то  $y_0 = 0$ .

в) Подставляются в уравнение упругой линии координаты характерных сечений и определяются прогибы в этих точках, откладываются в масштабе и соединяются плавной кривой.

г) Необходимо следить за связью упругой линии с эпюрой изгибающих моментов: на участках, где сжаты верхние волокна, кривизна изогнутой оси положительна, т.е. кривая вогнутая, а где сжаты нижние, изогнутая ось – выпуклая кривая.

(При построении эпюр необходимо следить за дифференциальными зависимостями между  $q$ ,  $Q$ ,  $M$ ,  $\varphi$ ,  $y$ ).

## 2.2 Задача 2. Сложный изгиб

### 2.2.1 Условия задачи и исходные данные

Для заданной балки (табл.2.3, 2.4) определить наибольшие нормальные напряжения  $\sigma_{\max}$  и построить эпюру напряжений в опасном сечении (рис 2.3).

Таблица 2.3

Первая цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a, м	1,3	0,7	0,8	1,2	0,9	1,1	1,4	1,9	1,0	0,7
b, м	1,9	2,0	1,6	1,8	2,3	2,5	1,8	2,5	2,2	2,1
c, м	1,4	2	2,3	0,7	0,9	1,7	2,1	1,4	2	2,5
P, кН	10	8	12	14	10	10	12	8	12	6
M, кНм	25	24	22	20	18	16	10	18	12	10

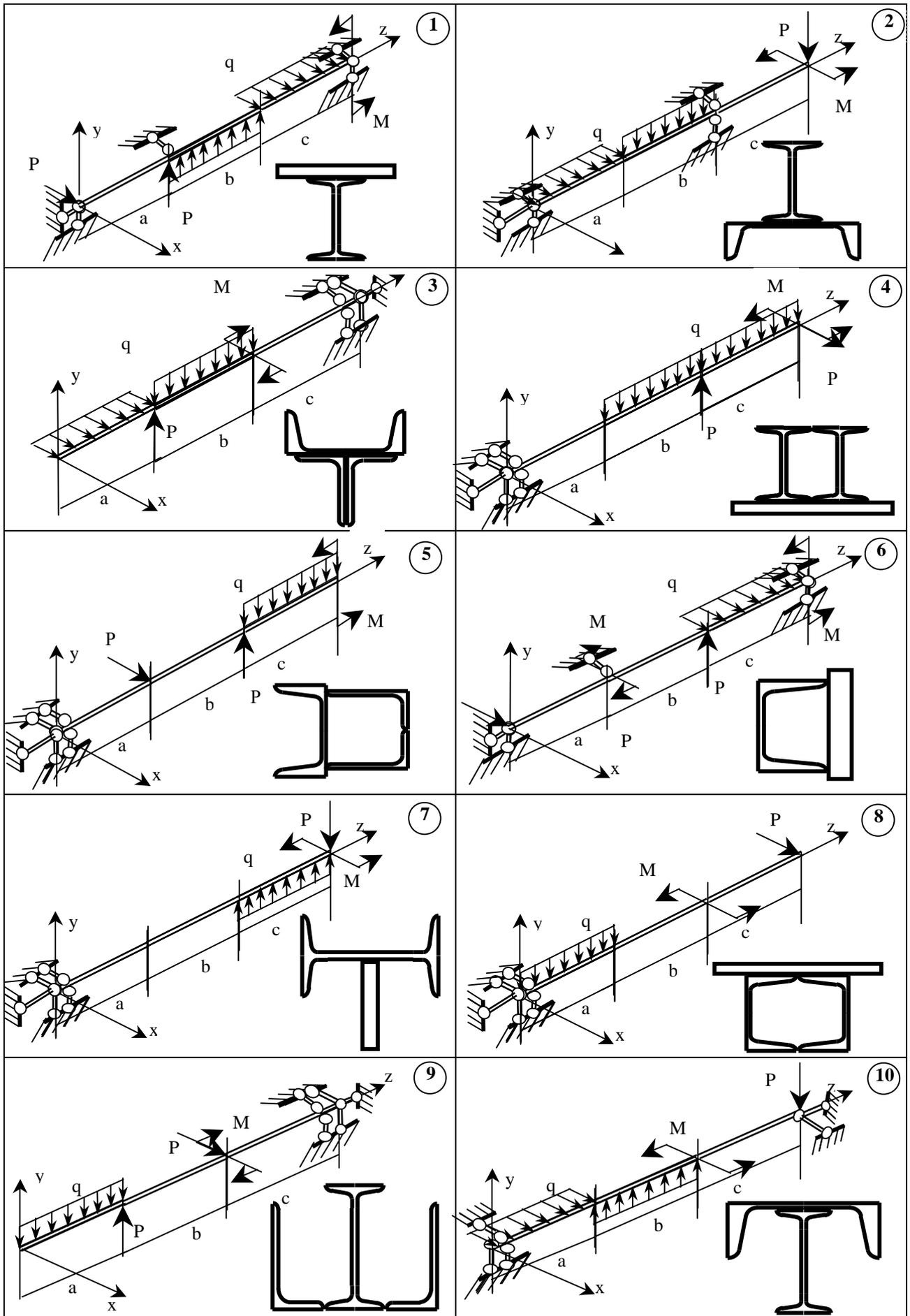


Рисунок 2.3

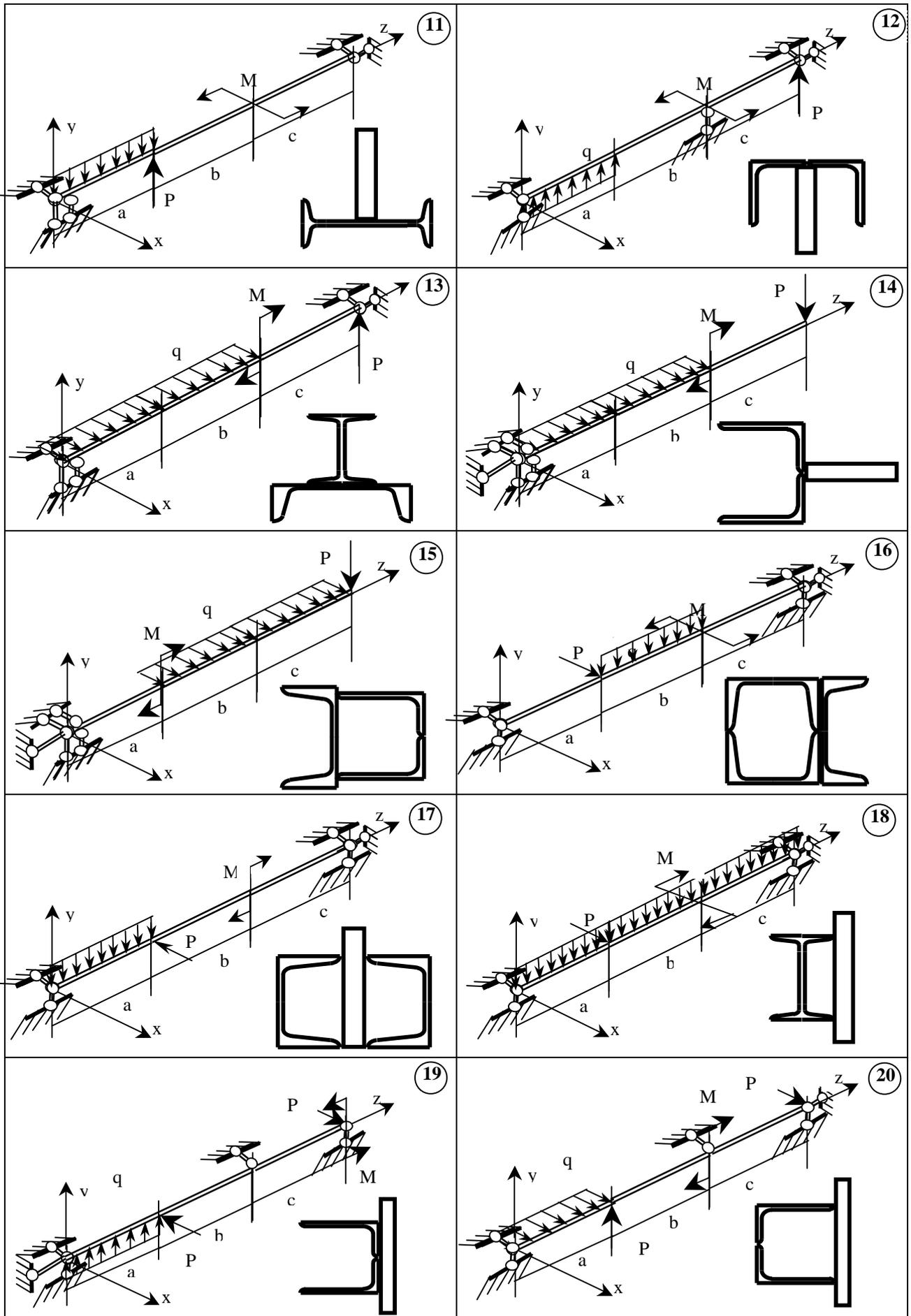


Рисунок 2.3, лист 2

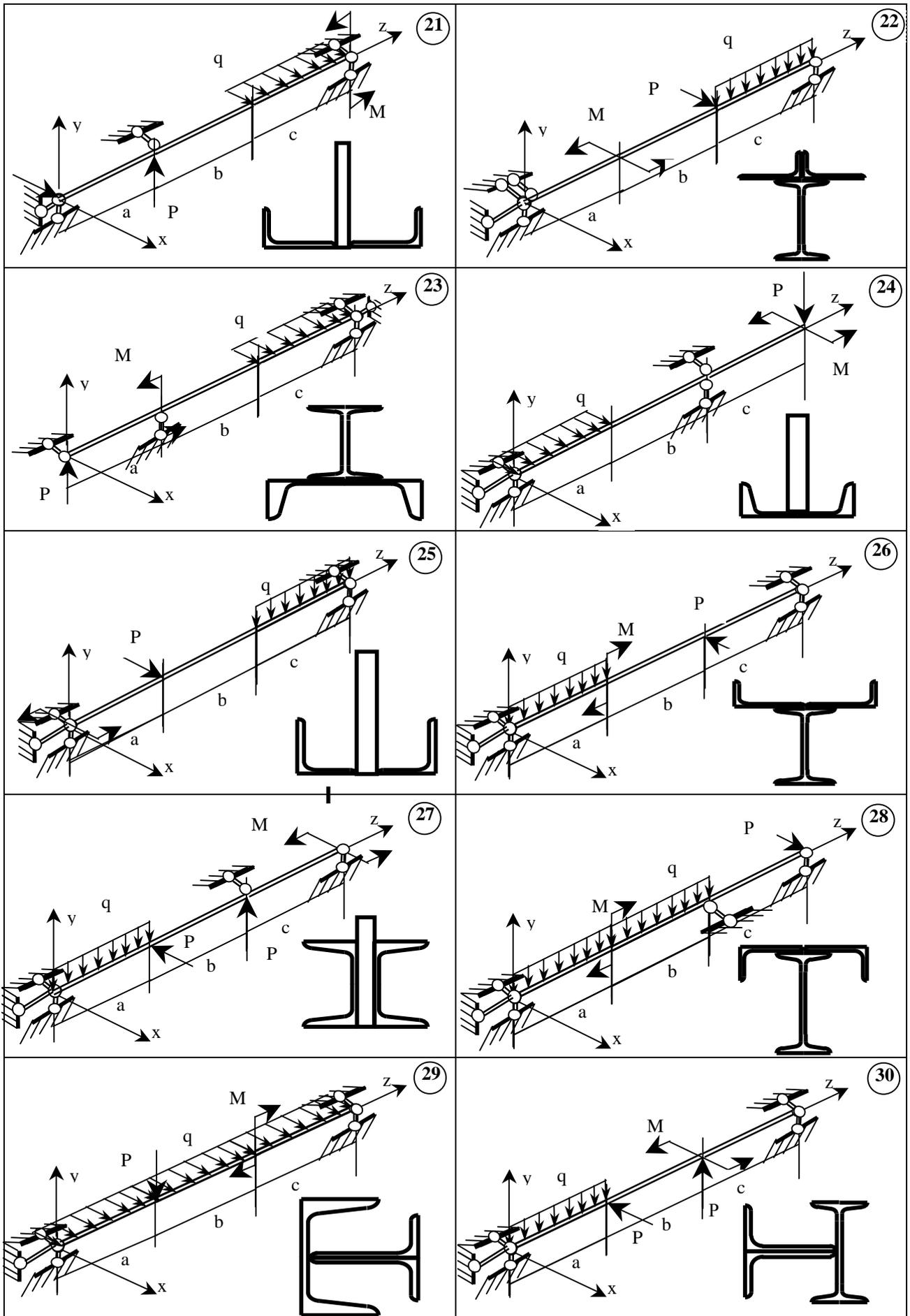


Рисунок 2.3, лист 3

Таблица 2.4

Вторая цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q, кН/м	34	24	32	36	30	40	28	20	26	32
Двутавр	27	24	40	27	45	30	24	33	36	30
Швеллер	14	12	20	14	22	24	16	14	16	18
Уголок	80x50x6	90x56x10	80x50x6	75x50x8	90x56x8	70x45x5	90x56x8	70x45x5	90x56x8	100x63x8
Полоса, см x см	2,6x20	2,0x26	1,6x30	1,4x36	1,2x40	1,0x42	1,2x36	0,8x30	1,6x36	1,4x28

### 2.2.2 План решения задачи 2

а) Сечение изображается в масштабе, определяются положение центра тяжести и моменты инерции относительно главных центральных осей  $J_x$  и  $J_y$ ,

б) Нагрузка раскладывается на вертикальную и горизонтальную составляющие, т.е. по плоскостям главных центральных осей,

в) Строятся две эпюры изгибающих моментов от сил: в вертикальной плоскости -  $M_x$  и в горизонтальной –  $M_y$ ,

г) Определяются моменты в опасном сечении. Если  $M_x$  и  $M_y$  принимают наибольшие значения в одном сечении, то проверка производится в этом сечении. Если максимальные значения в разных сечениях, то таких сечений будет два: одно где  $M_x$  – максимально, второе -  $M_y$ ,

д) Для опасного сечения записывается уравнение напряжений

$$S = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y},$$

е) Записывается уравнение нейтральной линии

$$0 = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y}$$

или

$$y = - \frac{M_y I_x}{M_x I_y} x$$

где  $-\frac{M_y I_x}{M_x I_y} = \operatorname{tg} j$  - угол наклона нейтральной линии к оси x

ж) Нейтральная линия проводится на чертеже сечения, определяются координаты точек, наиболее удаленных от нейтральной линии в растянутой ( $x_A, y_A$ ) и сжатой зонах ( $x_B, y_B$ ),

з) Вычисляются наибольшие растягивающие  $\sigma_{\max}^+$  и наибольшие сжимающие  $\sigma_{\max}^-$  напряжения в сечении 1:

$$S_{\max} = S_a = \frac{M_x^I y_a}{I_x} + \frac{M_y^I x_a}{I_y},$$

$$S_{\min} = S_b = \frac{M_x^I y_b}{I_x} + \frac{M_y^I x_b}{I_y},$$

Аналогично определяют  $\sigma_{\max}^+$  и  $\sigma_{\max}^-$  в сечении II, подставляя в соответствующие формулы  $M_x^{\text{II}}$  и  $M_y^{\text{II}}$ ,

и) Для построения эпюры нормальных напряжений проводится ось эпюры перпендикулярно нейтральной линии, а из наиболее удаленных точек А и В проводятся линии, параллельно нейтральной линии, на которых от оси эпюры откладываются отрезки, пропорциональные  $\sigma_{\max}^+$  и  $\sigma_{\max}^-$ , и концы их соединяются прямой.

## 2.3 Задача 3. Внецентренное растяжение-сжатие

### 2.3.1 Условия задачи и исходные данные

Определить допускаемую нагрузку, внецентренно приложенную на стержень, сечение которого изображено на рис 2.4 (табл.2.5, 2.6). Координаты точки приложения силы –  $x_p, y_p$ , допускаемое напряжение –  $[\sigma] = 120$  МПа.

### 2.3.2 План решения задачи 3

а) Вычерчивается сечение стержня в масштабе,

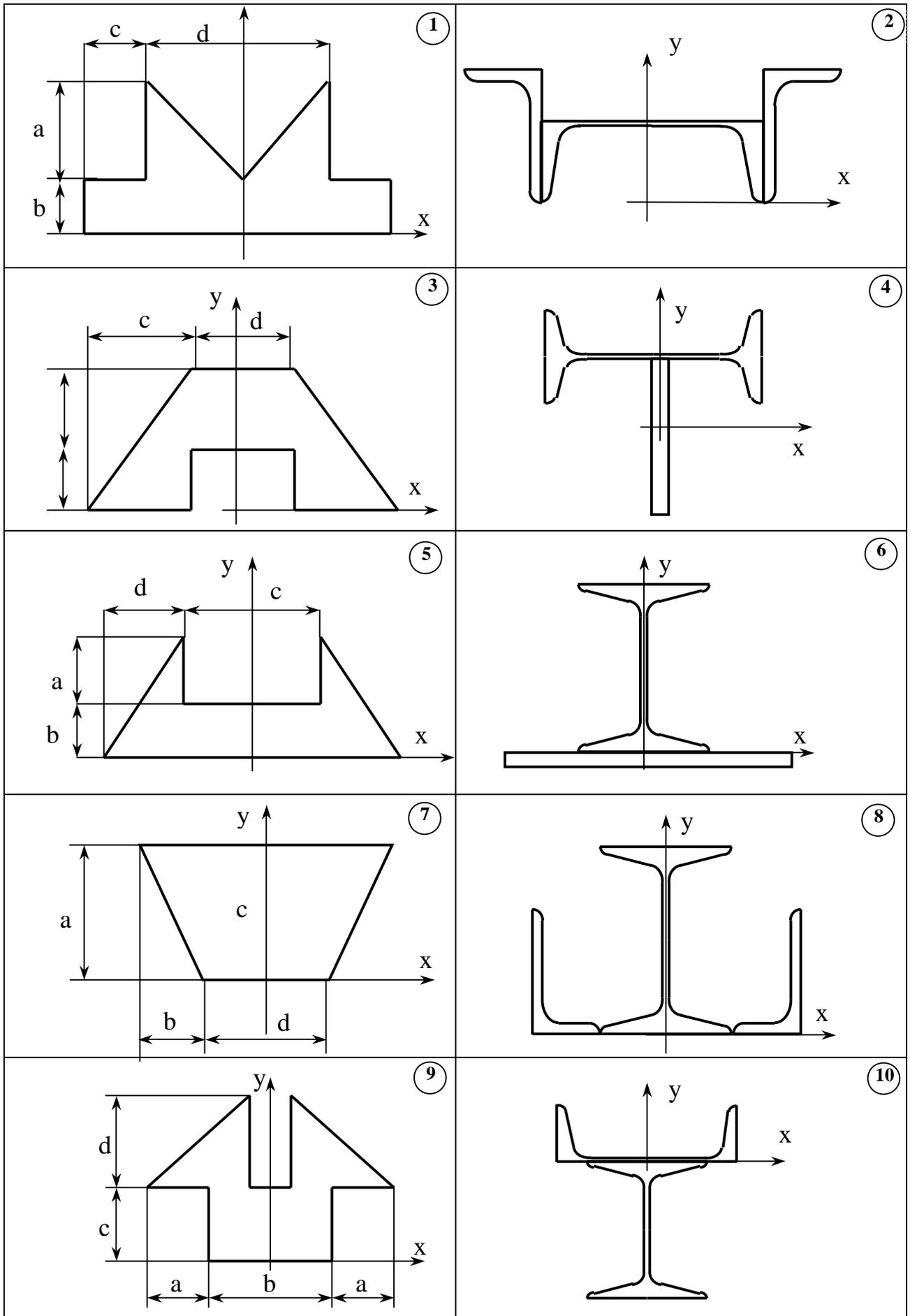


Рисунок 2.4

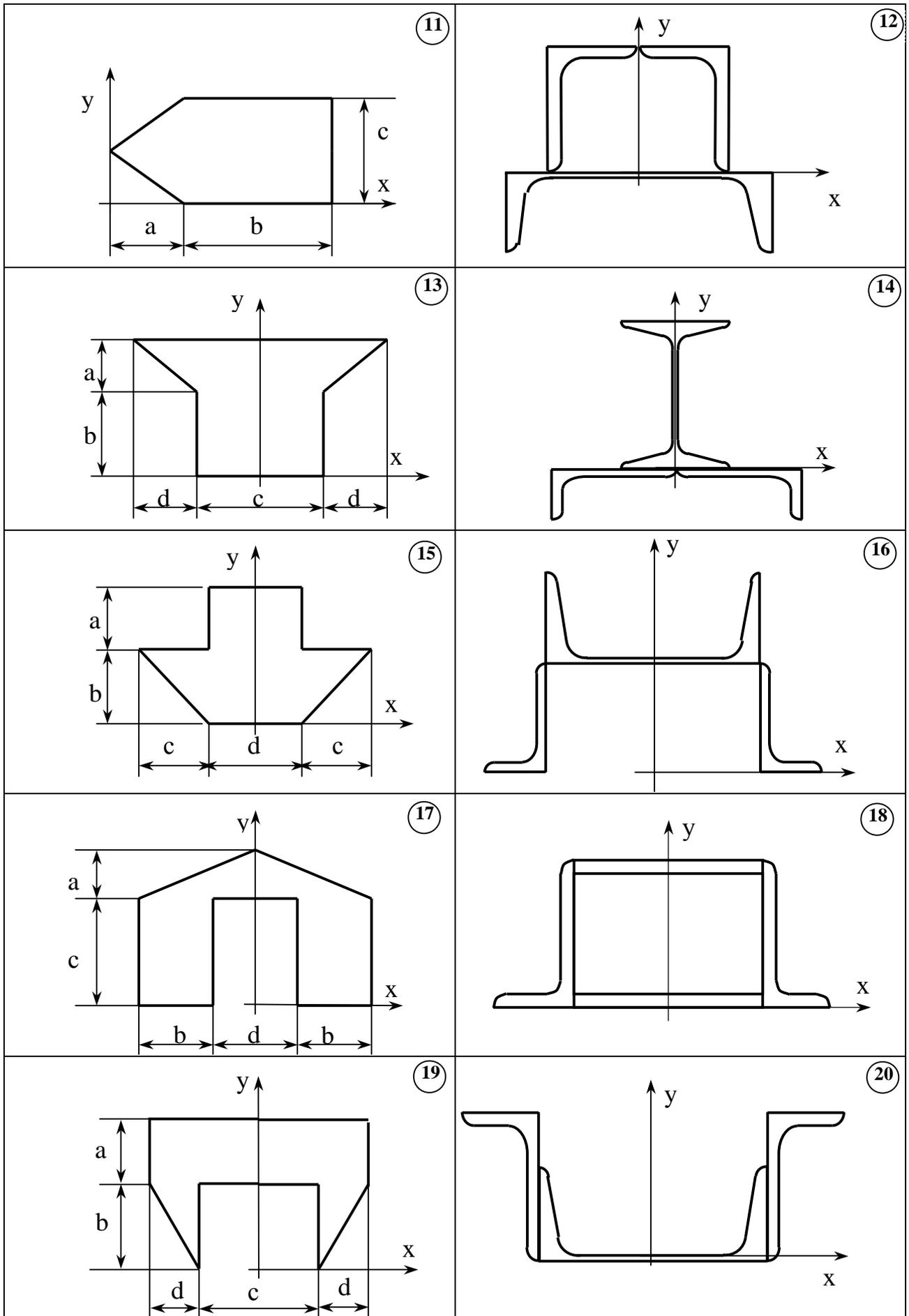


Рисунок 2.4, лист 2

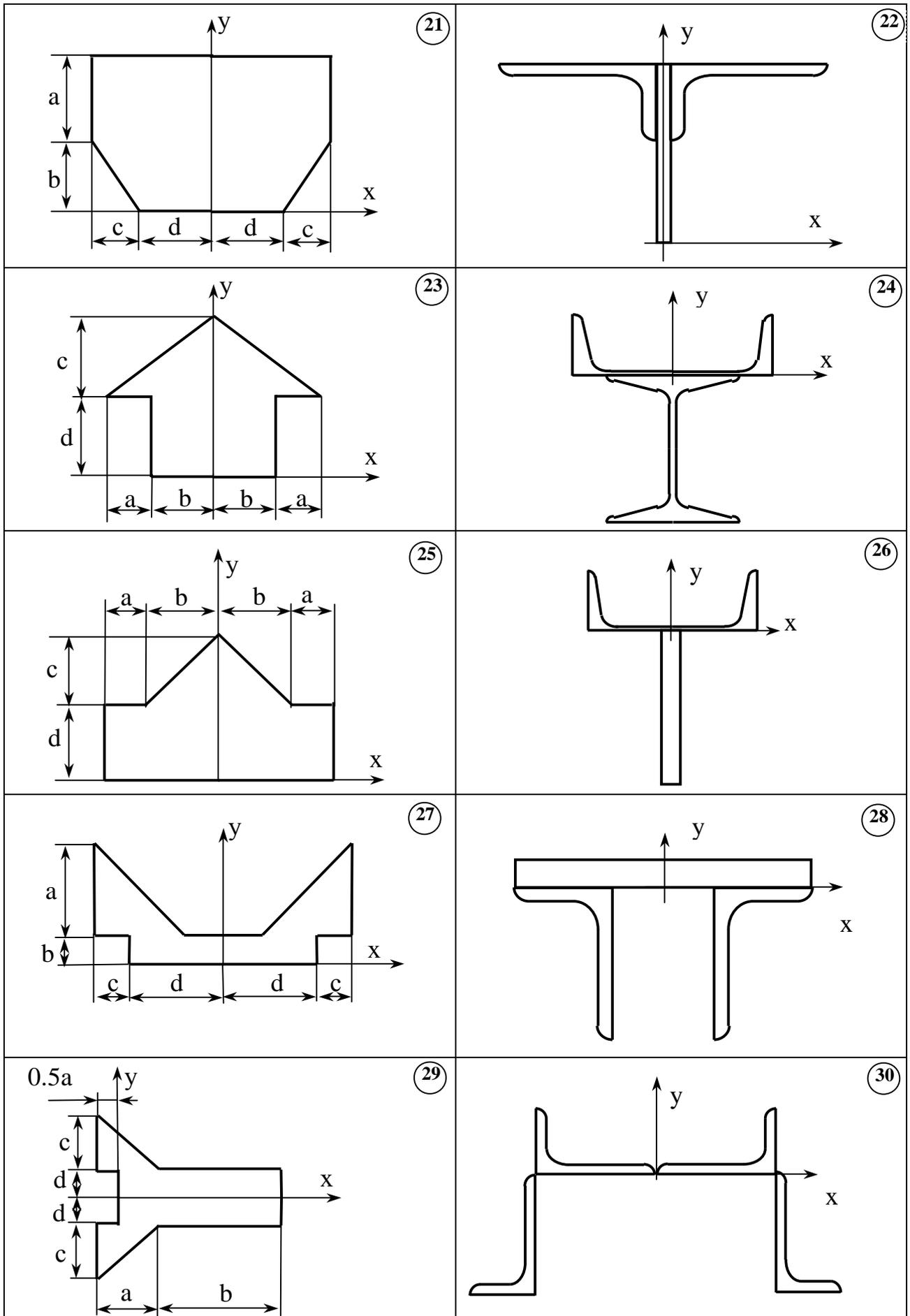


Рисунок 2.4, лист 3

б) Определяются координаты центра тяжести сечения, моменты инерции  $I_{x_c}$ ,  $I_{y_c}$  и площадь  $F$ ,

Таблица 2.5

Величина	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_p$ , см	1	-1.2	1.4	-1.6	-1.8	1.6	-1.4	1.2	1.0	-1.8
$y_p$ , см	2.8	2.4	2.2	2	1.8	-1.8	-2	-2.2	-2.4	-2.8
Двутавр	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18
Швеллер	18	16	14	12	10	18	16	14	12	10
Полоса $b \times h$ , см <sup>2</sup>	150X12	170X14	180X16	200X18	220X20	240X24	260X20	230X20	240X40	180X24
$a$ , см	4	4.5	5	5.5	6	5.5	5	4.5	4	6

Таблица 2.6

Величина	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$b$ , см	5	6	7	8	4	5.5	4.5	6.5	7.5	8.5
$c$ , см	8	7	6	5	4	8.5	7.5	6.5	5.5	4.5
$d$ , см	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	4	5	6	7	8
Уголок	100X63X8	50X32X4	63X40X6	75X50X8	100X63X8	125X80X10	160X100X12	180X110X10	200X125X14	250X160X18

в) Записывается уравнение напряжений

$$s = \frac{P}{F} + \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y} = \frac{P}{F} + \frac{P y_p}{I_x} y + \frac{P x_p}{I_y} x,$$

г) Записывается уравнение нейтральной линии

$$0 = \frac{1}{F} + \frac{y_p}{I_x} y + \frac{x_p}{I_y} x$$

д) Вычисляются длины отрезков  $a_x$  и  $a_y$ , отсекаемых нейтральной линией на координатных осях

$$a_x = -\frac{I_{y_c}}{F x_p}, \quad a_y = -\frac{I_{x_c}}{F y_p},$$

где  $x_p$  и  $y_p$  – координаты точки приложения силы в системе координат, связанной с главными центральными осями,

е) Найденные отрезки  $a_x$  и  $a_y$  откладываются на чертеже сечения в масштабе, проводится центральная линия,

ж) По чертежу определяются координаты точки А, наиболее удаленной от нейтральной линии  $x_a$ ,  $y_a$  (также в главных центральных осях),

з) Записывается условие прочности в виде

$$S_{\max} = S_a = P \left( \frac{1}{F} + \frac{x_p x_a}{I_{y_c}} + \frac{y_p y_a}{I_{x_c}} \right) \leq [S],$$

откуда определяется допускаемая нагрузка

$$P \leq \frac{[S]}{\frac{1}{F} + \frac{x_p x_a}{I_{y_c}} + \frac{y_p y_a}{I_{x_c}}}.$$

## 2.4 Задача 4. Изгиб с кручением

### 2.4.1 Условие задачи и исходные данные

Определить диаметр промежуточного вала редуктора по третьей теории прочности, схема которого показана на рис 2.5. Мощность, передаваемая валом  $W$ , угловая скорость вала  $n$  приведены в табл.2.7 и 2.8. Соотношения между окружной, радиальной и осевой составляющими усилия в зацеплении принять,  $T = 0,32 P$ ,  $S = 0,4 P$ . Допускаемое напряжение  $[\sigma] = 80$  МПа.

### 2.4.2 План решения задачи 4

а) Определяется крутящий момент, передаваемый валом

$$M_{кр} = 9,54 \frac{W}{n},$$

где  $W$  – мощность,  $n$  – число оборотов вала,

б) По найденному моменту находятся окружные усилия в зацеплении

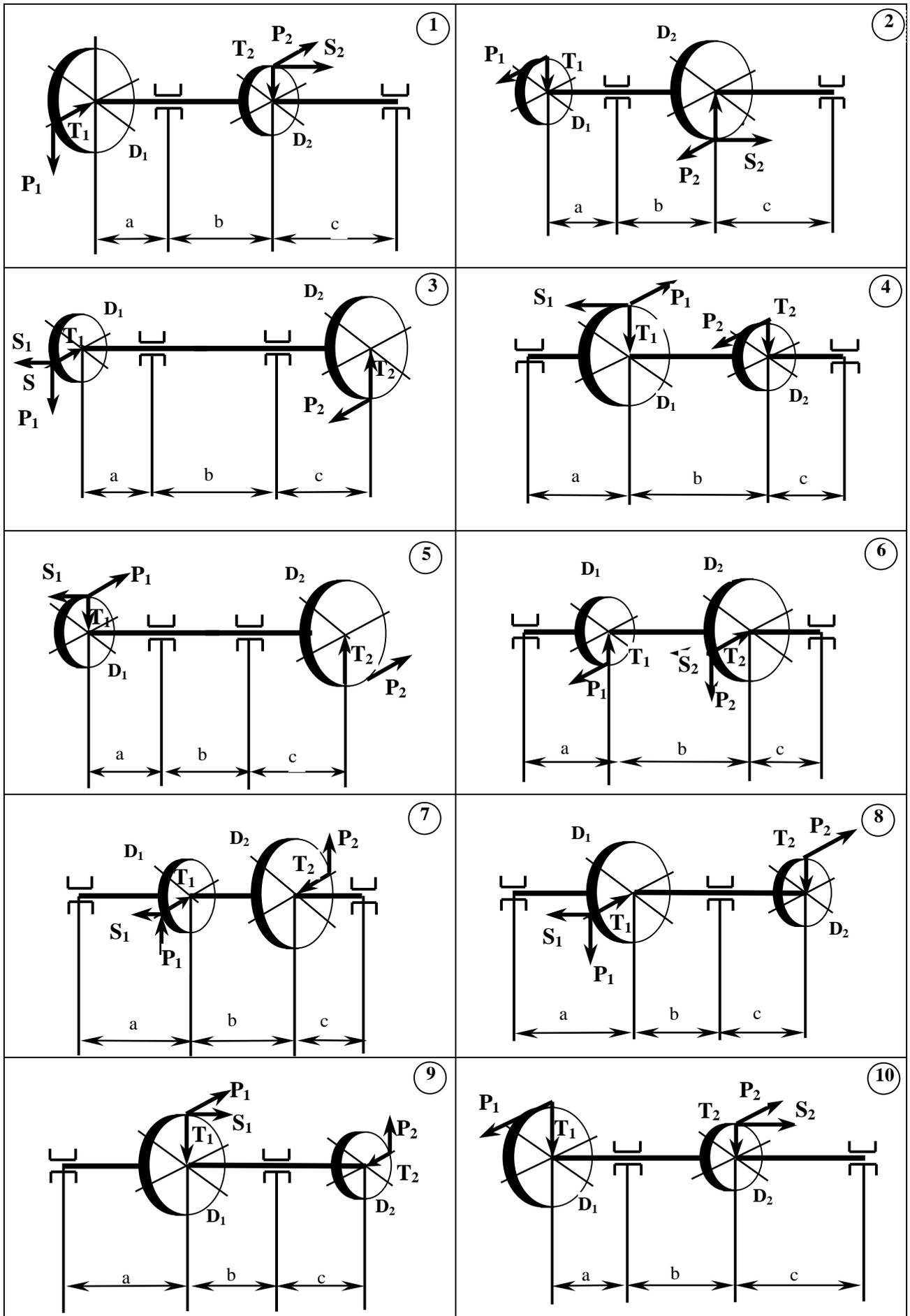


Рисунок 2.5

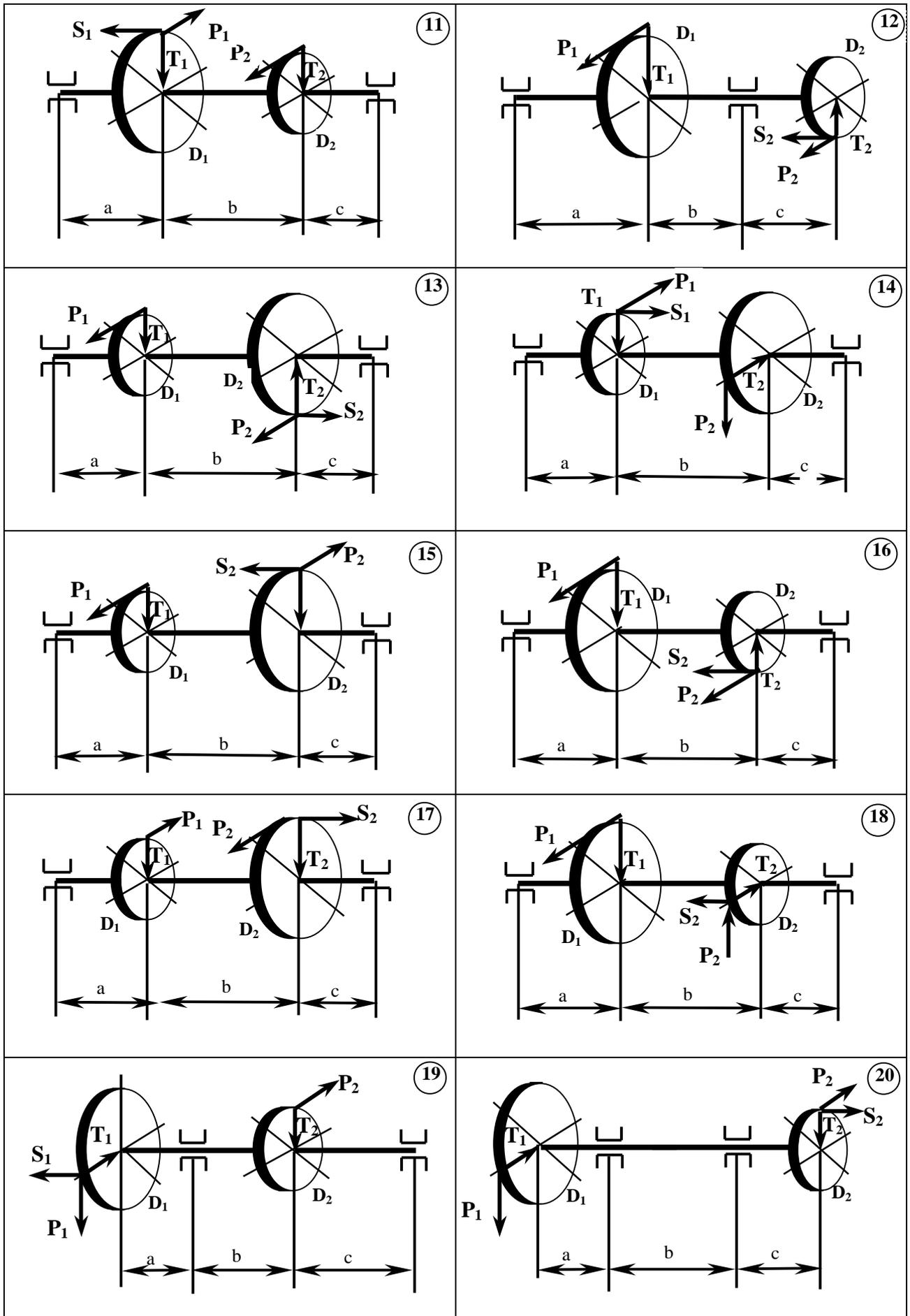


Рисунок 2.5, лист 2

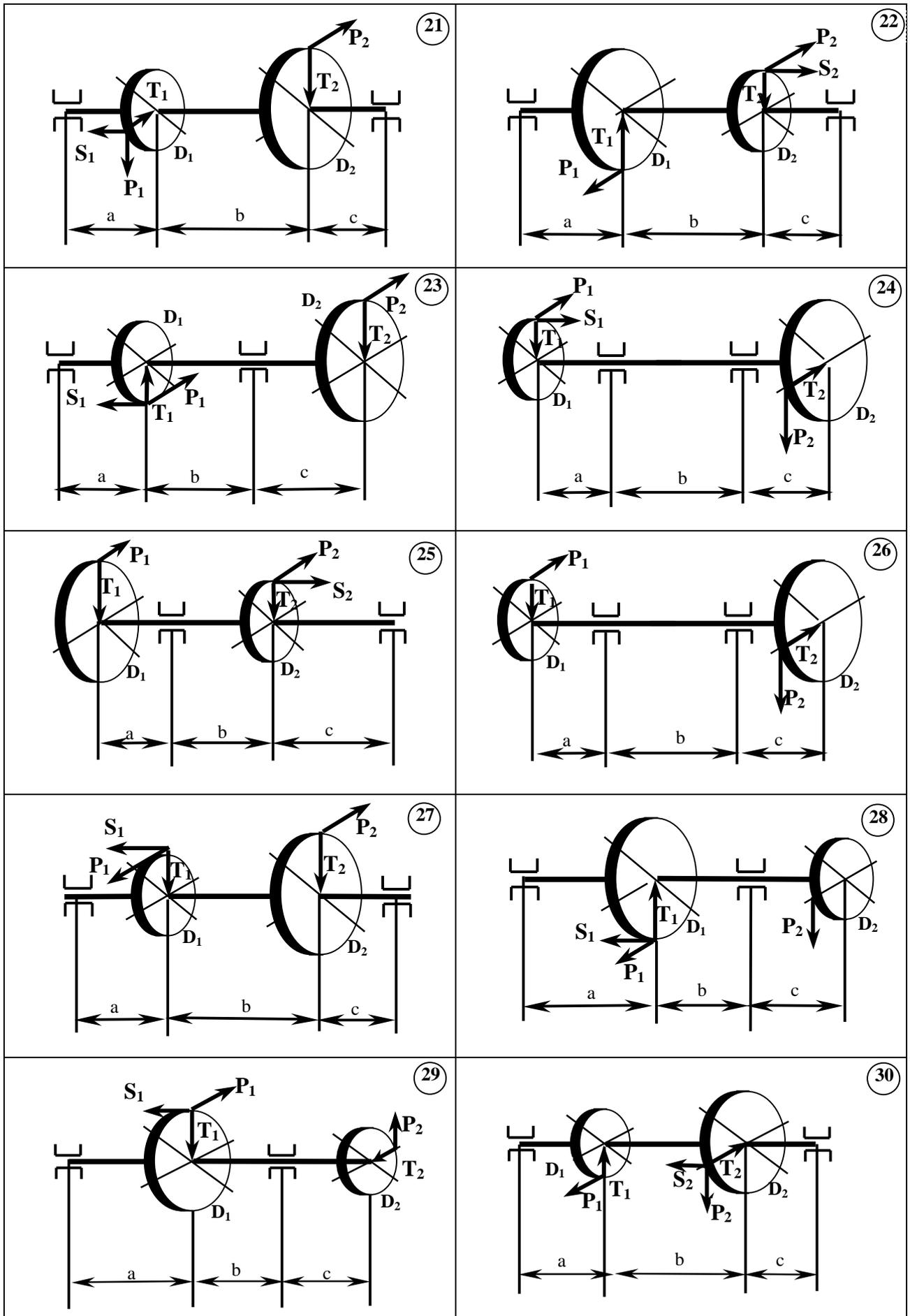


Рисунок 2.5, лист 3

$$P = \frac{2 M_{кр}}{d}$$

и затем осевые и радиальные:

$$T = 0.32 P \quad S = 0.2 P$$

Таблица 2.7

Первая цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
W, КВт	10	35	20	45	15	25	50	30	55	40
d <sub>1</sub> , м	0,5	0,9	0,6	0,8	0,5	0,9	0,6	0,8	0,7	0,8
d <sub>2</sub> , м	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,4	0,6

Таблица 2.8

Вторая цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
n, об/мин	100	350	200	450	300	150	500	250	400	350
a, м	0,7	0,5	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,6	0,5
b, м	0,5	0,6	0,4	0,5	0,3	0,5	0,4	0,5	0,7	0,6
c, м	0,3	0,5	0,7	0,5	0,6	0,4	0,6	0,7	0,5	0,7

в) Изображаются отдельно нагрузки и опорные реакции, действующие в вертикальной плоскости, определяются реакции опор, строится эпюра изгибающих моментов от этих сил  $M_{верт}$ ,

г) То же самое для сил в горизонтальной плоскости – эпюра  $\Gamma_{гор}$ ,

д) Строится суммарная эпюра изгибающего момента  $M_{\Sigma}$

$$M_{\Sigma} = \sqrt{M_{верт}^2 + M_{гор}^2},$$

е) Строится эпюра крутящих моментов  $M_{кр}$ ,

ж) Из анализа эпюр  $M_{\Sigma}$  и  $M_{кр}$  находится опасное сечение, где сумма квадратов всех трех моментов наибольшая,

з) Определяется приведенный момент

$$M_{прив.}^{III} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_{кр}^2},$$

и) Диаметр вала находится из условия прочности по III теории:

$$S_{экв} = \frac{M_{прив}^{III}}{W_x} \leq [S], \quad d \geq 3 \sqrt{\frac{32 M_{прив}^{III}}{p [S]}}$$

переводится в мм и округляется до размера, кратного 5.

## 3 КУРСОВОЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ 5

### РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ СИЛ

#### 3.1 Задача 1. Статически неопределимая рама.

##### 3.1.1 Условие задачи и исходные данные

Раскрыть статическую неопределимость рамы (табл.3.1,3.2, рис 3.1), построить эпюры продольных, поперечных сил и изгибающих моментов. Подобрать двутавровое сечение, если  $[\sigma] = 160$  МПа. Определить угол поворота узла К.

Таблица 3.1

Первая цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a, м	1	1,2	0,8	2	2,2	1,2	1,6	1	1,8	1,4
b, м	2	1,6	1,4	2,4	1,4	1,8	2	1,4	1,2	2,2
c, м	2,5	2	1,8	0,8	0,8	2,2	2,4	2,2	2,4	0,8
d, м	2,2	0,8	1	1,2	1,8	0,8	1	0,8	0,8	1,8

Таблица 3.2

Вторая цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P, кН	10	14	18	20	16	22	20	22	14	18
M, кНм	16	8	10	12	10	8	8	10	12	8
q, кН/м	8	10	6	8	6	10	10	6	10	10

##### 3.1.2 План и рекомендации по решению задачи

- а) Опоры заменяются опорными реакциями,
- б) Находится степень статической неопределимости как разность между числом неизвестных реакций и числом уравнений статики,
- в) Выбирается основная система путем отбрасывания “лишних” связей. Рекомендуется основную систему выбирать как можно ближе к исходной, т.е. отбрасывать те связи, без которых жесткость системы уменьшается не слишком сильно. Основная система должна быть статически определимой и не должна быть механизмом, т.е. для плоской рамы реакций должно быть 3 и они не



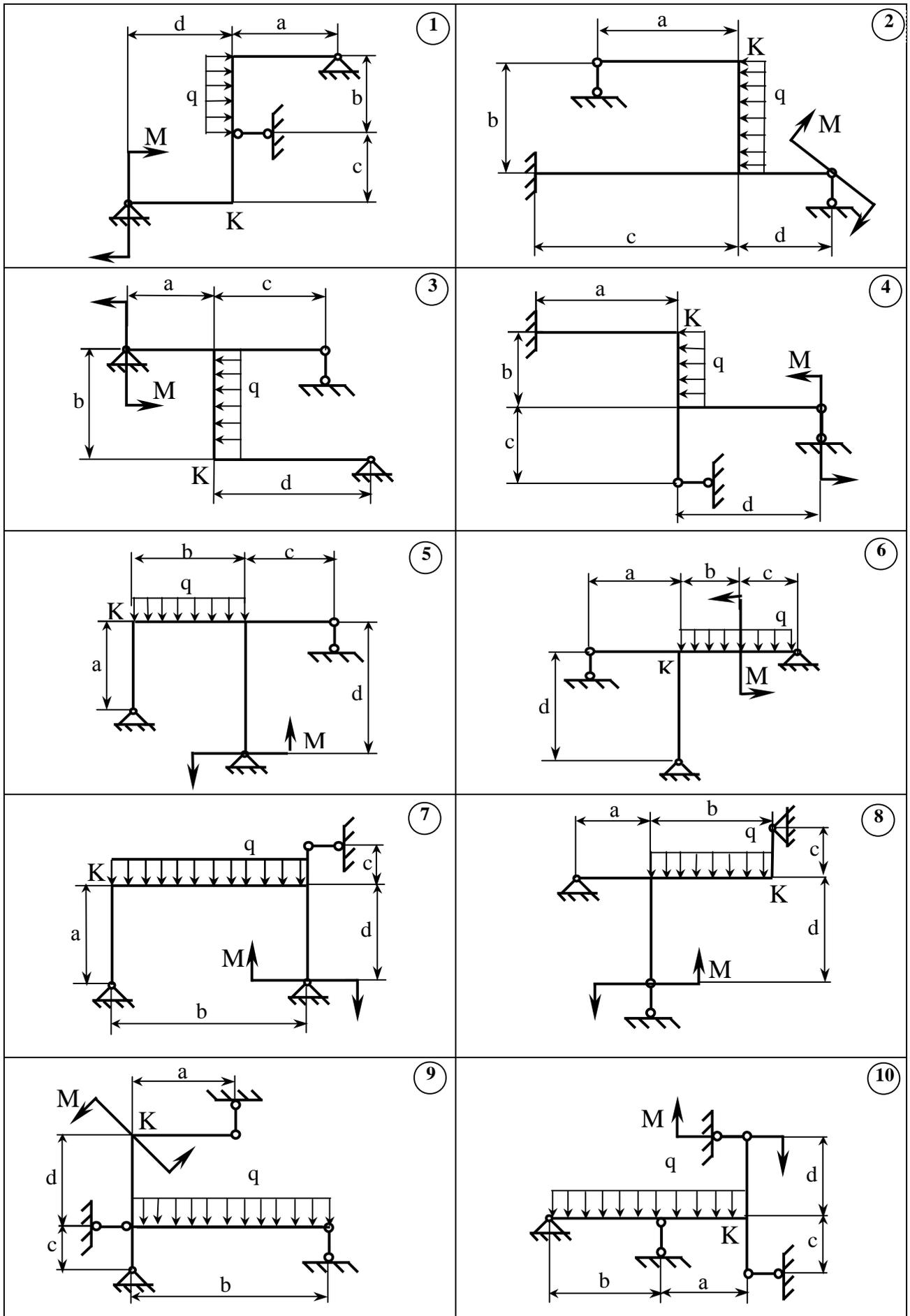


Рисунок 3.1

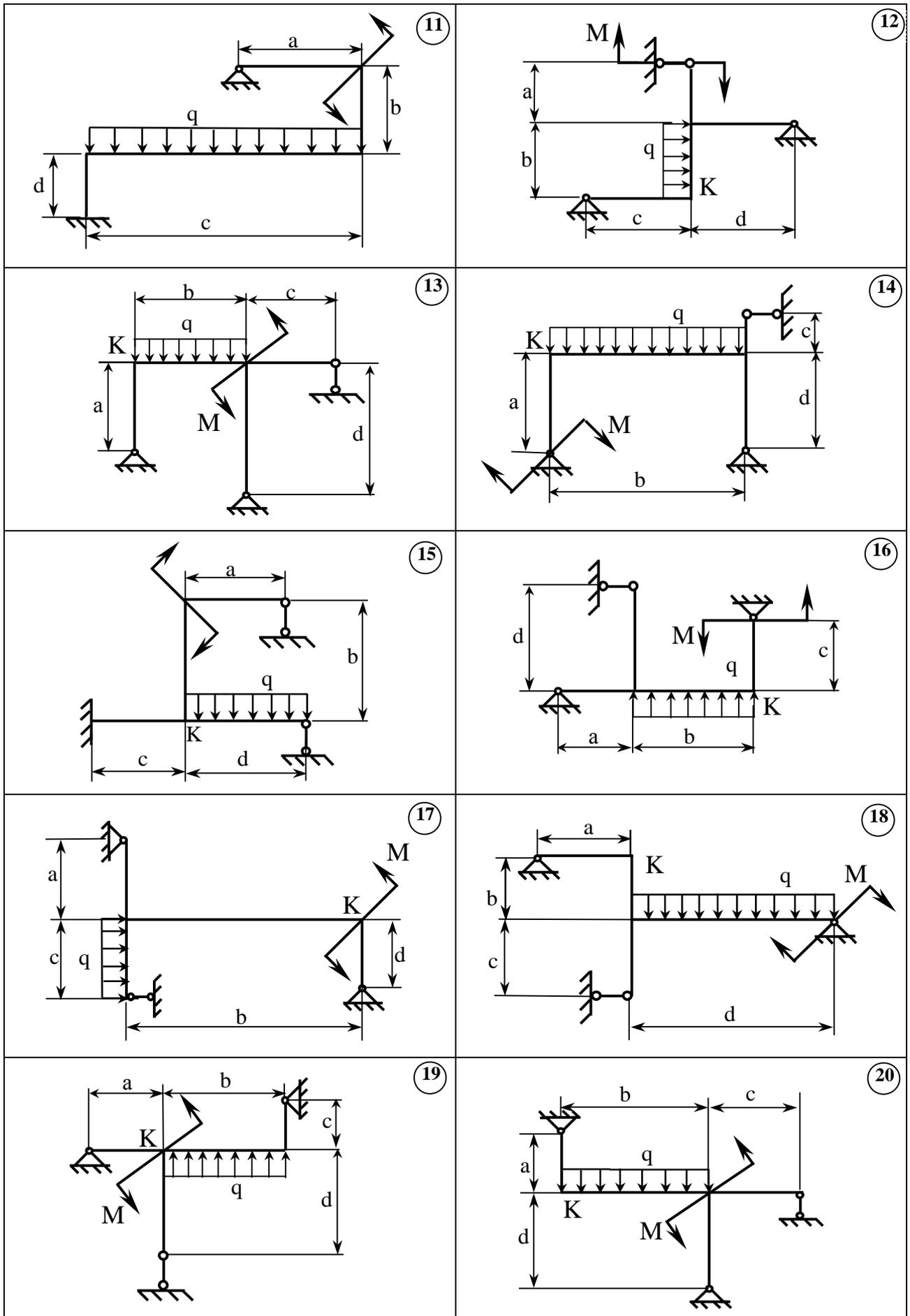


Рисунок 3.1, лист 2

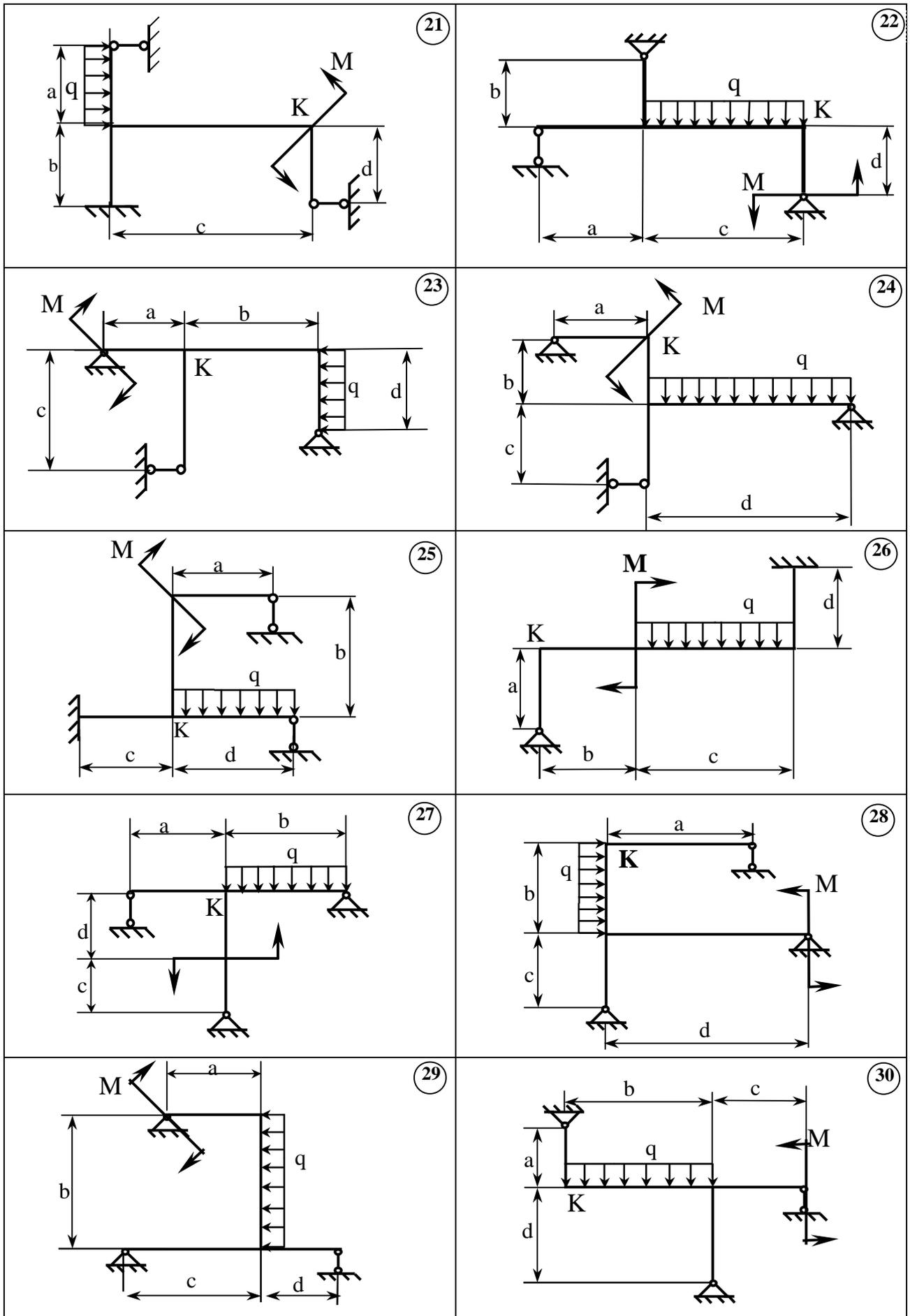


Рисунок 3.1, лист 3

л) В эквивалентной системе определяются опорные реакции от внешних сил и найденных  $X_1, X_2 \dots X_n$ , строятся окончательные эпюры продольных, поперечных сил и изгибающих моментов.

На окончательной эпюре моментов  $M$  максимальные значения моментов, как правило, уменьшаются, а минимальные увеличиваются по сравнению с эпюрой  $M_p$  в основной системе, т.е. моменты по длине стержневой системы перераспределяются более равномерно,

м) Деформационная проверка выполняется «перемножением» окончательной эпюры  $M$  последовательно на каждую из единичных эпюр от  $X_1=1, X_2=1 \dots$  и т.д. В результате перемножения должны получиться числа, близкие к нулю, т.е. сумма положительных и отрицательных слагаемых должна составлять 2-3% от суммы положительных слагаемых,

м) Сечение подбирается из условия прочности при плоском изгибе:

$$s = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [s] , \quad W_x \geq \frac{M_{\max}}{[s]} ,$$

где  $M_{\max}$  – наибольшая ордината на окончательной эпюре изгибающих моментов.

По найденному моменту сопротивления  $W_x$  вычисляется необходимый номер двутавра,

м) Прикладывается единичная нагрузка в сечении и в направлении требуемого перемещения (при определении углового перемещения – единичный момент, при определении линейного перемещения – единичная сила) к основной системе, находят опорные реакции от приложенной единичной нагрузки, и строится эпюра изгибающих моментов  $\bar{M}$ . Полученная эпюра “перемножается” на окончательную эпюру моментов.

## 3.2 Задача 2. Неразрезная балка

### 3.2.1 Условие задачи и исходные данные

Для неразрезной балки (табл.3.3, 3.4, рис.3.2) раскрыть статическую неопределимость, построить эпюры внутренних усилий, подобрать двутавровое сечение и определить прогиб в точке  $K$  и угол поворота сечения  $A$ .

### 3.2.2 План и особенности решения задачи 2

План решения задачи 2 такой же, как и задачи 1, однако имеются некоторые особенности в выборе основной системы:

а) В качестве основной системы принимается балка с шарнирами, помещенными над лишними опорами, и жесткая заделка заменяется неподвижным шарниром. При этом неразрезная балка превращается в несколько независимых шарнирно-опорных балок,

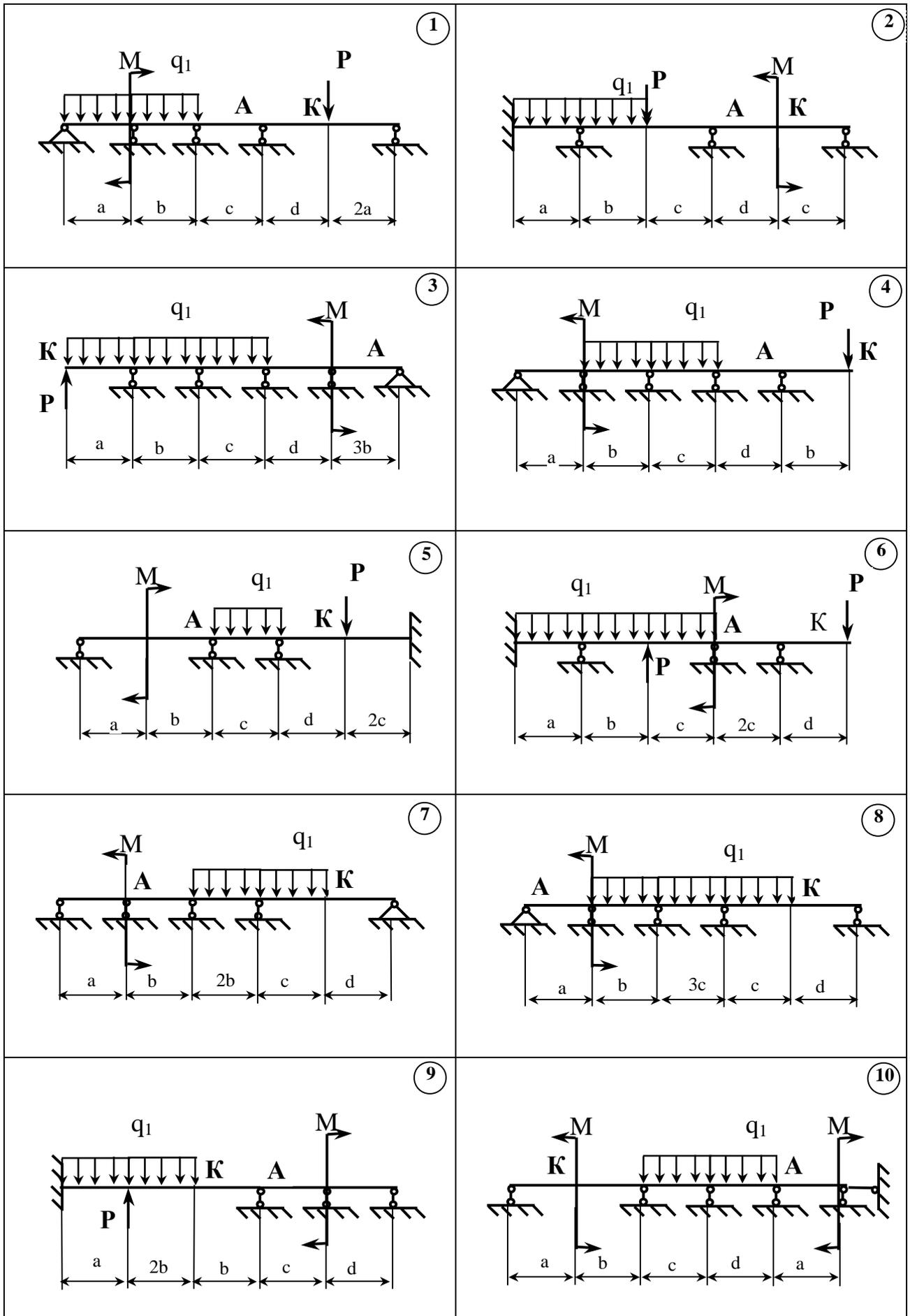


Рисунок 3.2

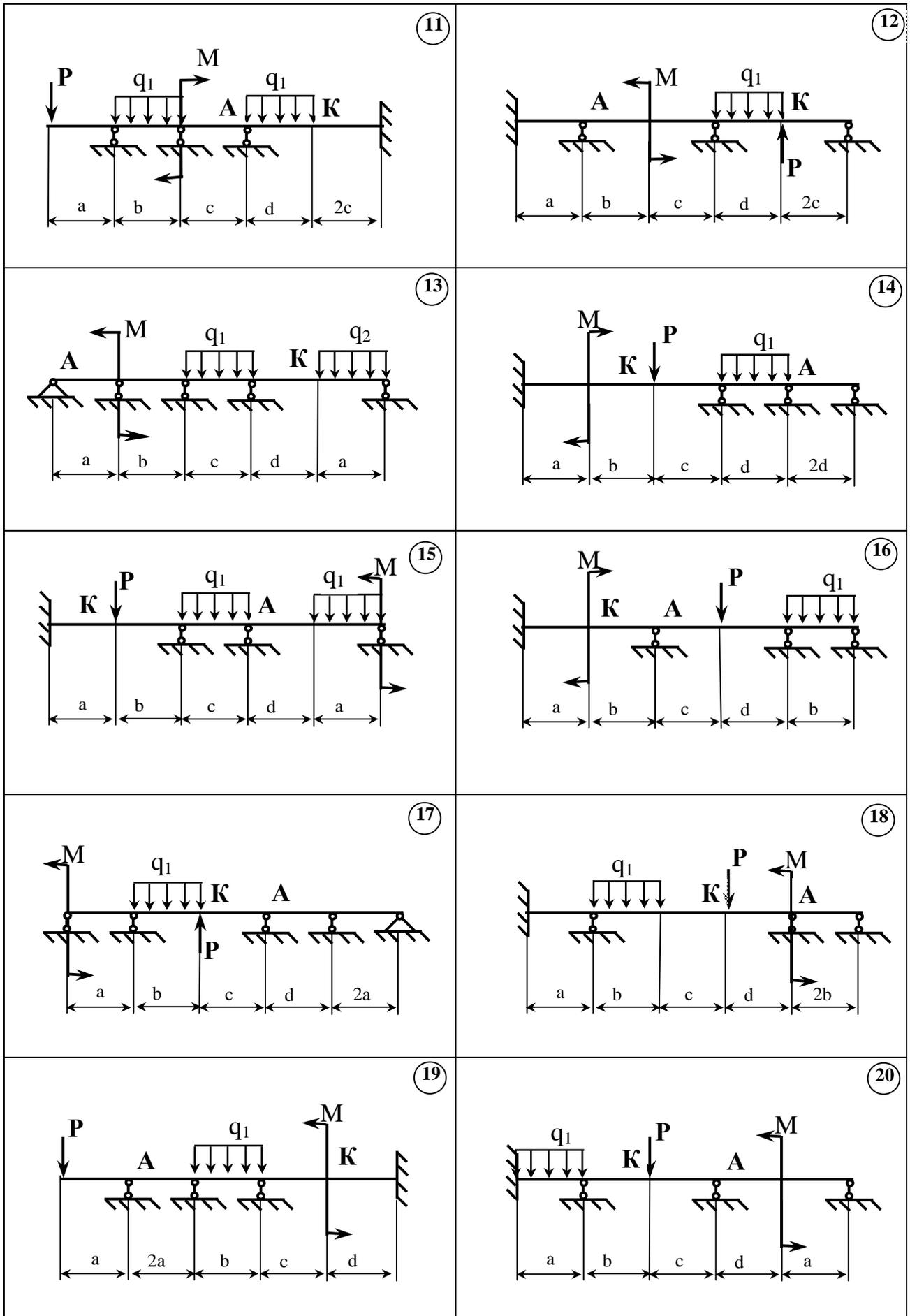


Рисунок 3.2, лист 2

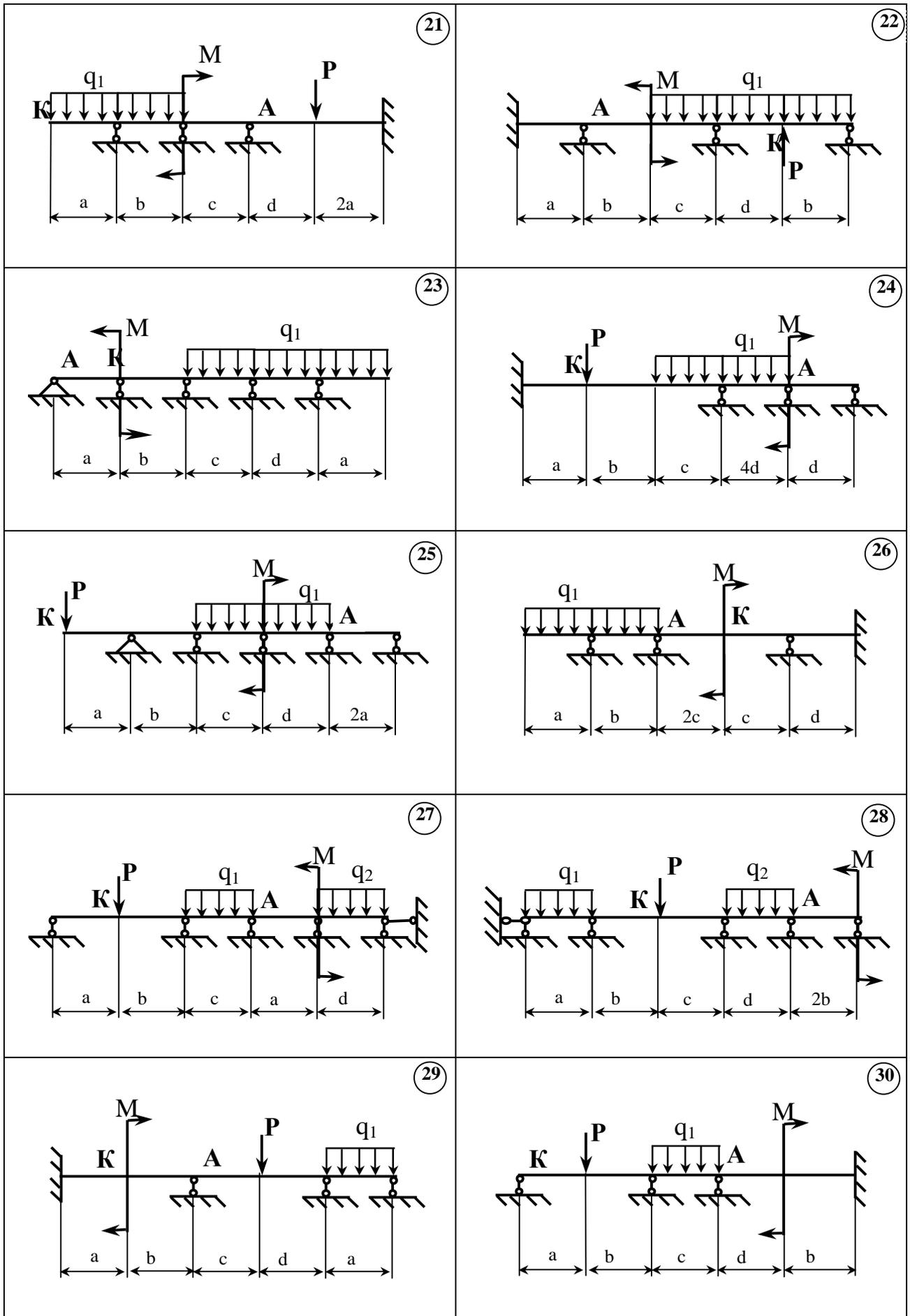


Рисунок 3.2, лист 3

Таблица 3.3

Первая цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a, м	1,5	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6	1,3	1,1	2,8
b, м	2,9	2,7	2,5	2,1	1,9	1,7	1,6	1,2	1,2	1,2
c, м	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,6	2,8	1,4
d, м	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	2,0	1,4	2,2

Таблица 3.4

Вторая цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P, кН	6	8	4	6	8	4	6	8	4	6
q, кН/м	10	12	14	12	14	10	12	10	14	10
M, кНм	8	6	10	4	6	6	8	10	8	12

б) Неизвестными метода сил при таком выборе основной системы являются моменты во введенных шарнирах  $X_1, X_2 \dots X_n$ , которые показываются на эквивалентной системе,

в) Окончательная эпюра моментов в пределах любых двух соседних участков должна менять знак, максимальные ординаты, как правило, уменьшаются по сравнению с соответствующими значениями эпюры  $M_p$ .

## 4 КУРСОВОЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ 6

### УСТОЙЧИВОСТЬ И КОЛЕБАНИЯ УПРУГИХ СИСТЕМ

#### 4.1 Задача 1. Подбор сжатой стойки

##### 4.1.1 Условие задачи и исходные данные

Для заданной стойки длиной  $l$  (табл.4.1, 4.2), расчетная схема и форма сечения которой показаны на рис.4.1, из условия устойчивости подобрать размеры сечения и рационально расположить его. Перегруз сечения не допускается, а недогруз не должен превышать 10%.

##### 4.1.2 План решения задачи

а) Подбор сечения осуществляется из условия устойчивости

$$s = \frac{P}{F} \leq j [s],$$

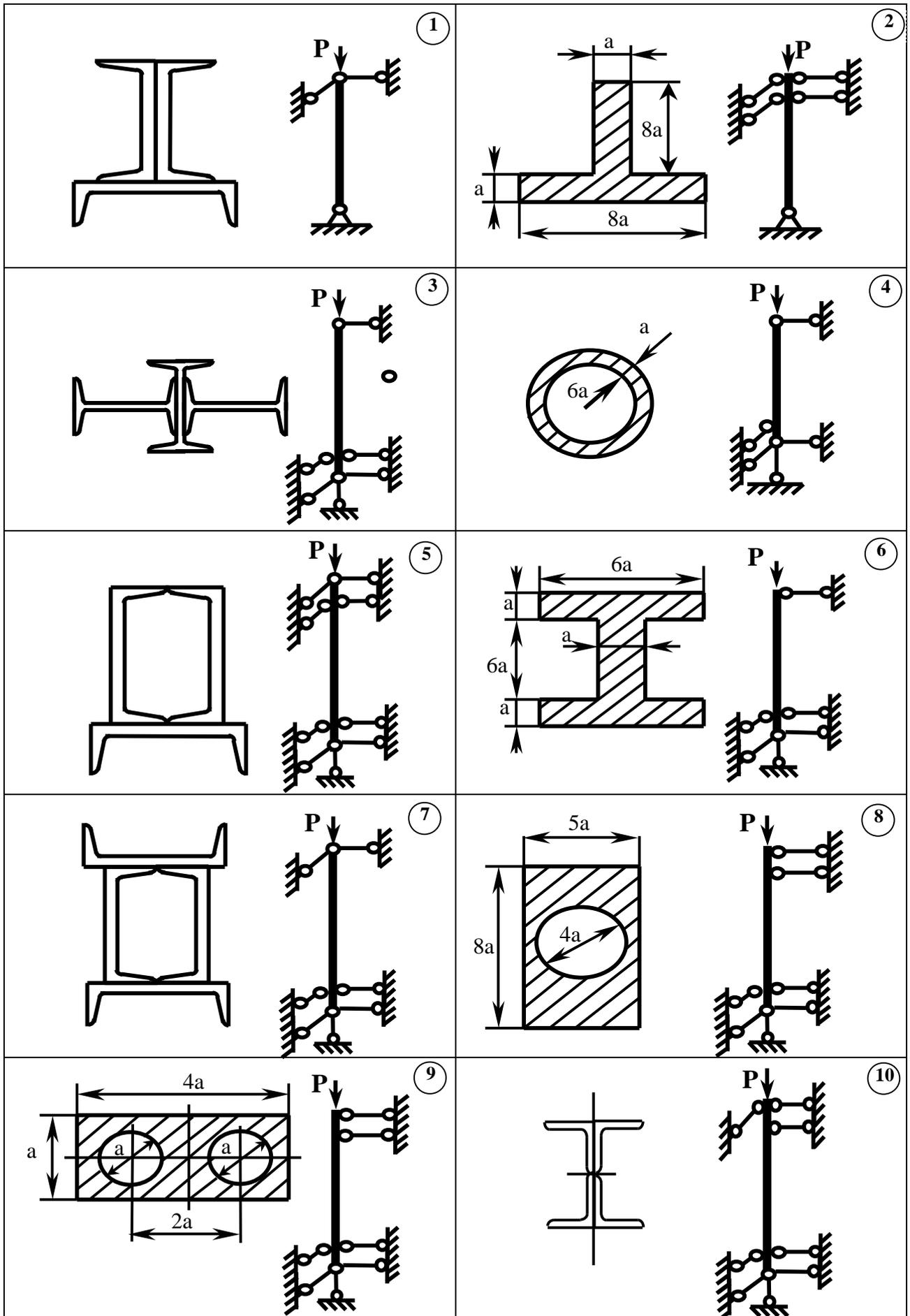


Рисунок 4.1

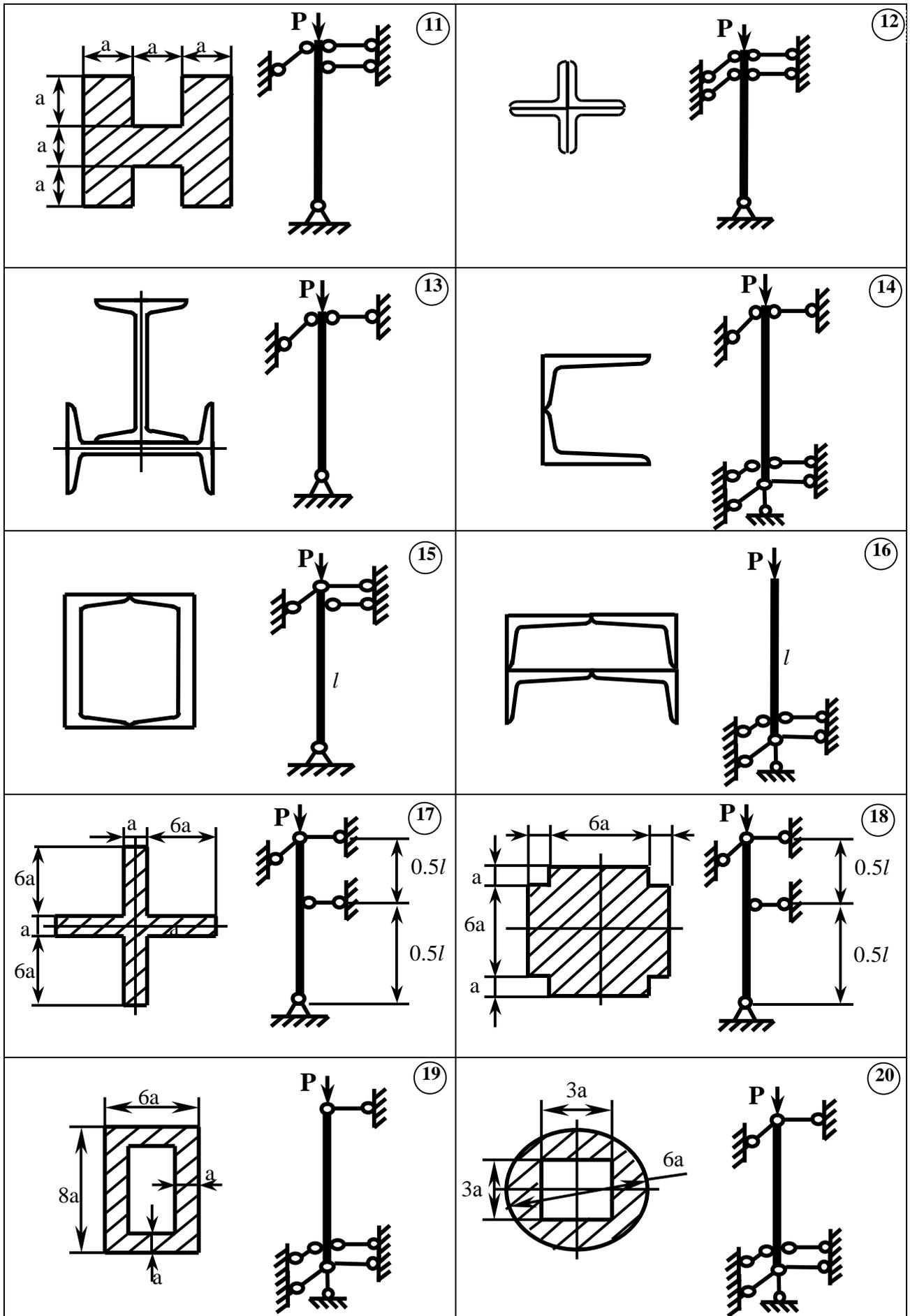


Рисунок 4.1, лист 2

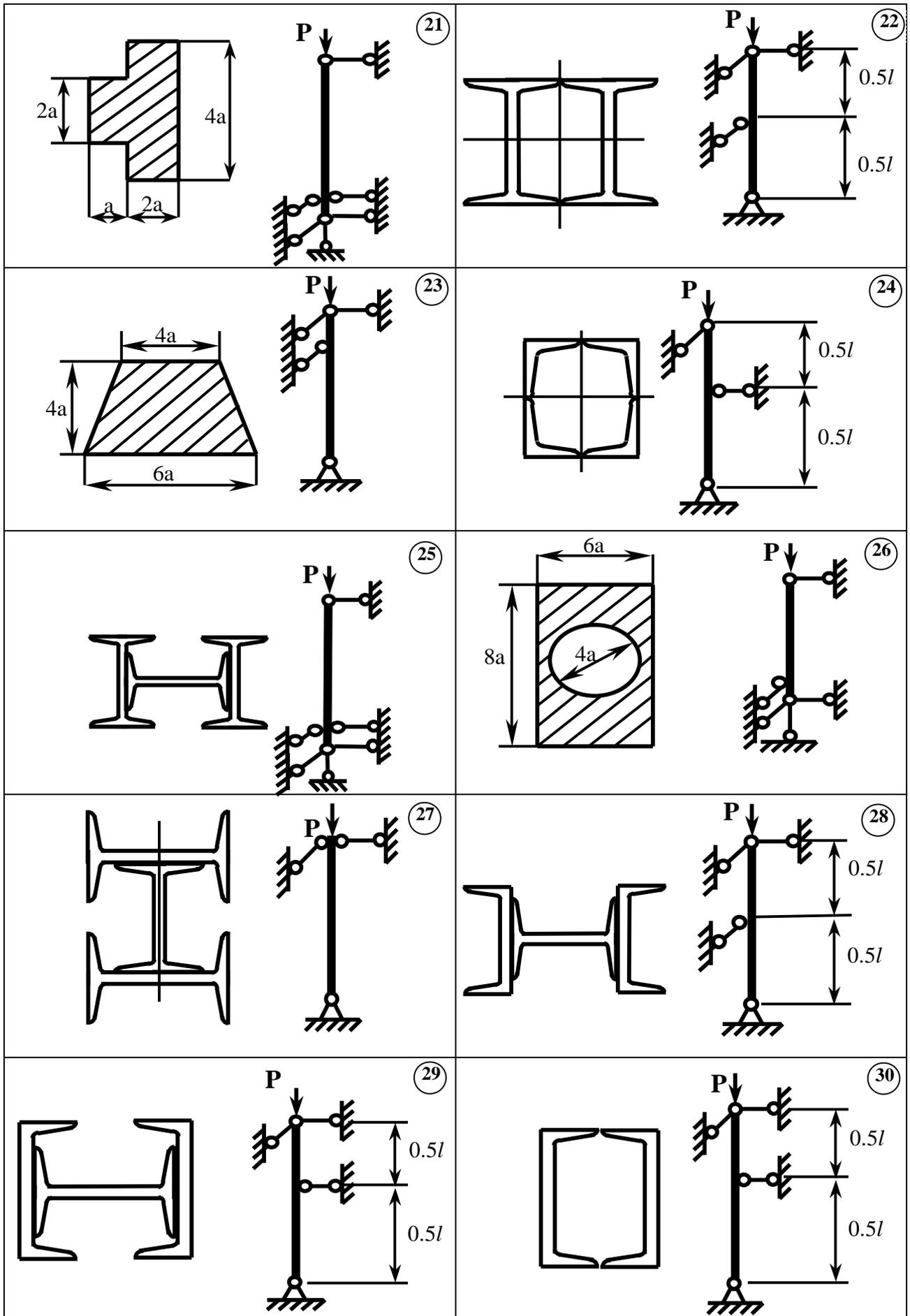


Рисунок 4.1, лист 3

где  $P$  – действующая нагрузка,  
 $F$  – площадь поперечного сечения,  
 $\varphi$  - коэффициент снижения допускаемого напряжения .

Так как в условие устойчивости входят две неизвестные величины  $F$  и  $\varphi$ , то задачу следует решать путем последовательных приближений,

Таблица 4.1

Первая цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P$ , кН	500	550	600	650	700	450	400	350	600	500

Таблица 4.2

Вторая цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$I$ , м	4,0	3,5	3,0	5,0	2,5	5,5	4,0	4,5	5,0	3,5

б) Задаются некоторым значением коэффициента снижения допускаемого напряжения  $\varphi_0 = 0,5 - 0,6$  и из условия устойчивости определяется требуемая площадь поперечного сечения  $F_0$ :

$$F_0 \approx \frac{P}{j_0 [s]},$$

в) По найденной площади определяется номер профиля из сортамента или размер сечения «а», вычисляются его моменты инерции относительно главных центральных осей  $J_x$  и  $J_y$  и радиусы инерции относительно этих осей  $i$ :

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{F}}, \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{F}},$$

г) Вычисляются значения гибкости в двух плоскостях, предварительно рационально располагается сечение так, чтобы в плоскости меньшего момента инерции закрепление было более жестким, а в плоскости большего – менее жестким. В этом случае большему значению радиуса инерции  $i_{\max}$  соответствует большее значение коэффициента приведения длины -  $\mu_{\max}$  и наоборот:

$$I_{x(y)} = \frac{m_{\max} l}{i_{\max}}, \quad I_{y(x)} = \frac{m_{\min} l}{i_{\min}},$$

д) Дальнейший расчет ведется для плоскости, где  $\lambda$  имеет наибольшее из двух значений. По большему  $\lambda$  определяется из таблицы коэффициент  $j'_0$ , который обычно отличается от принятого в начале расчета,

е) Проверяется условие прочности:

$$s = \frac{P}{F} \leq j [s],$$

ж) При выполнении условия проверяется недогруз (перегруз) сечения:

$$\Delta = \frac{j [s] - \frac{P}{F}}{\frac{P}{F}} 100 \leq [\Delta],$$

з) При невыполнении любого условия задается новое значение коэффициента  $\varphi_1$ , равное среднему между  $j_0$  и  $j'_0$ :

$$j_1 = \frac{j'_0 + j_0}{2}$$

и расчет повторяется заново, начиная с пункта а, но вместо  $\varphi_0$  принимается  $\varphi_1$  и повторяется до тех пор, пока будут выполняться оба условия,

и) Если истинное значение  $\varphi$  значительно отличается от  $\varphi_0$ , можно условие прочности и недогрузки не проверять, а сразу приступить к следующему приближению,

к) В случае, когда гибкость стойки превышает максимальное значение в таблице, необходимо уменьшить значение  $\varphi_0$ ,

л) Если оба условия выполнить невозможно, оставляется сечение, удовлетворяющее условие прочности.

## 4.2 Задача 2. Определение напряжений при колебаниях

### 4.2.1 Условие задачи и исходные данные

На стержневой конструкции (рис.4.2) установлен электродвигатель массой  $m$ , вращающийся со скоростью  $n$  (табл.4.3,4.4). Центробежная сила, возникающая при работе двигателя,  $T = 0,3 m g$ . Сечения стержневой рамы – двутавр, фермы – труба, наружный диаметр которой  $D$ , внутренний  $D_{\text{вн}} = 0,9D$ . Определить наибольшие напряжения в стержнях и число оборотов двигателя, при котором наступает резонанс. Модуль упругости материала стержней  $E=2 \cdot 10^5$  МПа.

### 4.2.2 План решения задачи 2

а) Наибольшее напряжение в стержнях фермы

$$S = \frac{\bar{N}_{\max} (mq + bT)}{F},$$

где  $N_{\max}$  – продольная сила в наиболее нагруженном стержне от силы  $P=1$ , приложенной в направлении колебаний массы,

$\beta$  – коэффициент нарастания колебаний,

$F$  – площадь его поперечного сечения.

Наибольшее напряжение в стержнях рамы

$$S = \frac{\bar{M}_{\max} (mq + bT)}{W_x},$$

где  $\bar{M}_{\max}$  – максимальный изгибающий момент от единичной силы, приложенной в точке, где сосредоточена масса системы, в направлении колебаний,

$W_x$  – момент сопротивления сечения,

Таблица 4.3

Первая цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$m, кг$	1500	1700	1900	2100	2200	2400	2600	1300	1100	2800
Двугавр	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33
$D, см$	5,9	5,8	6,0	6,6	7,5	7,0	7,3	8,6	6,8	9,4
$a, м$	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	2,0	1,4	2,2

Таблица 4.4

Вторая цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n, об/мин$	150	170	190	210	220	240	260	130	110	280
$b, м$	2,9	2,7	2,5	2,1	1,9	1,7	1,6	1,2	1,2	1,2
$c, м$	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,6	2,8	1,4
$d, м$	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	2,0	1,4	2,2

б) Для определения наибольшего внутреннего усилия и собственной частоты колебаний к стержневой системе в точке, где расположена ее масса, прикладывается в направлении колебаний сила  $P=1$ .

В случае фермы находятся продольные силы в стержнях методом вырезания узлов и определяется перемещение массы, вызванное единичной силой:

$$d_{11} = \frac{1}{E F} \sum_{i=1}^n \bar{N}_i^2 l_i,$$

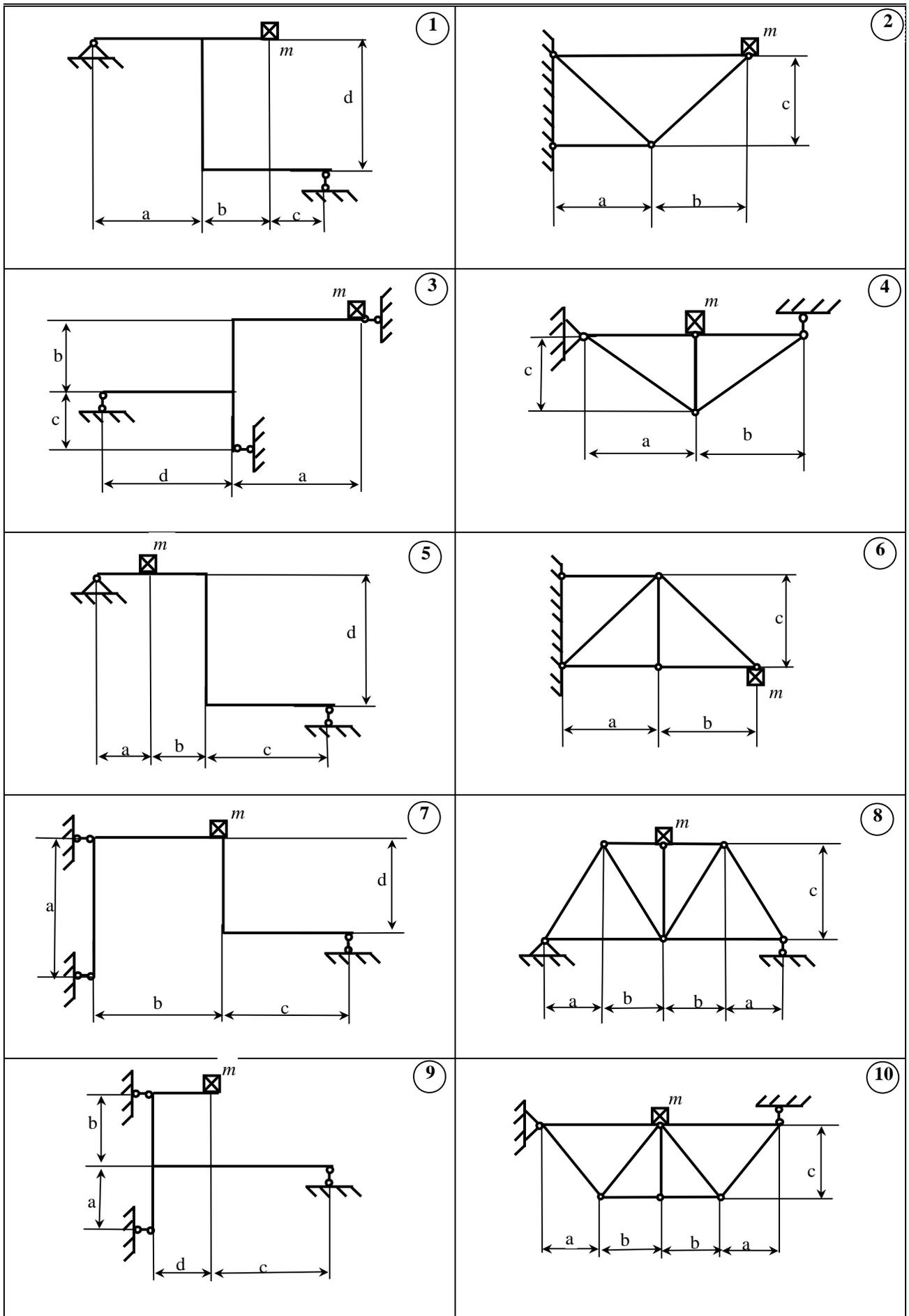


Рисунок 4.2

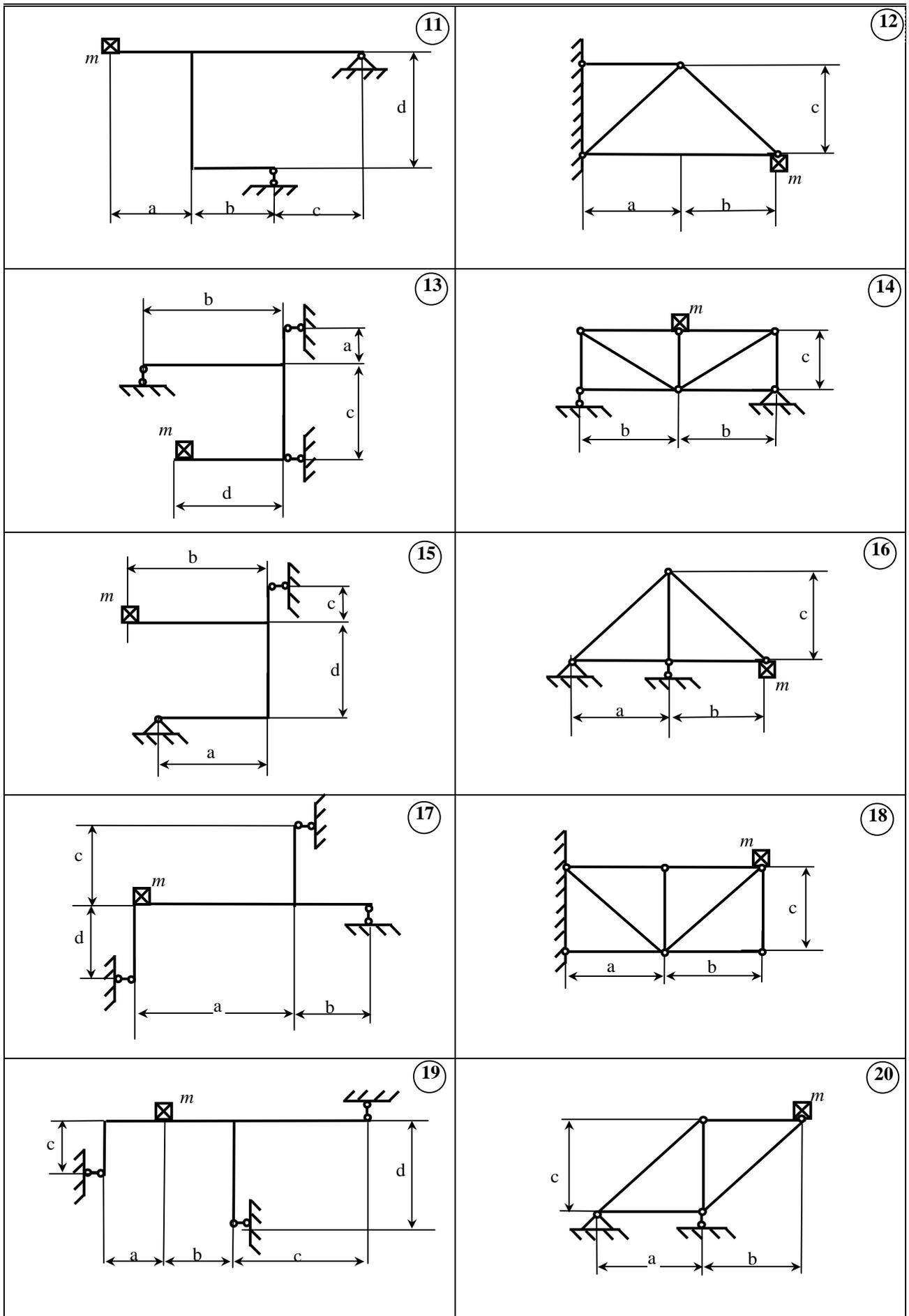


Рисунок 4.2, лист 2

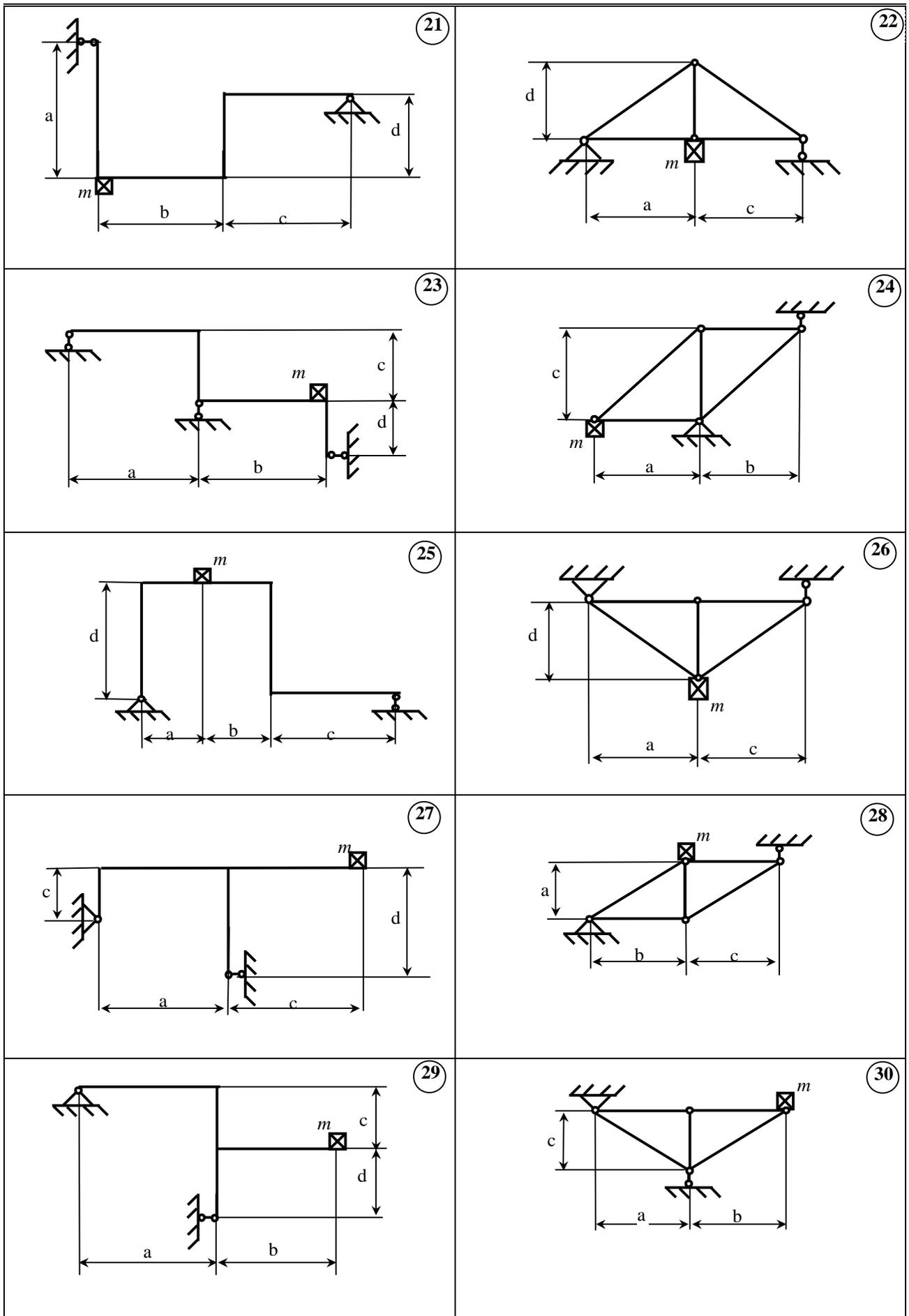


Рисунок 4.2, лист 3

Для рамы строится эпюра изгибающих моментов  $\bar{M}$  и определяется перемещение массы, вызванное единичной силой:

$$d_{11} = \frac{1}{E I_x l} \int \bar{M}_i^2 dz ,$$

где  $N_{ii}$  – продольная сила в  $i$ -ом стержне от единичной силы,

$l_i$  – его длина,

$M_{ii}$  – изгибающий момент от единичной силы.

Интеграл в формуле (4.4) вычисляется способом Верещагина или “перемножением” эпюр по универсальной формуле,

в) Определяются геометрические характеристики сечений стержня – площадь или момент инерции,

г) Собственная частота колебаний для фермы и рамы вычисляется по формуле

$$w = \sqrt{\frac{g}{d_{cm.}}} = \sqrt{\frac{1}{m d_{11}}} ,$$

д) Находится частота вынуждающей силы:

$$\Omega = \frac{p n}{30} ,$$

е) Коэффициент нарастания колебаний  $\beta$  для случая отсутствия сил сопротивления вычисляется по формуле

$$b = \frac{1}{\left| 1 - \left( \frac{\Omega}{w} \right)^2 \right|} ,$$

ж) Определяются наибольшие напряжения в стержнях системы с учетом колебаний,

$$S = \frac{\bar{N}_{\max} (m g + b T)}{F} \quad \text{или} \quad S = \frac{\bar{M}_{\max} (m g + b T)}{W_x} ,$$

з) Число оборотов двигателя, при котором наступает резонанс,

$$n_p = \frac{30 w}{p} .$$

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Писаренко Г.С. и др. Сопротивление материалов. Киев: Вища школа., 1986.- 775с.
- 2 Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1986.- 559с.
- 3 Сборник задач по сопротивлению материалов / Под ред. В.К. Качерина.- М.: Наука, 1970.- 432с
- 4 ГОСТ 2.105 – 95 ЕСКД: Общие требования к текстовым документам.
- 5 ГОСТ 8239-89 Двутавры стальные горячекатанные. Сортаменты..
- 6 ГОСТ 8510 - 93 Уголки стальные горячекатанные неравнополочные. Сортаменты.
- 7 ДСТУ 2251 - 93 Уголки стальные горячекатанные равнополочные. Сортаменты
- 8 ДСТУ 3008 – 95 ЕСКД: Документы и отчеты в сфере науки и техники.
- 9 ДСТУ 3436 – 96 Швеллеры стальные горячекатанные. Сортаменты.
- 10 Структура и правила оформления текстовых документов. Краматорск: ДГМА, 1999.- 33с.

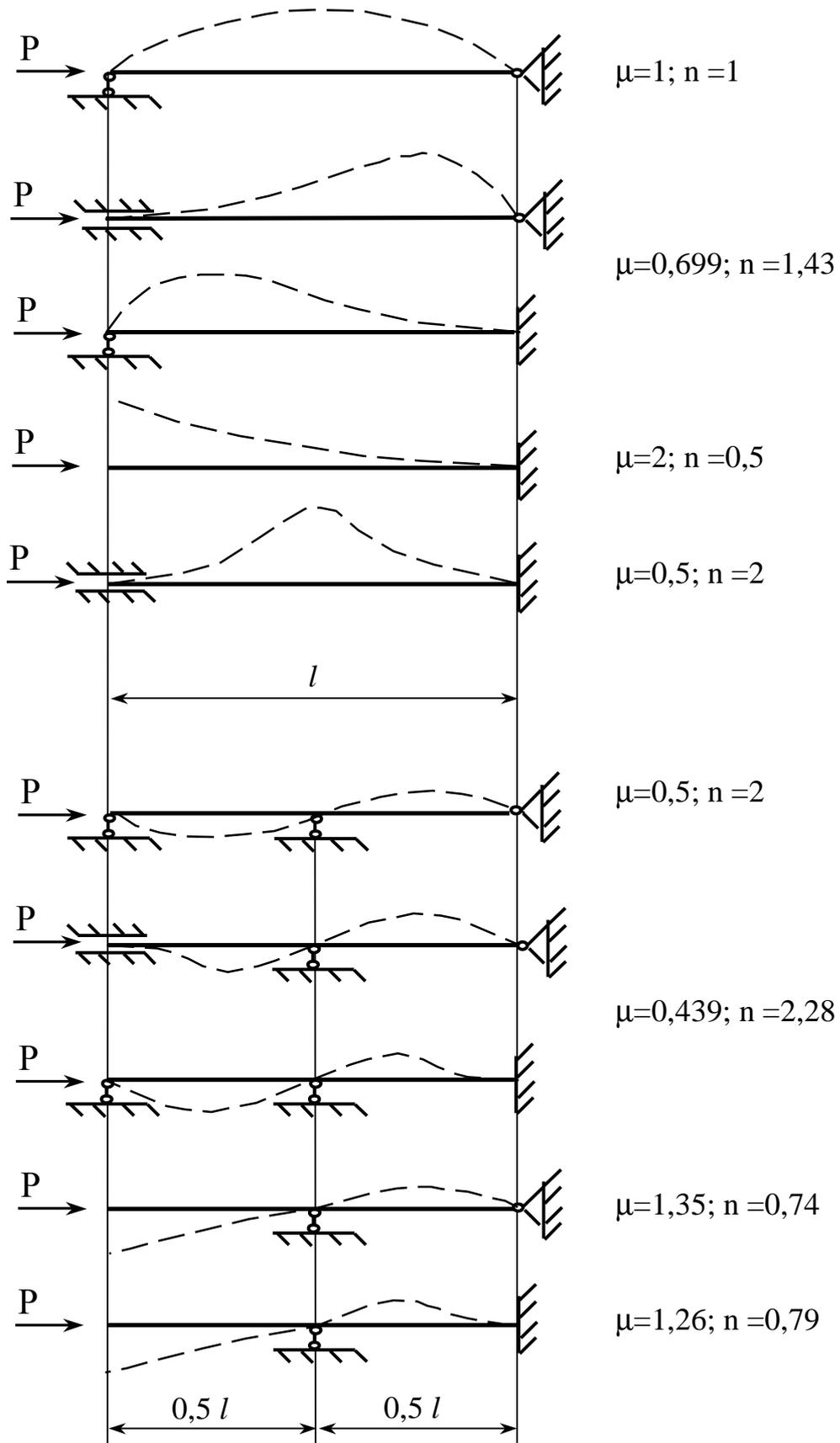
## Приложение А

### Коэффициенты $j$ для различных материалов

Гибкость $j = \frac{m \cdot l}{i}$	сталь Ст4, 3, 2	сталь Ст5	сталь СПК	чугун	дерево
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,98	0,97	0,97	0,99
20	0,96	0,95	0,95	0,91	0,97
30	0,94	0,92	0,91	0,81	0,93
40	0,92	0,89	0,87	0,69	0,87
50	0,89	0,86	0,83	0,57	0,80
60	0,86	0,82	0,79	0,44	0,71
70	0,81	0,76	0,72	0,34	0,60
80	0,75	0,70	0,65	0,26	0,48
90	0,69	0,62	0,55	0,20	0,38
100	0,60	0,51	0,43	0,16	0,31
110	0,52	0,43	0,35	-	0,25
120	0,45	0,36	0,30	-	0,22
130	0,40	0,33	0,26	-	0,18
140	0,36	0,29	0,23	-	0,16
150	0,32	0,26	0,21	-	0,14
160	0,29	0,24	0,19	-	0,12
170	0,26	0,21	0,17	-	0,11
180	0,23	0,19	0,15	-	0,10
190	0,21	0,17	0,14	-	0,09
200	0,19	0,16	0,13	-	0,08

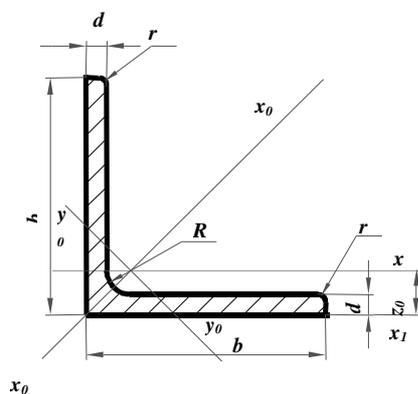
## Приложение Б

### Коэффициенты приведенной длины



## Приложение В

### **УГОЛКИ СТАЛЬНЫЕ ГОРЯЧЕКАТАННЫЕ РАВНОПОЛОЧНЫЕ. (ДСТУ 2251-93)**



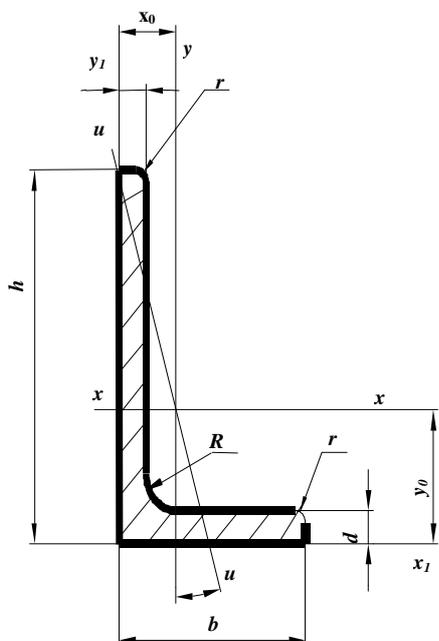
Пример обозначения: Уголок 50х50х3 ДСТУ 2251-93

Номер профиля	Размеры, мм		Площадь сечения $F$ , см <sup>2</sup>	$J_{x0}$ , см <sup>4</sup>	$i_{x0}$ , см	$J_{x0 \max}$ , см <sup>4</sup>	$i_{x0 \max}$ , см	$J_{y0 \min}$ , см <sup>4</sup>	$i_{y0 \min}$ , см	$J_{x1}$ , см <sup>4</sup>	$z_{01}$ , см
	$b$	$d$									
5	50	3	2,96	7,11	1,55	11,3	1,95	2,95	1,00	12,4	1,33
		4	3,89	9,21	1,54	14,6	1,94	3,80	0,99	16,6	1,38
		5	4,80	11,20	1,53	17,8	1,92	4,63	0,98	20,9	1,42
5,6	56	4	4,38	13,1	1,73	20,8	2,18	5,41	1,11	23,3	1,52
		5	5,41	16,0	1,72	25,4	2,16	6,59	1,10	29,2	1,57
6,3	63	4	4,96	18,9	1,95	29,9	2,45	7,81	1,25	33,1	1,69
		5	6,13	23,1	1,94	36,6	2,44	9,52	1,25	41,5	1,74
		6	7,28	27,1	1,93	42,9	2,43	11,20	1,24	50,0	1,78
7	70	4,5	6,20	29,0	2,16	46,0	2,72	12,0	1,39	51,0	1,88
		5	6,86	31,9	2,16	50,7	2,72	13,2	1,39	56,7	1,90
		6	8,15	37,6	2,15	59,6	2,71	15,5	1,38	68,4	1,94
		7	9,42	43,0	2,14	68,2	2,69	17,8	1,37	80,1	1,99
7,5	75	8	10,70	48,2	2,13	76,4	2,68	20,0	1,37	91,9	2,02
		5	7,39	39,5	2,31	62,6	2,91	16,4	1,49	69,6	2,02
		6	8,78	46,6	2,30	73,9	2,90	19,3	1,48	83,9	2,06
		7	10,1	53,3	2,29	84,6	2,89	22,1	1,48	98,3	2,10
8	80	8	11,5	59,8	2,28	94,6	2,87	24,8	1,47	113,0	2,15
		9	12,8	66,1	2,27	105,0	2,86	27,5	1,46	127,0	2,18
		5,5	8,63	52,7	2,47	83,6	3,11	21,8	1,59	93,2	2,17
		6	9,38	57,0	2,47	90,4	3,11	23,5	1,58	102,0	2,19
9	90	7	10,8	65,3	2,45	104,0	3,09	27,0	1,58	119,0	2,23
		8	12,3	73,4	2,34	116,0	3,08	30,3	1,57	137,0	2,27
		6	10,6	82,1	2,78	130	3,50	34,0	1,79	145	2,43
		7	12,3	94,3	2,77	150	3,49	38,9	1,78	169	2,47
10	100	8	13,9	106,0	2,76	168	3,48	43,8	1,77	194	2,51
		9	15,6	118,0	2,75	186	3,46	48,6	1,77	219	2,55
		6,5	12,8	122	3,09	193	3,88	50,7	1,99	214	2,68
		7	13,8	131	3,08	207	3,88	54,2	1,98	231	2,71
10	100	8	15,6	147	3,07	233	3,87	60,9	1,98	265	2,75
		10	19,2	179	2,05	284	3,84	74,1	1,96	333	2,83

Номер профиля	Размеры, мм		Площадь сечения $F$ , см <sup>2</sup>	$J_{x^2}$ , см <sup>4</sup>	$i_{x^2}$ , см	$J_{x0}$ макс., см <sup>4</sup>	$i_{x0}$ макс., см	$J_{y0}$ мин., см <sup>4</sup>	$i_{y0}$ мин., см	$J_{y^2}$ , см <sup>4</sup>	$z_0$ , см
	$B$	$d$									
10	100	12	22,8	209	3,03	331	3,81	86,9	1,95	402	2,91
		14	26,3	237	3,00	375	3,78	99,3	1,94	472	2,99
		16	29,7	264	2,98	416	3,74	112,0	1,94	542	3,06
11	110	7	15,2	176	3,40	279	4,29	72,7	2,19	308	2,96
		8	17,2	198	3,39	315	4,28	81,8	2,18	353	3,00
12,5	125	8	19,7	294	3,37	467	4,87	122	2,49	516	3,36
		9	22,0	327	3,86	520	4,86	135	2,48	582	3,40
		10	24,3	360	3,85	571	4,84	149	2,47	649	3,45
		12	28,9	422	3,82	670	4,82	174	2,46	782	3,53
		14	33,4	482	3,80	764	4,78	200	2,45	916	3,61
14	140	9	24,7	466	4,34	739	5,47	192	2,79	818	3,78
		10	27,3	512	4,33	814	5,46	211	2,78	911	3,82
16	160	12	32,5	602	4,31	957	5,43	248	2,76	1097	3,90
		10	31,4	774	4,96	1229	6,25	319	3,19	1356	4,30
		11	34,4	844	4,95	1341	6,24	348	3,18	1494	4,35
16	160	12	37,4	913	4,94	1450	6,23	376	3,17	1633	4,39
		14	43,3	1046	4,92	1662	6,20	431	3,16	1911	4,47
		16	49,1	1175	4,89	1866	6,17	485	3,14	2191	4,55
		18	54,8	1299	4,87	2061	6,13	537	3,13	2472	4,63
		20	60,4	1419	4,85	2248	6,10	589	3,12	2756	4,70
18	180	11	38,8	1216	5,60	1933	7,06	500	3,59	2128	4,85
		12	42,2	1317	5,59	2093	7,04	540	3,58	2324	4,89
20	200	12	47,1	1823	6,22	2896	7,84	749	3,99	3182	5,37
		13	50,9	1961	6,21	3116	7,83	805	3,98	3452	5,42
		14	54,6	2097	6,20	3333	7,81	861	3,97	3722	5,46
		16	62,0	2363	6,17	3755	7,78	970	3,96	4264	5,54
		20	76,5	2871	6,12	4560	7,72	1182	3,93	5355	5,70
		25	94,3	3466	6,06	5494	7,63	1438	3,91	6733	5,89
22	220	30	111,5	4020	6,00	6351	7,55	1688	3,89	8130	6,07
		14	60,4	2814	6,83	4470	8,60	1159	4,38	4941	5,93
25	250	16	68,6	3175	6,81	5045	8,58	1306	4,36	5661	6,02
		16	78,4	4717	7,76	7492	9,78	1942	4,98	8286	6,75
25	250	18	87,7	5247	7,73	8337	9,75	2158	4,96	9342	6,83
		20	97,0	5765	7,71	9160	9,72	2370	4,94	10401	6,91
		22	106,1	6270	7,69	9961	9,69	2579	4,93	11464	7,00
		25	119,7	7006	7,65	11125	9,64	2887	4,91	13064	7,11
		28	133,1	7717	7,61	12244	9,59	3190	4,89	14674	7,23
		30	142,0	8117	7,59	12965	9,56	3389	4,89	14753	7,31

## Приложение Г

### **УГОЛКИ СТАЛЬНЫЕ ГОРЯЧЕКАТАНЫЕ НЕРАВНОПОЛОЧНЫЕ. (ГОСТ 8510-93)**

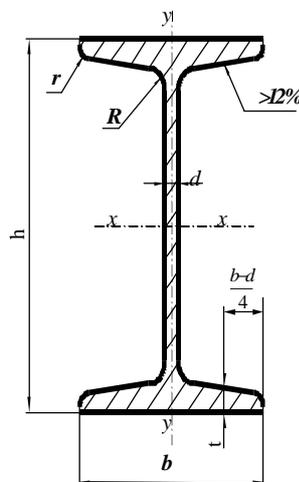


*Пример обозначения: Уголок 80x50x5 ГОСТ 8510-93*

Номер проф.	Размеры, мм			Площадь сечения $F$ , см <sup>2</sup>	$J_x$ , см <sup>4</sup>	$i_x$ , см	$J_y$ , см <sup>4</sup>	$i_y$ , см	$J_u$ мин, см <sup>4</sup>	$i_u$ мин, см	Угол наклона оси клона оси $\alpha$ , град	$J_{x1}$ , см <sup>4</sup>	$J_{y1}$ , см <sup>4</sup>	$x_0$ , см	$y_0$ , см
	B	b	d												
5,6/3,6	56	36	4	3,58	11,4	1,78	3,7	1,02	2,19	0,78	0,406	23,2	6,25	0,84	1,82
			5	4,41	13,8	1,77	4,48	1,01	2,66	0,78	0,404	29,2	7,91	0,88	1,86
6,3/4	63	40	4	4,04	16,3	2,01	5,16	1,13	3,07	0,87	0,397	33,0	8,51	0,91	2,03
			5	4,98	19,9	2,00	6,26	1,12	3,72	0,86	0,396	41,4	10,8	0,95	2,08
			6	5,90	23,3	1,99	7,28	1,11	4,36	0,86	0,393	49,9	13,1	0,99	2,12
			8	7,68	29,6	1,96	9,15	1,09	5,58	0,85	0,386	66,9	17,9	1,07	2,20
7/4,5	70	45	5	5,59	27,8	2,23	9,05	1,27	5,34	0,98	0,406	56,7	15,2	1,05	2,28
7,5/5	75	50	5	6,11	34,8	2,39	12,5	1,43	7,24	1,09	0,436	69,7	20,8	1,17	2,39
			6	7,25	40,9	2,38	14,6	1,42	8,48	1,08	0,435	83,9	25,2	1,21	2,44
			8	9,47	52,4	2,35	18,5	1,40	10,9	1,07	0,430	112,0	34,2	1,29	2,52
8/5	80	50	5	6,36	41,6	2,56	12,7	1,41	7,58	1,09	0,387	84,6	20,8	1,13	2,60
			6	7,55	49,0	2,55	14,8	1,40	8,88	1,08	0,386	102,0	25,2	1,17	2,65
9/5,6	90	56	5,5	7,86	65,3	2,88	19,7	1,58	11,8	1,22	0,384	132	32,2	1,26	2,92
			6	8,54	70,6	2,88	21,2	1,58	12,7	1,22	0,384	145	35,2	1,28	2,95
			8	11,18	90,9	2,85	27,1	1,56	16,3	1,21	0,380	194	47,8	1,36	3,04
10/6,3	100	63	6	9,59	98,3	3,2	30,6	1,79	18,2	1,38	0,393	198	49,9	1,42	3,23
			7	11,1	113,0	3,19	35,0	1,78	20,8	1,37	0,392	232	58,7	1,46	3,28
			8	12,6	127,0	3,18	39,2	1,77	23,4	1,36	0,391	266	67,6	1,50	3,32
			10	15,5	154,0	3,15	47,1	1,75	28,3	1,35	0,387	333	85,8	1,58	3,40
11/7	110	70	6,5	11,4	142	3,53	45,6	2,00	26,9	1,53	0,402	286	74,3	1,58	3,55
			8	13,9	172	3,51	54,6	1,98	32,3	1,52	0,400	353	92,3	1,64	3,61

## Приложение Д

### ДУТАВРЫ СТАЛЬНЫЕ ГОРЯЧЕКАТАННЫЕ. (ГОСТ 8239-89)

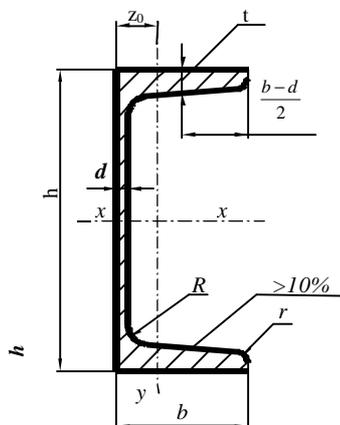


Пример обозначения: Двутавр 30 ГОСТ 8239-89

Номер профиля	Размеры, мм				Площадь сечения $F$ , см <sup>2</sup>	$J_x$ , см <sup>4</sup>	$W_x$ , см <sup>3</sup>	$i_x$ , см	$S_x$ , см <sup>3</sup>	$J_y$ , см <sup>4</sup>	$W_y$ , см <sup>3</sup>	$i_y$ , см
	$h$	$b$	$d$	$t$								
10	100	55	4,5	7,2	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	160	81	5,0	7,8	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70
18	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
18a	180	100	5,1	8,3	25,4	1430	159	7,51	89,8	114	22,8	2,12
20	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
20a	200	110	5,2	8,6	28,9	2030	203	8,37	114	155	28,2	2,32
22	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
22a	220	120	5,4	8,9	32,8	2790	254	9,22	143	206	34,3	2,50
24	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
24a	240	125	5,6	9,8	37,5	3800	317	10,1	178	260	41,6	2,63
27	270	125	6,0	9,8	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
27a	270	135	6,0	10,2	43,2	5500	407	11,3	229	337	50,0	2,80
30	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
30a	300	145	6,5	10,7	49,9	7780	518	12,5	292	436	60,1	2,95
33	330	140	7,0	11,2	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	400	155	8,3	13,0	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03
45	450	160	9	14,2	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	500	170	10	15,2	100	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	550	180	11	16,5	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	600	190	12	17,8	138	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54

## Приложение Е

### ШВЕЛЛЕРЫ СТАЛЬНЫЕ ГОРЯЧЕКАТАННЫЕ. (ДСТУ 3436 – 96)



Пример обозначения: Швеллер 20 ДСТУ 3436 - 96

Номер профиля	Размеры, мм				Площ. сеч-я F, см <sup>2</sup>	$J_{x,3}$ см <sup>4</sup>	$W_{x,3}$ см <sup>3</sup>	$I_{x,4e}$ см <sup>4</sup>	$S_{x,3}$ см <sup>3</sup>	$J_{y,4}$ см <sup>4</sup>	$W_{y,3}$ см <sup>3</sup>	$I_{y,4}$ см <sup>4</sup>	$z_0$ см
	h	b	d	t									
5	50	32	4,4	7,0	6,16	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	48,6	15,0	2,54	9,0	8,7	3,68	1,08	1,24
8	80	40	4,5	7,4	8,98	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	10,9	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	13,3	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	15,6	491	70,2	5,60	40,8	45,4	11,0	1,70	1,67
14a	140	62	4,9	8,7	17,0	545	77,8	5,66	45,1	57,5	13,3	1,84	1,87
16	160	64	5,0	8,4	18,1	747	93,4	6,42	54,1	63,6	13,8	1,87	1,80
16a	160	68	5,0	9,0	19,5	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2,00
18	180	70	5,1	8,7	20,7	1090	121	7,24	69,8	86	17,0	2,04	1,94
18a	180	74	5,1	9,3	22,2	1190	132	7,32	76,1	105	20,0	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9,0	23,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,20	2,07
20a	200	80	5,2	9,7	25,2	1670	167	8,15	95,9	139	24,2	2,35	2,28
22	220	82	5,4	9,5	26,7	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
22a	220	87	5,4	10,2	28,8	2330	212	8,99	121	187	30,0	2,55	2,46
24	240	90	5,6	10,0	30,6	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,60	2,42
24a	240	95	5,6	10,7	32,9	3180	265	9,84	151	254	37,2	2,78	2,67
27	270	95	6,0	10,5	35,2	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11,0	40,5	5810	387	12,0	224	327	43,6	2,84	2,52
33	330	105	7,0	11,7	46,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	360	110	7,5	12,6	53,4	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,10	2,68
40	400	115	8,0	13,5	61,5	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

