

Астраханский государственный технический университет

Кафедра " Теоретическая и прикладная механика"

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания

к выполнению расчетно-проектировочной работы

"Расчет на прочность стержней "

для студентов технических специальностей и направлений

Астрахань

2021

Составили: Кукарина А.Ю., асс. кафедры «Теоретическая и прикладная механика», Миронов А.И., к.т.н., доц.кафедры " Теоретическая и прикладная механика".

Рецензент: Цейтлин А.М., к.т.н., доц. кафедры «Холодильные машины».

Методические указания к выполнению расчетно-проектировочной работы по курсу «Сопротивление материалов» для студентов технических специальностей. / АГТУ; Сост. Кукарина А.Ю., Миронов А.И. – Астрахань, 2021. - 41 с.

В методических указаниях изложены теоретические сведения, приведены примеры решения задач, условия задач для студентов.

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры «Механика и инженерная графика» 31.08.2021 г. Протокол № 7.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	4
1. Теоретическая часть	4
2. Примеры решения задач	11
3. Условия задач для РПР	23
Литература	23
Приложения:	
I. Расчетные схемы к задачам	24
II. Исходные данные	39
III. Требования к оформлению расчетно-проектировочных работ	40

ВВЕДЕНИЕ

Расчетно-проектировочная работа служит для закрепления навыков решения задач по расчету стержней на прочность.

Работа включает 3 задачи: первая – растяжение-сжатие стержня, вторая – кручение стержня, третья – изгиб стержня.

Помимо вариантов и условий задач в методические указания включены краткие (без вывода) теоретические сведения и примеры расчета стержней на прочность при растяжении-сжатии, кручении и изгибе.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Растяжение-сжатие

Растяжением (сжатием) стержня называется такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях стержня возникает только продольная (нормальная) сила N . При этом в отдельных точках сечения будет действовать только нормальное напряжение σ . Между N и σ существует следующая зависимость:

$$N = \int_A \sigma dA, \quad (1)$$

где A - площадь сечения стержня.

При определении нормальных напряжений при растяжении (сжатии) принимается следующее допущение: во всех точках сечения напряжения одинаковые. Тогда из (1) следует

$$\sigma = \frac{N}{A}. \quad (2)$$

Из (2) видно, что при растяжении (сжатии) напряжения зависят от величины площади поперечного сечения и не зависят от формы сечения.

Расчет на прочность

Условие прочности имеет вид

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma] \quad (3)$$

Здесь:

$\sigma_{\max}$ - максимальное напряжение, возникающее в сечениях стержня при нагружении;

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{n} - \text{допускаемое напряжение;}$$

$\sigma_{\text{пред}}$ - предельное напряжение для материала детали;

$\sigma_{\text{пред.}} = \sigma_T (\sigma_y)$ - для пластичного материала;

$\sigma_{\text{пред.}} = \sigma_{\text{пч}} (\sigma_u)$ - для хрупкого материала;

$\sigma_T (\sigma_y)$ - предел текучести материала стержня;

$\sigma_{\text{пч}} (\sigma_u)$ - условный предел прочности материала;

n – необходимый или нормативный коэффициент запаса прочности.

Учитывая (2) и (3), условие прочности получаем в следующем виде

$$\frac{N}{A} \Big|_{\max} \leq [\sigma]. \quad (4)$$

Если заданы размеры сечения стержня, то из (4) определяем допускаемые нагрузки. Если заданы нагрузки, то из (4) определяем размеры сечения.

Наконец, может возникнуть необходимость проверить прочность детали (например, при модернизации оборудования действующие силы возросли). В этом случае необходимо вычислить действительный (фактический) коэффициент запаса прочности n_d по формуле

$$n_d = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{\sigma_{\max}} \quad (5)$$

и сравнить его с необходимым.

Выражение (5) может быть также использовано для подбора материала детали, если заданы размеры сечения и действующие на нее нагрузки.

1.2. Кручение

Кручением стержня называется такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях стержня возникает только крутящий момент T . При этом в отдельных точках поперечного сечения будет действовать только касательное напряжение τ .

При определении касательных напряжений τ при кручении в «Сопротивлении материалов» принимается следующее допущение: при кручении стержня круглого сечения поперечные сечения в результате деформации стержня остаются плоскими и лишь поворачиваются относительно друг друга на угол φ как абсолютно жесткие диски. Это допущение справедливо лишь для стержней круглого сплошного и кольцевого сечений, поэтому и формула (6) для определения τ справедлива лишь для таких стержней (рис. 1). В результате для определения напряжения τ в произвольной точке сечения получена следующая формула

$$\tau = \frac{T}{J_\rho} \rho, \quad (6)$$

где $J_\rho = \int_A \rho^2 dA$ – полярный момент инерции сечения;

ρ – радиус-вектор точки, в которой определяется напряжение.

Для сплошного круглого сечения

$$J_\rho = \frac{\pi R^4}{2} = \frac{\pi D^4}{32} \approx 0,1 D^4.$$

Для кольцевого сечения

$$J_p = \frac{\pi R^4}{2} \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^4 \right) = \frac{\pi D^4}{32} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right) \approx 0,1 D^4 \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right).$$

На рис. 2 а и 2 б показано распределение касательных напряжений в сечении стержня (не зависят от полярного угла). Максимальные касательные напряжения возникают в точках наружного контура поперечного сечения:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{J_p} \rho_{\max} = \frac{T}{W_p}, \quad (7)$$

Сечения стержня, для которых справедлива формула (6)

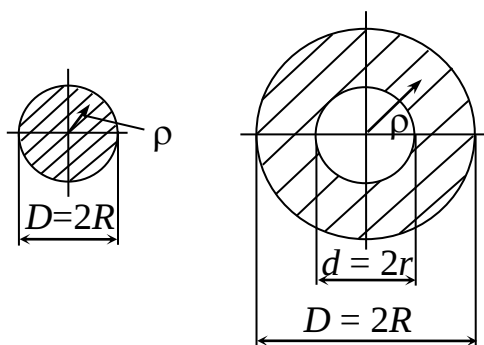


Рис. 1

Распределение касательных напряжений в сечении стержня при кручении

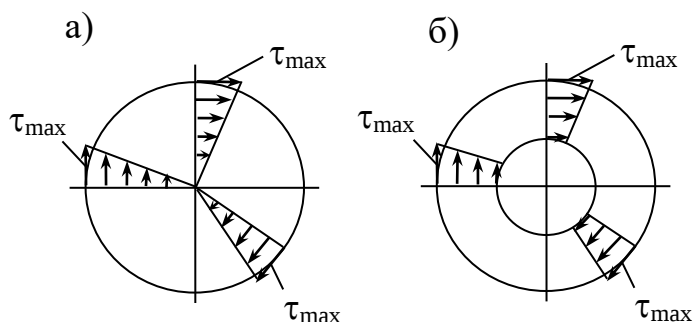


Рис. 2

где $W_\rho = \frac{J_\rho}{\rho_{\max}}$ - полярный момент сопротивления сечения;

$$W_\rho = \frac{\pi D^4}{32 \frac{D}{2}} = \frac{\pi D^3}{16} \approx 0,2D^3 - \text{ для сплошного круглого сечения;}$$

$$W_\rho = \frac{\pi D^4}{32 \frac{D}{2}} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right) = \frac{\pi D^3}{16} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right) \approx 0,2D^3 \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right) - \text{ для кольцевого сечения.}$$

По аналогии с растяжением, условие прочности примет вид:

$$\tau_{\max} \leq [\tau], \quad (8)$$

где $[\tau] = 0,5[\sigma]$ или $[\tau] = \frac{1}{\sqrt{3}}[\sigma] \approx 0,575[\sigma]$ в зависимости от принятой

гипотезы прочности.

1.3. Изгиб

ЧИСТЫМ ИЗГИБОМ стержня называется такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях стержня возникает только ОДИН изгибающий момент - M_x или M_y (x , y - главные центральные оси сечения). При этом в отдельных точках сечения будет действовать только нормальное напряжение σ .

При определении нормальных напряжений принимается следующее допущение: при чистом изгибе стержня в результате его деформации сечения остаются плоскими и лишь поворачиваются относительно друг друга на некоторый угол. В результате для определения напряжения σ в произвольной точке сечения получены следующие формулы

$$\sigma = \frac{M_x}{J_x} \cdot y \quad \text{или} \quad \sigma = \frac{M_y}{J_y} \cdot x, \quad (9)$$

где x , y – координаты точки сечения, в которой определяются напряжения.

J_x, J_y – осевые моменты инерции относительно главных центральных осей сечения.

Прямой стержень, испытывающий изгиб, принято называть БАЛКОЙ.

В результате изгиба ось стержня изменяет свою кривизну.

Деформированная ось балки называется УПРУГОЙ ЛИНИЕЙ.

Под действием внешних нагрузок в сечениях стержня помимо изгибающего момента могут возникать другие внутренние силовые факторы (в.с.ф.). Поэтому помимо чистого изгиба различают другие виды изгиба.

ПОПЕРЕЧНЫМ ИЗГИБОМ называется такой вид нагружения, при котором в сечении стержня возникают поперечная сила и соответствующий ей изгибающий момент

$$\begin{aligned} Q_y \neq 0 \quad \text{и} \quad M_x \neq 0 \quad \text{или} \\ Q_x \neq 0 \quad \text{и} \quad M_y \neq 0 \end{aligned} \quad (10)$$

При поперечном изгибе в сечении стержня возникают нормальные σ и касательные τ напряжения. При этом, хотя гипотеза плоских сечений из-за деформаций сдвига не справедлива, нормальные напряжения по-прежнему определяют по формуле (9), а касательные - по формуле Д.И. Журавского

$$\tau = \frac{Q_y \cdot S_x^*}{J_x \cdot t} \quad (11)$$

здесь S_x^* - статический момент «отсеченной» части сечения;

t – ширина сечения там, где определяется напряжение.

При выводе формулы (11) принято, что касательные напряжения постоянны по ширине сечения и направлены по касательной к средней линии сечения.

Чистый и поперечный изгибы также называют прямым изгибом, т.к. упругая линия стержня в этих случаях есть плоская кривая.

Расчет на прочность по нормальным напряжениям

Вычисления показывают, что для нетонкостенных и сплошных сечений при расчетах на прочность стержней касательными напряжениями по сравнению с нормальными можно пренебречь. Условие прочности тогда имеет вид:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma], \quad (12)$$

где $\sigma_{\max}$ - максимальное напряжение, возникающее в опасном сечении стержня;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение для материала.

Геометрическое место точек сечения, в которых $\sigma = 0$, называется нейтральной (нулевой) линией. Нейтральная линия делит сечение на две области: область, где напряжения растягивающие, и область, где напряжения сжимающие.

Максимальные напряжения действуют в точках сечения наиболее удаленных от нейтральной линии.

В случае чистого изгиба нейтральная линия совпадает с одной из главных центральных осей сечения.

Например, при изгибе стержня относительно оси x

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{J_x} \cdot y_{\max} = \frac{M_x}{W_x}, \text{ где} \quad (13)$$

$$W_x = \frac{J_x}{y_{\max}} - \text{осевой момент сопротивления сечения.} \quad (14)$$

Вычислив $\sigma_{\max}$ и $[\sigma]$, из условия прочности (12) определяем требуемые величины.

2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

ЗАДАЧА 1. Из расчета на прочность определить величину площади поперечного сечения стержня A (рис.3а).

Дано: $F_1 = 200$ кН; $F_2 = 100$ кН; $F_3 = 250$ кН; $q = 120$ кН/м; материал - сталь 30; $L = 0,4$ м.

Решение. Условие прочности

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]$$

Анализ материала: сталь 30, для которой $\delta = 21\% > 5\%$ ([1], с. 646), следовательно, материал пластичный. Поэтому $[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n}$. Для стали 30 ([1], с.646) $\sigma_T = 300$ МПа.

Принимаем, $n = 1,7$ (учитывая рекомендации учебников, что n для пластичных материалов можно принимать в пределах $1,5 \leq n \leq 2,0$).

Находим $\sigma_{\max}$:

$$\sigma_{\max} = \frac{N_i}{A_i} \Big|_{\max}.$$

Для определения N_i во всех сечениях строим эпюру N .

Определяем реакцию

$$\sum F_z = -R + q \cdot 2L + F_3 - F_2 + F_1 = 0.$$

$$R = q \cdot 2L + F_3 - F_2 + F_1 = 120 \cdot 2 \cdot 0,4 + 250 - 100 + 200 = 446 \text{ кН}.$$

Стержень имеет 3 участка.

Применяем метод сечений.

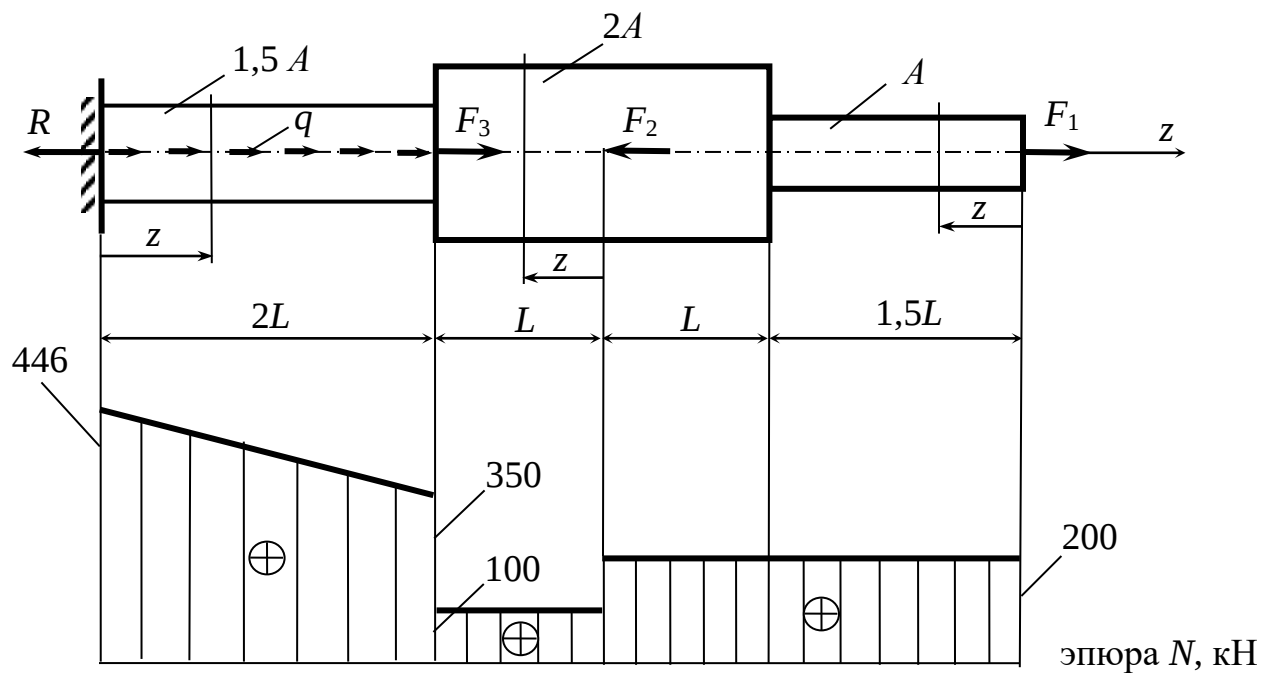
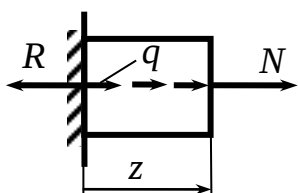
Расчетная схема и эпюра N задачи № 1

Рис. 3

Участок 1 $0 \leq z \leq 2L$



$$\sum F_z = -R + N_1 + qz = 0$$

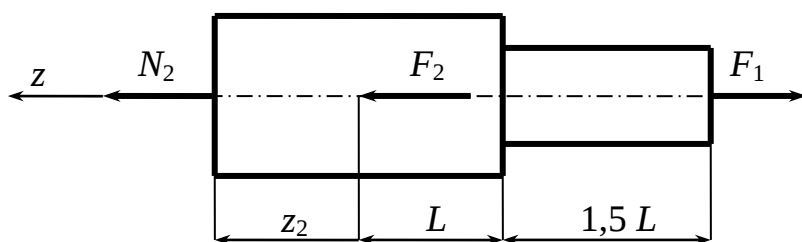
$$N_1 = R - qz$$

строим график

$$z = 0 \quad N_1 = R = 446 \text{ кН}$$

$$z = 2L \quad N_1 = R - q \cdot 2L = 446 - 2 \cdot 120 \cdot 0,4 = 350 \text{ кН}$$

Участок 2 $0 \leq z_2 \leq L$

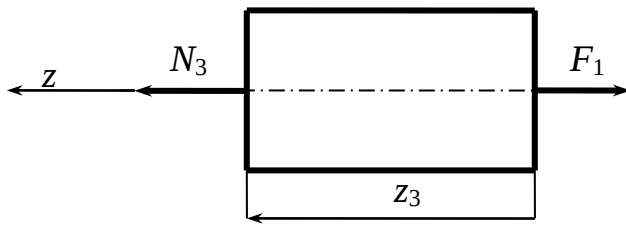


$$\sum F_z = N_2 + F_2 - F_1 = 0$$

$$N_2 = F_1 - F_2 = 200 - 100 = 100 \text{ кН}$$

строим график

Участок 3 $0 \leq z_3 \leq 2,5L$



$$\sum F_z = N_3 - F_1 = 0$$

$$N_3 = F_1 = 200 \text{ кН}$$

строим график

Анализируя распределение N и площади сечения, устанавливаем, что $\sigma_{\max}$ может быть

$$\sigma_I = \frac{446 \text{ кН}}{1,5A} = \frac{297 \text{ кН}}{A} \text{ или}$$

$$\sigma_{IV} = \frac{200 \text{ кН}}{A}$$

Сравнивая σ_I и σ_{IV} , находим

$$\sigma_{\max} = \sigma_I = \frac{297 \text{ кН}}{A}.$$

Тогда условие прочности принимает вид

$$\frac{297 \text{ кН}}{A} \leq \frac{\sigma_T}{n}$$

$$\text{Откуда } A \geq \frac{297 \text{ кН} \cdot n}{\sigma_T} = \frac{297 \cdot 1,7}{300 \cdot 10^{-3}} = 1,68 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 16,8 \text{ см}^2$$

Принимаем $A = 17 \text{ см}^2$.

ЗАДАЧА 2. Проверить прочность стержня. Если окажется $n_0 < 1,5$, дать рекомендации по повышению прочности стержня – рис.4а.

Дано: $M_1 = 10 \text{ кНм}$; $M_2 = 25 \text{ кНм}$; $m = 10 \frac{\text{кН} \cdot \text{м}}{\text{м}}$; $l = 0,75 \text{ м}$; $d = 10 \text{ см}$,

материал – сталь 4.

Условие прочности:

$$n_{\sigma} = \frac{\tau_T}{\tau_{max}} \geq 1,5,$$

где $\tau_{max} = \frac{T_i}{W_{\rho_i}}|_{max}$ - максимальное касательное напряжение в стержне.

Для определения T_i в сечениях стержня строим эпюру T .

Определим реакцию M_R - (рис. 4).

$$\Sigma M_z = M_R + M_2 - M_1 - ml = 0.$$

$$M_R = -M_2 + M_1 + ml = -25 + 10 + 10 \cdot 0,75 = -7,5 \text{ кНм}$$

Расчетная схема и эпюра T задачи № 2

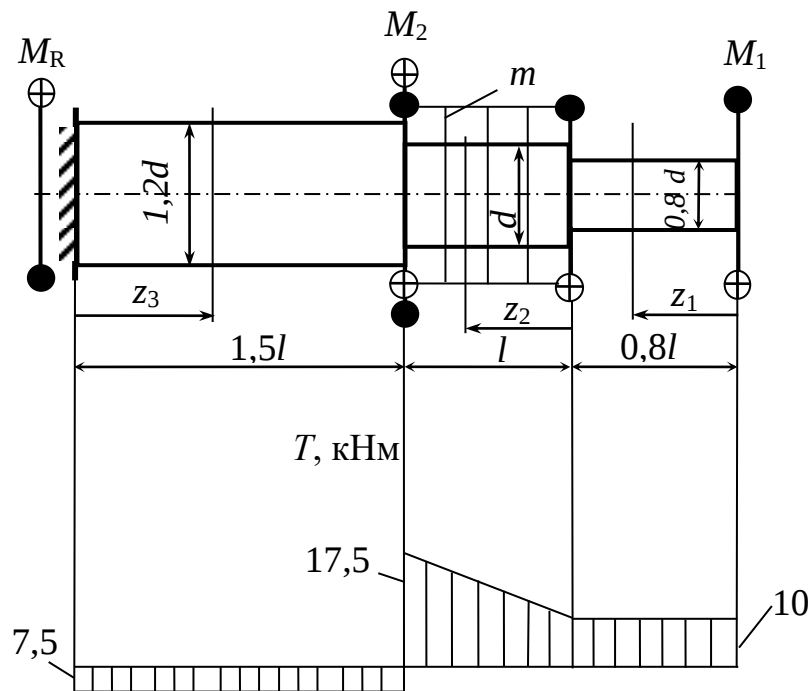
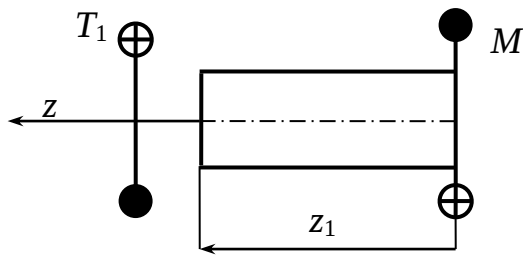


Рис. 4

Применяем метод сечений на каждом участке.

Участок I. $0 \leq z_1 \leq 0,8l$

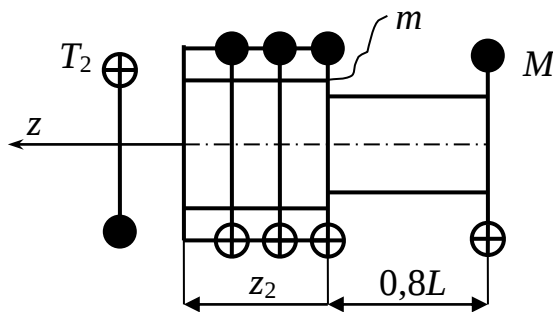


$$\Sigma M_z = 0$$

$$T_1 - M_1 = 0$$

$$T_1 = M_1 = 10 \text{ кНм}$$

Участок II. $0 \leq z_2 \leq l$



$$\Sigma M_z = 0$$

$$T_2 - M_1 - mz_2 = 0$$

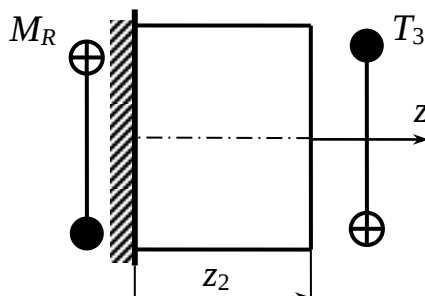
$$T_2 = M_1 + mz_2$$

$$z = 0 \quad T_2 = M_1 = 10 \text{ кНм}$$

$$z = l \quad T_2 = M_1 + ml = 10 + 10 \cdot 0,75 = 17,5$$

кНм

Участок III. $0 \leq z_3 \leq 1,5l$



$$\Sigma M_z = 0$$

$$T_3 - M_R = 0$$

$$T_3 = M_R = -7,5 \text{ кНм}$$

По полученным значениям строим эпюру T – рис. 4.

Анализируя эпюру T совместно с размерами сечений стержня, устанавливаем, что $\tau_{\max}$ может возникать или в сечении, где действует максимальный крутящий момент $T_{\max} = 17,5 \text{ кНм}$, или в сечении, где минимальный диаметр $d_{\min} = 0,8d$, т.е.:

$$\tau_{\max_1} = \frac{17,5 \text{ кНм}}{0,2d^3} = \frac{87,5 \text{ кНм}}{d^3} \text{ или}$$

$$\tau_{\max_2} = \frac{10 \text{ кНм}}{0,2(0,8d)^3} = \frac{97,7 \text{ кНм}}{d^3}$$

В результате находим, что

$$\tau_{\max} = \frac{97,7 \text{ кНм}}{d^3} = \frac{97,7}{0,1^3} = 97,7 \cdot 10^3 \text{ кПа} = 97,7 \text{ МПа}$$

Для определения τ_T , т.к. сталь 4 – пластичный материал, используем III гипотезу прочности

$$\tau_T^{III} = 0,5\sigma_T, \text{ или}$$

IV гипотезу прочности

$$\tau_T^{IV} = 0,575\sigma_T.$$

Для стали Ст.4 из справочника предел текучести $\sigma_T = 240 \div 260$ МПа. Для расчета принимаем среднее значение, т.е. 250 МПа. Тогда

$$\tau^{III} = 0,5\sigma_T = 0,5 \cdot 250 = 125 \text{ МПа}$$

$$\tau^{IV} = 0,575\sigma_T = 0,575 \cdot 250 = 144 \text{ МПа.}$$

В результате находим

$$n_{o1} = \frac{\tau_T^{III}}{\tau_{\max}} = \frac{125}{97,7} = 1,28$$

$$n_{o2} = \frac{\tau_T^{IV}}{\tau_{\max}} = \frac{144}{97,7} = 1,47.$$

Таким образом, условие прочности не выполняется, т.е. прочность детали не обеспечена.

Рекомендации:

Для повышения прочности детали лучше всего взять для ее изготовления более высокопрочный материал.

ЗАДАЧА 3. Из расчетов на прочность определить величину допускаемых нагрузок $[q]$, $[F]$, для балки, изображенной на рис. 5. Влиянием касательных напряжений пренебречь.

Дано: $F = ql/4$; $l = 0,4\text{м}$; двутавр № 10; швеллер № 14; материал - сталь 40.

Расчетная схема и эпюры Q_y и M_x к задаче 3

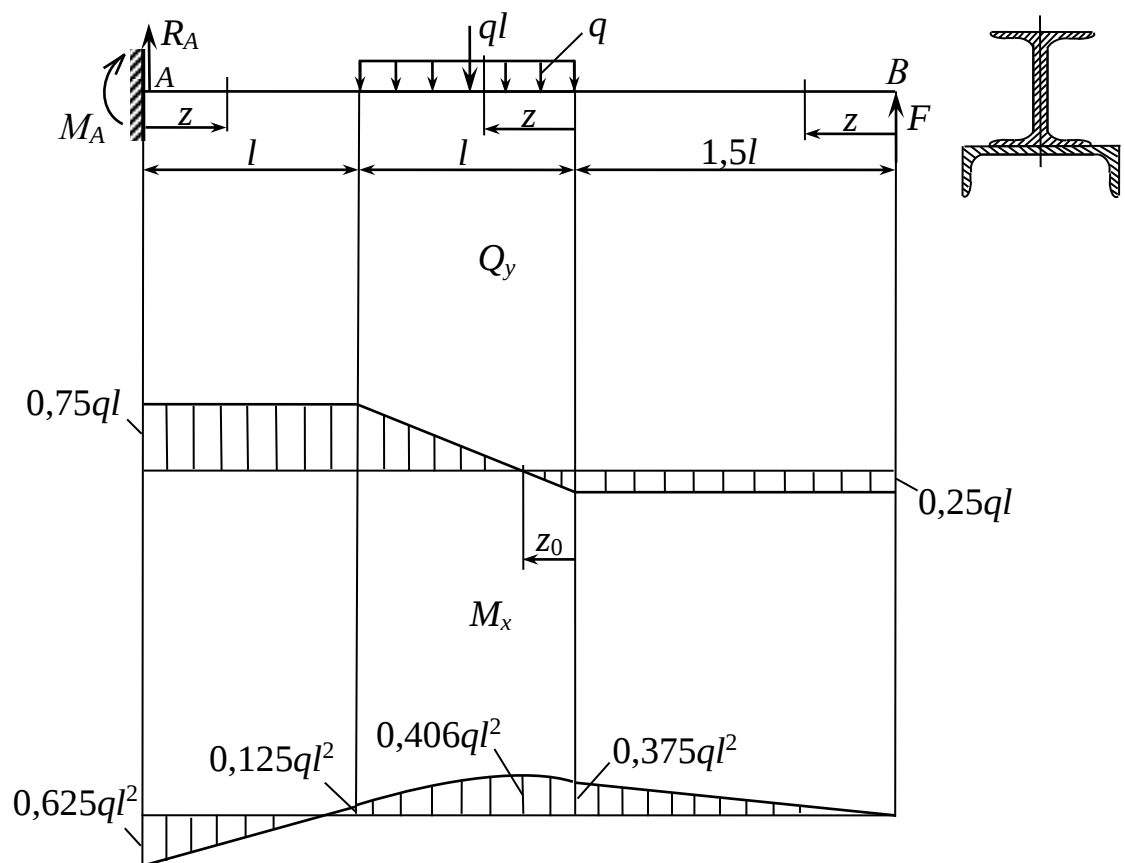


Рис. 5

Решение. Условие прочности

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]$$

Определяем $[\sigma]$:

По определению

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n}.$$

Для стали 40 $\sigma_T = 340$ МПа. Так как сталь 40 пластичный материал, принимаем n из рекомендуемых значений ($n = 1,5 \div 2,0$), например, $n = 1,65$.

Определяем $\sigma_{\max}$:

Так как по длине стержня размеры его поперечного сечения не изменяются, то

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x\max}}{W_x}.$$

Для определения $M_{x\max}$ строим эпюры в.с.ф.

Определяем реакции – R_A и M_A :

$$\sum M_A = -M_A - ql \left(l + \frac{l}{2} \right) + F \cdot 3,5l = 0$$

$$M_A = -ql \cdot 1,5l + F \cdot 3,5l = -ql \cdot 1,5l + \frac{ql}{4} \cdot 3,5l = -0,625ql^2$$

$$\sum F_y = R_A + F - ql = 0$$

$$R_A = -F + ql = -\frac{ql}{4} + ql = 0,75ql$$

Проверка

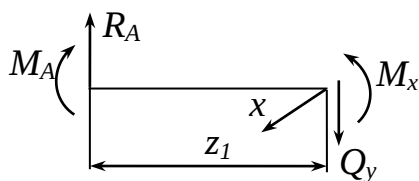
$$\sum M_B = -M_A - R_A \cdot 3,5l + ql \left(1,5l + \frac{l}{2} \right) = -(-0,625ql^2) - 0,75ql \cdot 3,5l + ql \cdot 2l = 0 -$$

реакции найдены верно.

Разбиваем стержень на участки – 3 участка.

На каждом участке применяем метод сечений

Участок 1 $0 \leq z_1 \leq l$



$$\sum F_y = R_A - Q_y = 0$$

$$Q_y = R_A = 0,75ql$$

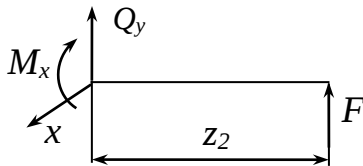
$$\sum M_x = M_x - M_A - R_A z = 0, \text{ откуда}$$

$M_x = M_A + R_A \cdot z$ – линейная функция, строим график:

$$z_1 = 0 \quad M_x = M_A = -0,625ql^2$$

$$z_1 = l \quad M_x = M_A + R_A \cdot l = -0,625ql^2 + 0,75ql \cdot l = 0,125ql^2$$

Участок 2 $0 \leq z_2 \leq 1,5l$



$$\Sigma F_y = Q_y + F = 0$$

$$Q_y = -F = -0,25ql$$

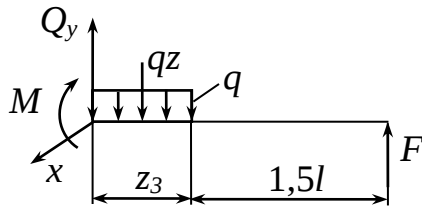
$$\Sigma M_x = -M_x + F \cdot z = 0$$

$$M_x = F \cdot z$$

$$z_2 = 0 \quad M_x = 0$$

$$z_2 = 1,5l \quad M_x = F \cdot 1,5l = 0,25ql \cdot 1,5l = 0,375ql^2$$

Участок 3 $0 \leq z_3 \leq l$



$$\Sigma F_y = Q_y + F - qz = 0$$

$$Q_y = -F + qz$$

$$z_3 = 0 \quad Q_y = -F = -0,25ql$$

$$z_3 = l \quad Q_y = -F + ql = -0,25ql + ql = 0,75ql$$

график пересекает ось абсцисс в точке с

координатой z_0 , следовательно, на эпюре M_x в этой точке будет экстремум.

Найдем z_0

$$z = z_0 \quad Q_y = -F + qz_0 = 0$$

$$z_0 = \frac{F}{q} = \frac{0,25ql}{q} = 0,25l$$

$$\Sigma M_x = -M_x + F(1,5l + z) - qz \cdot \frac{z}{2} = 0$$

$$M_x = F(1,5l + z) - q \frac{z^2}{2} \text{ — уравнение параболы.}$$

$$z_3 = 0 \quad M_x = F \cdot 1,5l = 0,25ql \cdot 1,5l = 0,375ql^2$$

$$z_3 = l \quad M_x = F \cdot 2,5l - q \frac{l^2}{2} = 0,25ql \cdot 2,5l - q \frac{l^2}{2} = 0,125ql^2$$

$$z_3 = z_0 \quad M_x = (F1,5l + z_0) - q \frac{z_0^2}{2} = 0,25ql(1,5l + 0,25l) - q \frac{(0,25l)^2}{2} = 0,406ql^2$$

По эпюре M_x находим

$$|M_x|_{\max} = 0,625ql^2.$$

Вычисляем осевой момент сопротивления W_x сечения стержня – рис. 6.

По определению

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}}, \quad \text{где}$$

I_x – главный центральный момент инерции сечения,

$y_{\max}$ – расстояние от главной центральной оси сечения x до наиболее удаленной точки сечения.

Швеллер № 14 (ГОСТ 8240-97): $b_2 = 5,8\text{см}$; $z_0 = 1,67\text{см}$; $A_2 = 15,6\text{см}^2$; $I_{x2} = 45,4\text{см}^4$.

Двутавр № 10 (ГОСТ 8239-89): $h_1 = 10\text{см}$; $A_1 = 12\text{см}^2$; $I_{x1} = 198\text{см}^4$.

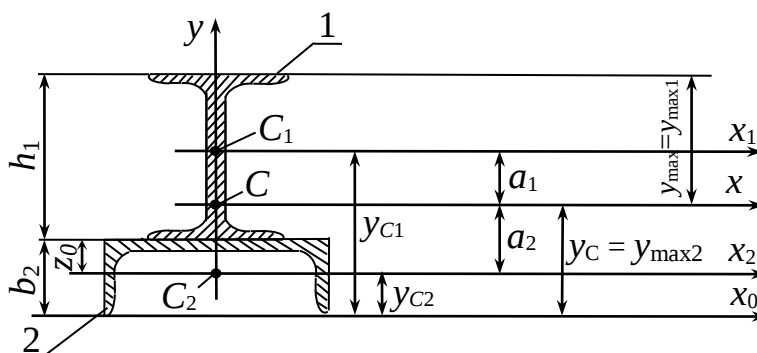


Рис. 6 – эскиз сечения

Определяем положение центра тяжести сечения. Для этого выбираем любую вспомогательную систему координат. Например, оси x_0y_0 .

Тогда

$$x_C = 0$$

$$y_C = \frac{\sum_{i=1}^2 y_{Ci} A_i}{\sum_{i=1}^2 A_i} = \frac{y_{C1} A_1 + y_{C2} A_2}{A_1 + A_2}, \text{ где (см. рис.)}$$

$$y_{C1} = b_2 + \frac{h_1}{2} = 5,8 + \frac{10}{2} = 10,8 \text{ см}$$

$$y_{C2} = b_2 - z_0 = 5,8 - 1,67 = 4,13 \text{ см}$$

$$y_C = \frac{10,8 \cdot 12 + 4,13 \cdot 15,6}{12 + 15,6} = 7,03 \text{ см.}$$

Через центр тяжести сечения (точка C) проводим главные центральные оси сечения – x , y .

Вычисляем I_x

$$I_x = \sum_{i=1}^2 I_x^{(i)} = I_x^{(1)} + I_x^{(2)}.$$

Используем формулы для вычисления осевых моментов инерции при параллельном переносе осей координат:

$$I_x^{(1)} = I_{x1} + A_1 \cdot a_1^2$$

$$I_x^{(2)} = I_{x2} + A_2 \cdot a_2^2, \text{ где}$$

$$a_1 = y_{C1} - y_C = 10,8 - 7,03 = 3,77 \text{ см}$$

$$a_2 = y_C - y_{C2} = 7,03 - 4,13 = 2,9 \text{ см}$$

Следовательно,

$$I_x^{(1)} = 198 + 12 \cdot 3,77^2 = 369 \text{ см}^4$$

$$I_x^{(2)} = 45,4 + 15,6 \cdot 2,9^2 = 177 \text{ см}^4$$

$$I_x = 369 + 177 = 546 \text{ см}^4.$$

Находим $y_{\max}$ – рис. 6.

$$y_{\max1} = h_1 + b_2 - y_C = 10 + 5,8 - 7,03 = 8,77 \text{ см}$$

$$y_{\max2} = y_C = 7,03 \text{ см}$$

Таким образом,

$$y_{\max} = y_{\max 1} = 8,77 \text{ см}$$

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}} = \frac{546}{8,77} = 62,3 \text{ см}^3 = 62,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Из условия прочности

$$\frac{M_{x \max}}{W_x} \leq \frac{\sigma_T}{n} \text{ или}$$

$$\frac{0,625ql^2}{W_x} \leq \frac{\sigma_T}{n}, \text{ откуда}$$

$$q \leq \frac{\sigma_T \cdot W_x}{n \cdot 0,625l^2} = \frac{340 \cdot 62,3 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{1,65 \cdot 0,625 \cdot 0,8^2} = 32,1 \text{ кН/м}$$

Принимаем $[q] = 32 \text{ кН/м}$

$$[F] = \frac{1}{4}[q] \cdot l = \frac{1}{4} \cdot 32 \cdot 0,8 = 6,4 \text{ кН.}$$

3. УСЛОВИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Из расчета на прочность определить размеры поперечного сечения стержня d - табл. 1.

Задача 2. Из расчета на прочность определить допускаемую величину нагрузок, действующих на стержень ($[M]$, $[m]$) – табл. 2.

Задача 3. Проверить прочность стержня – табл. 3. Если окажется $n_d < 1,5$, дать рекомендации по повышению прочности стержня.

Примечание:

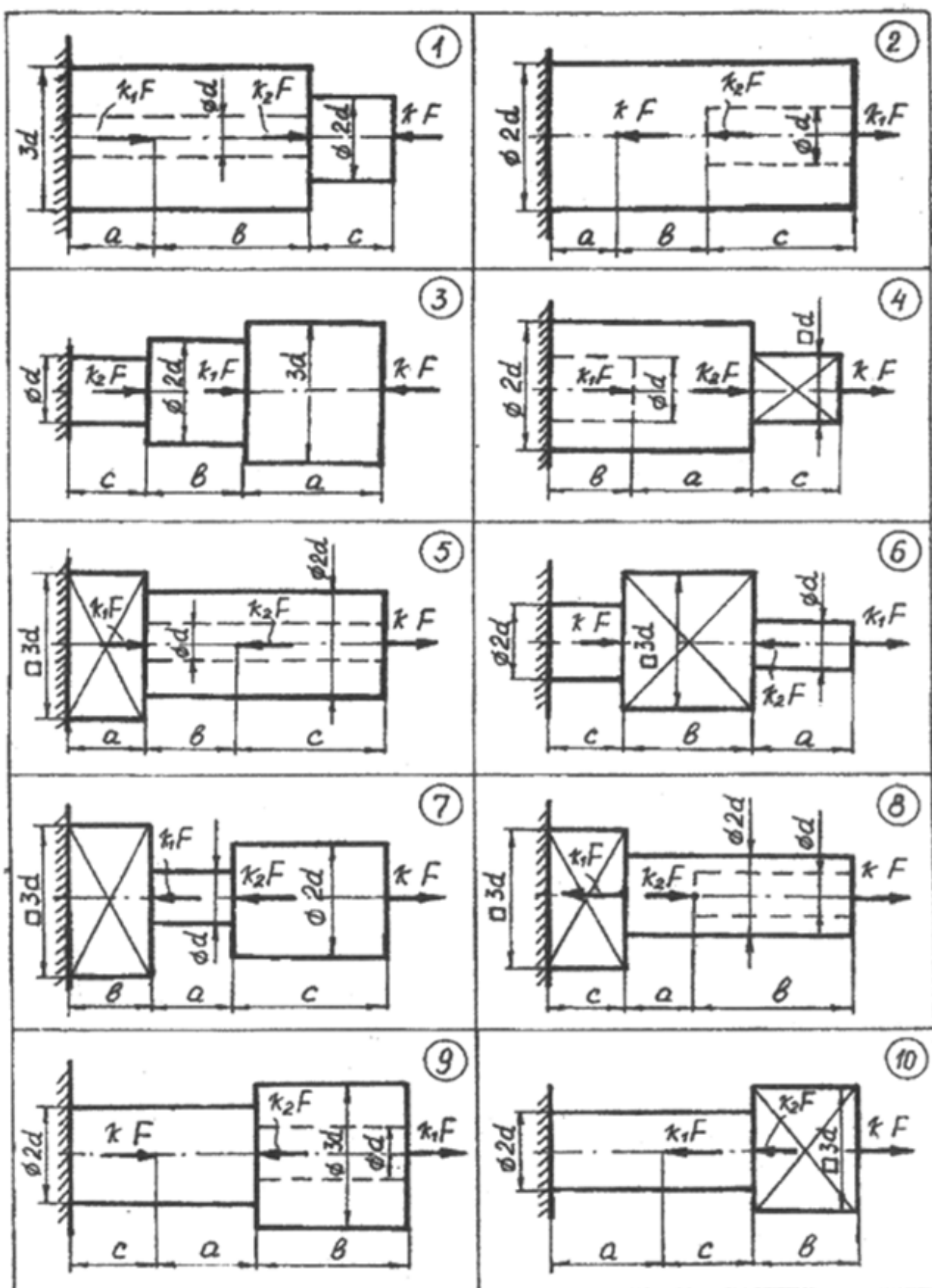
1. Материал стержня в задачах 1 и 3 принять по указанию преподавателя.
2. Исходные данные к задачам 1 и 2 принять из таблицы 5; к задаче 3 – по указанию преподавателя.

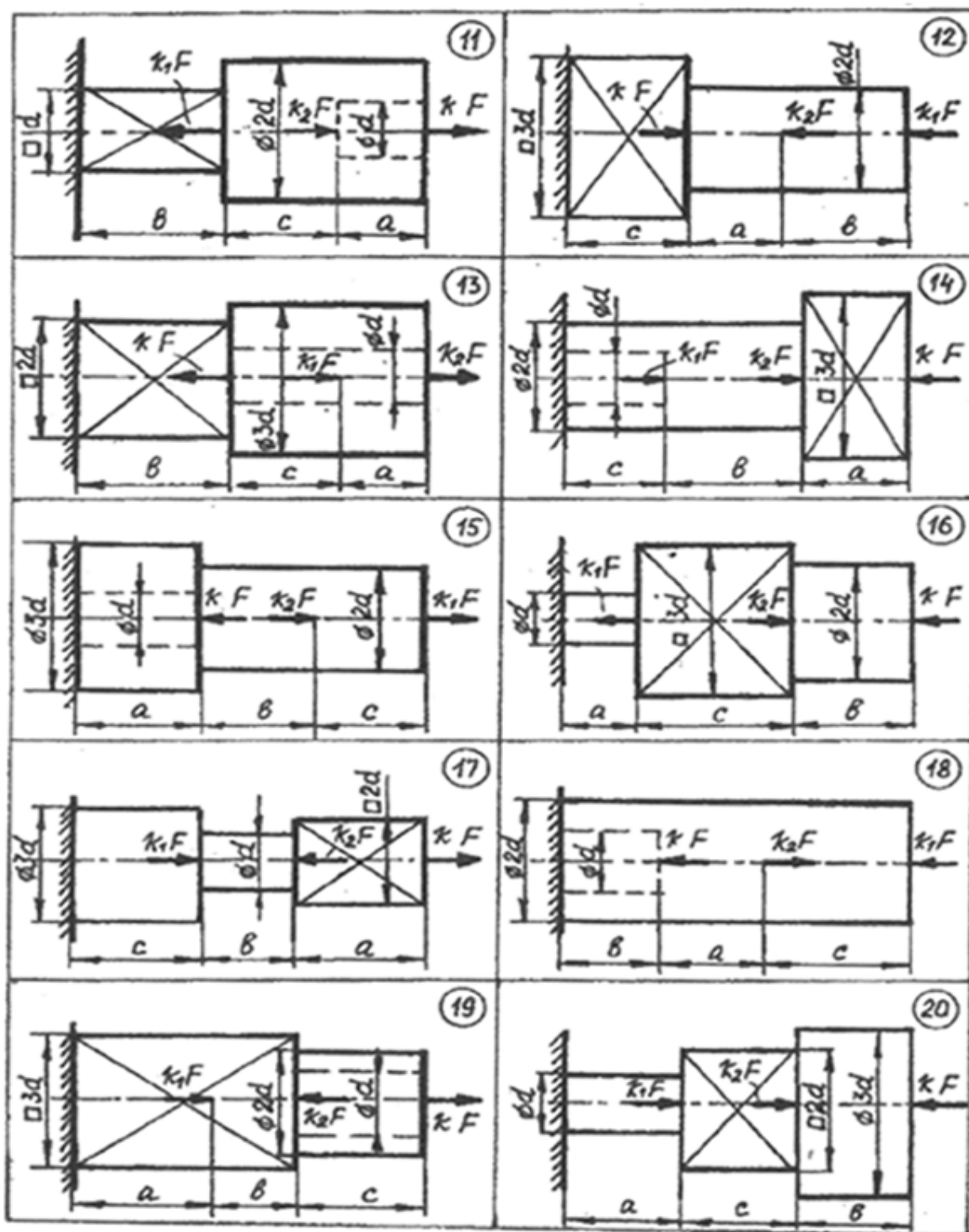
ЛИТЕРАТУРА

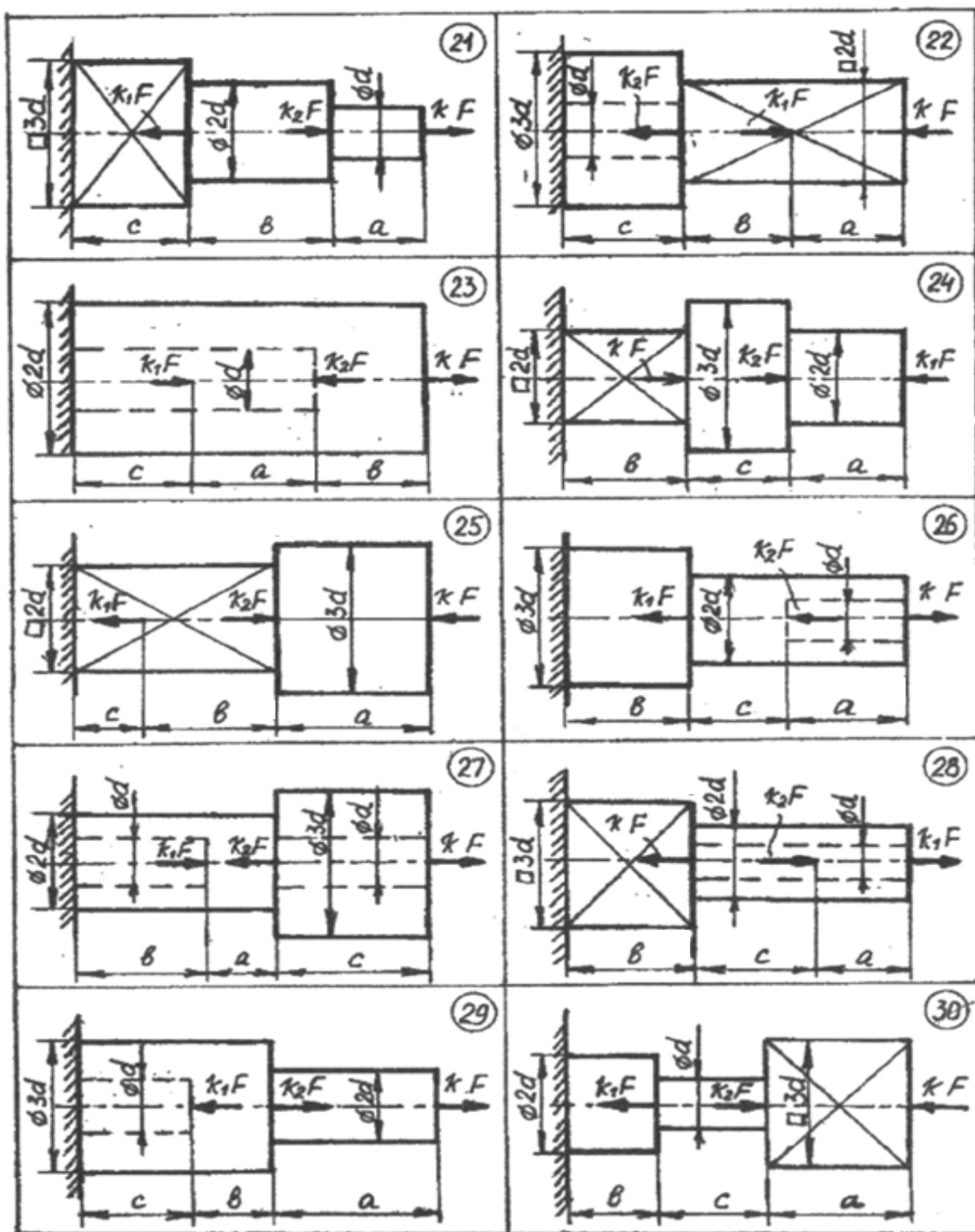
1. Г.С.Писаренко, А.П.Яковлев, В.В.Матвеев. Справочник по сопротивлению материалов - Киев: Наукова думка, 1988.-733с.
2. Степин П.А. Сопротивление материалов. – С-Петербург.: Стереот. Изд. 2010, 1986, 1988, 1997 г.г. – 232 экз.

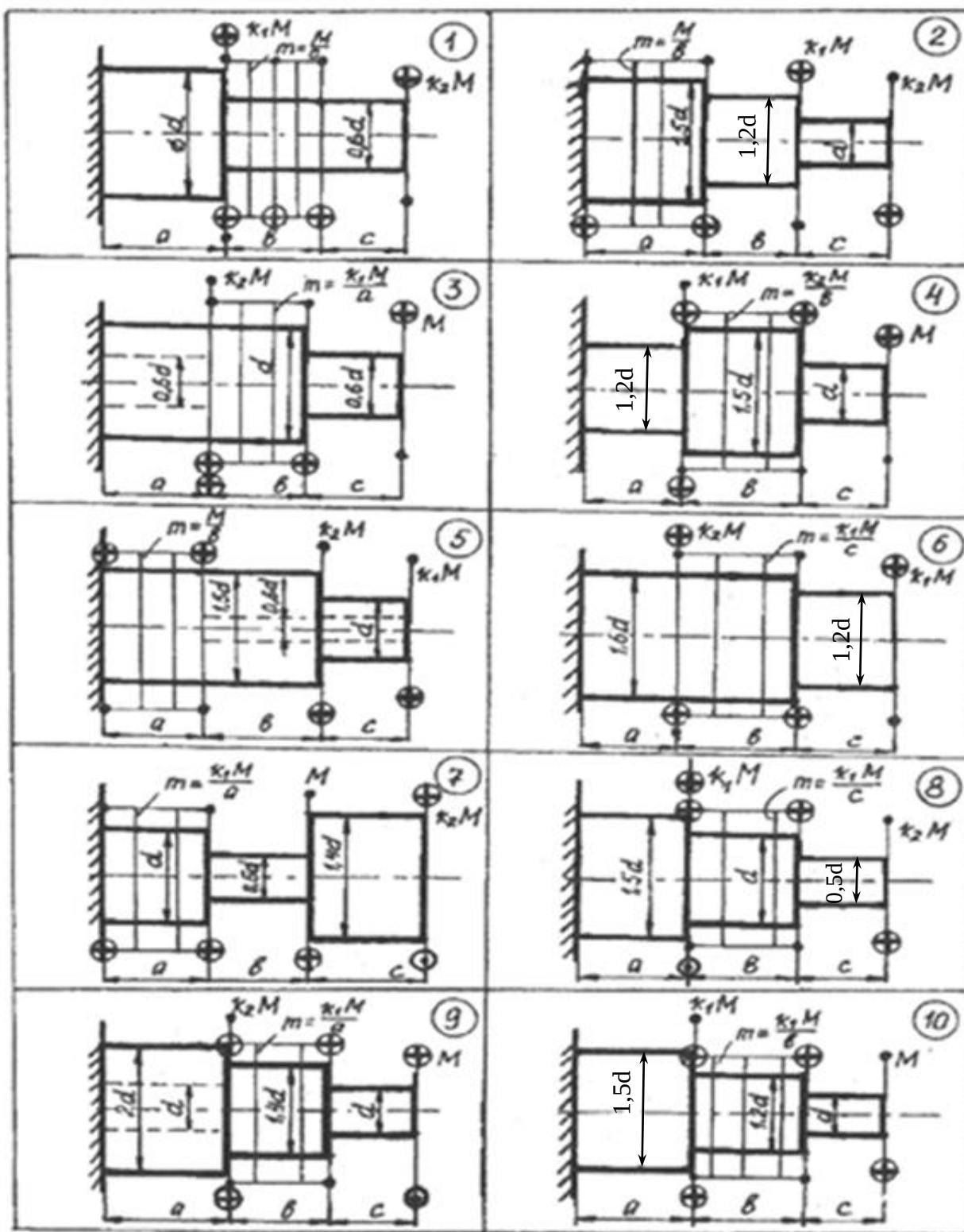
РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ К ЗАДАЧАМ

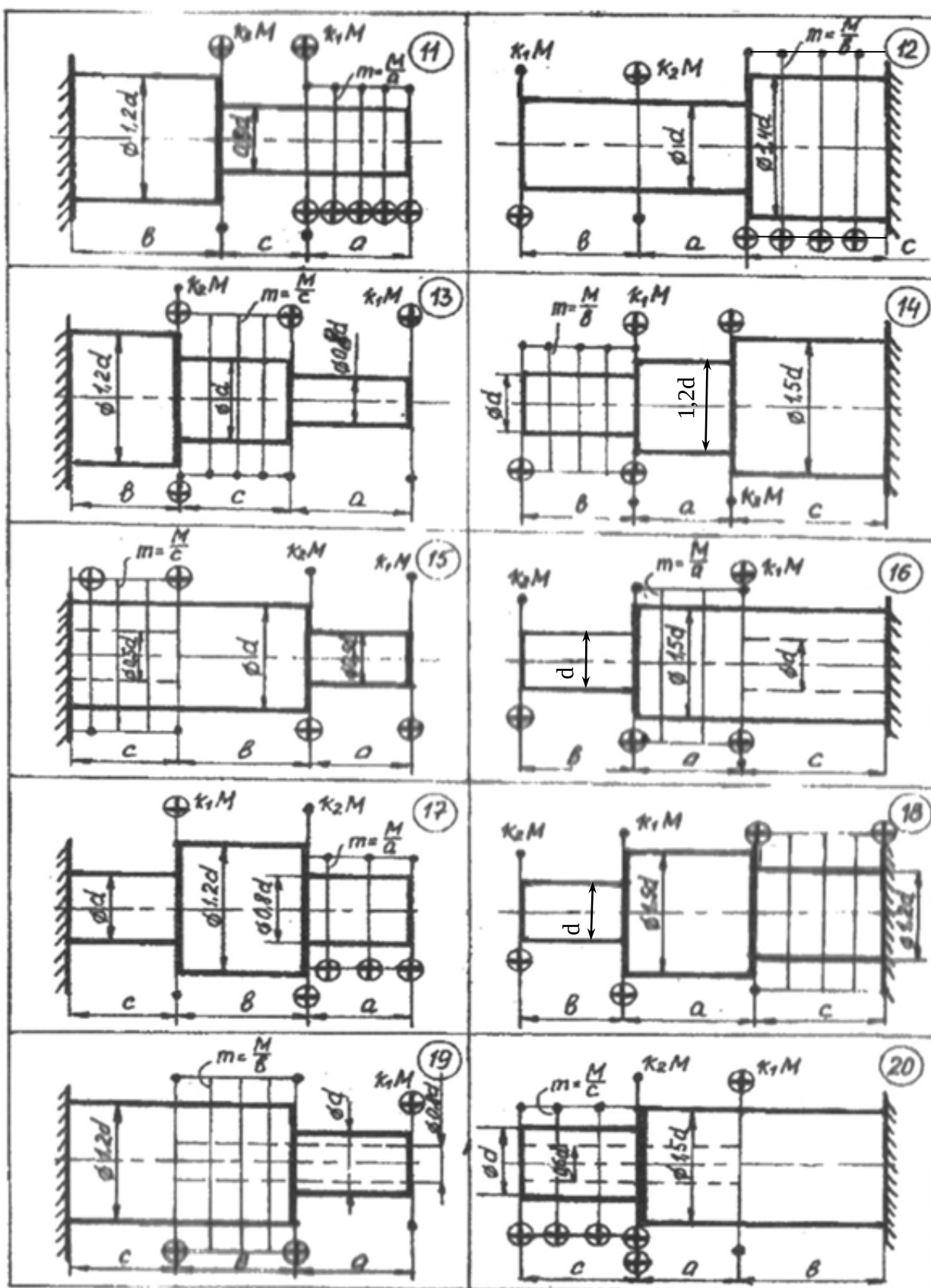
Таблица 1











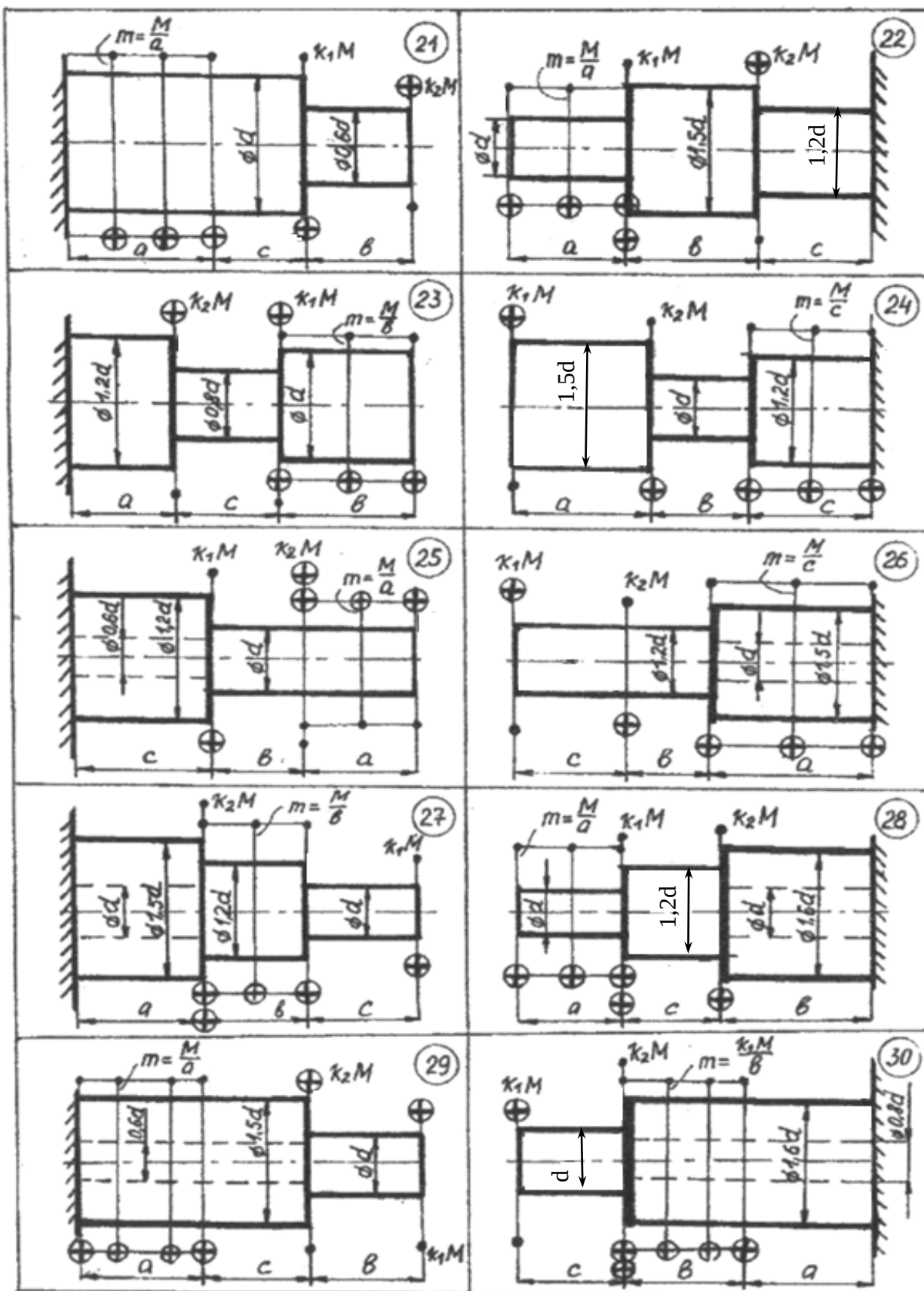
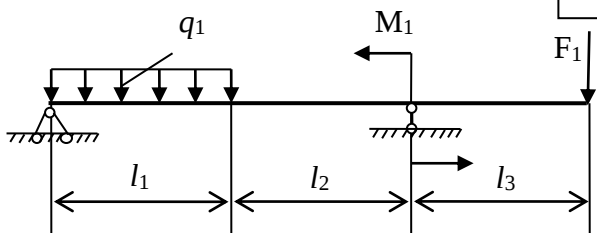
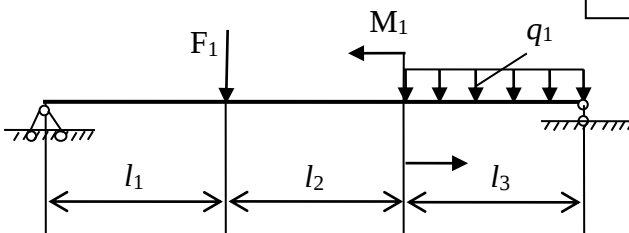
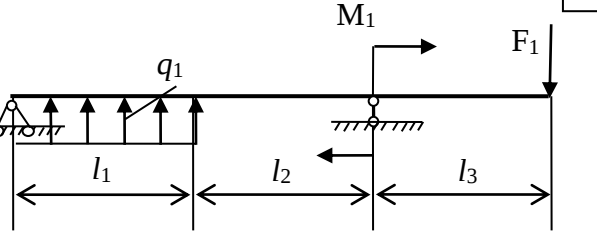
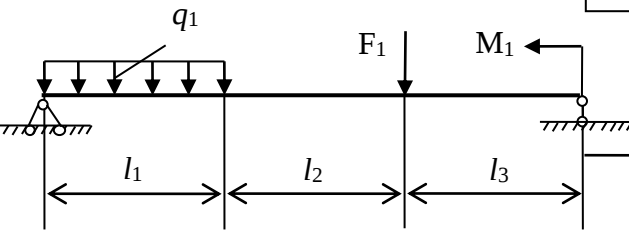
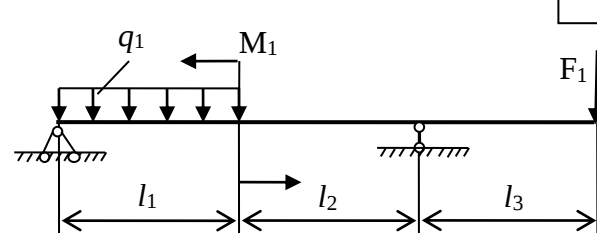
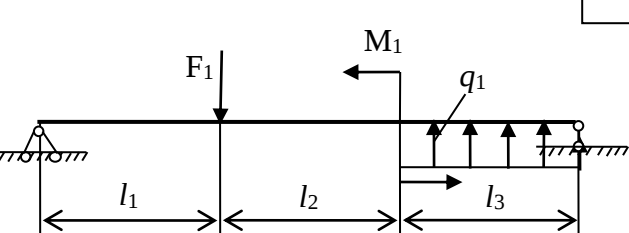
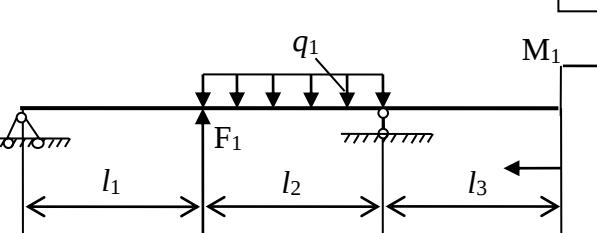
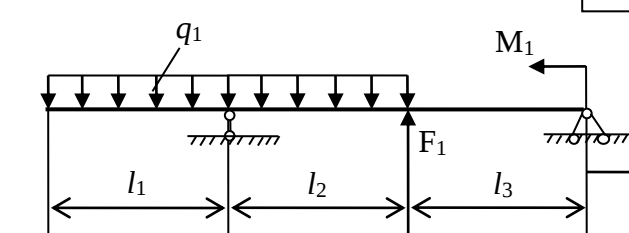
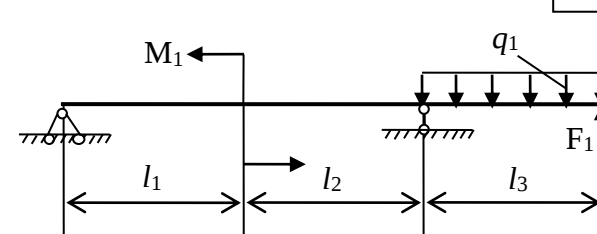
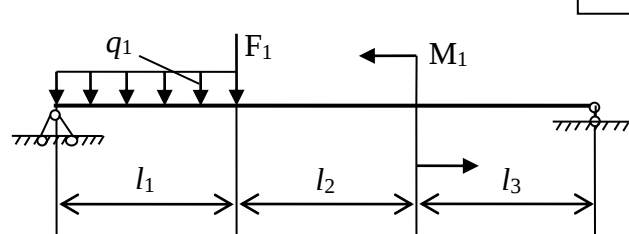
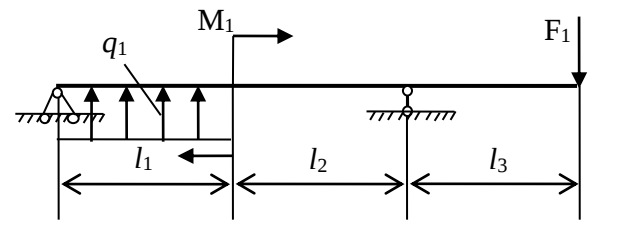
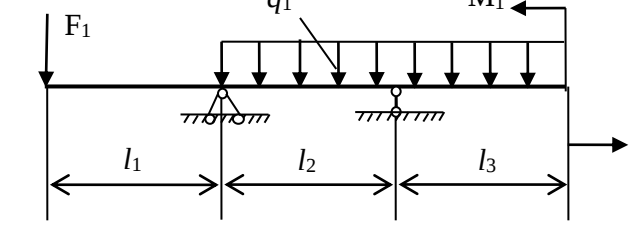
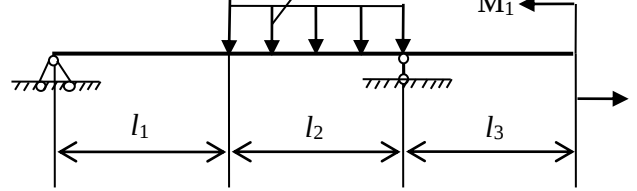
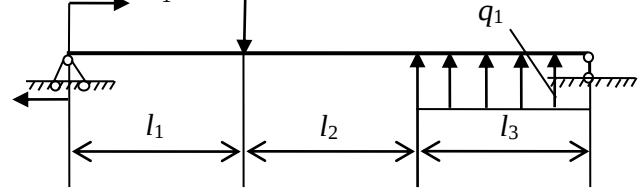
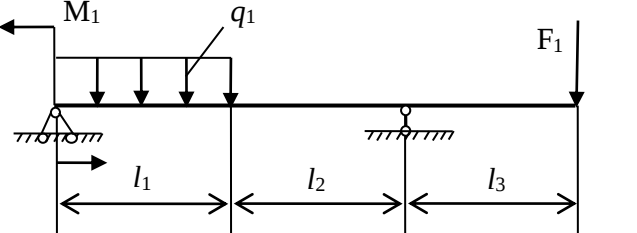
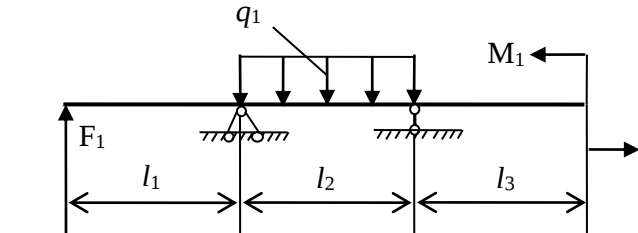
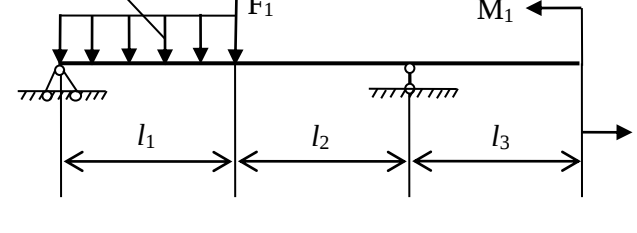
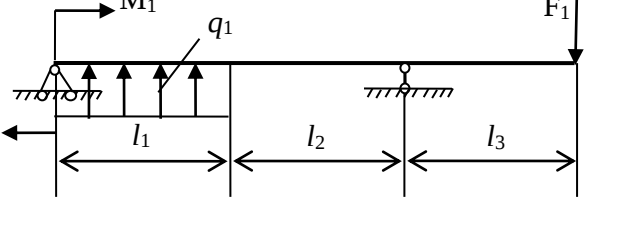
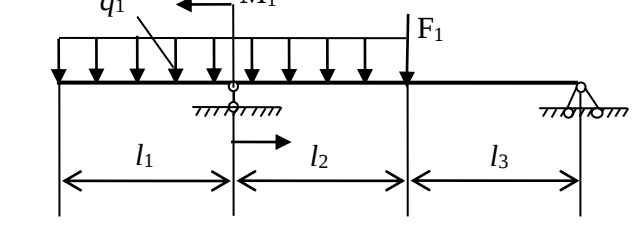
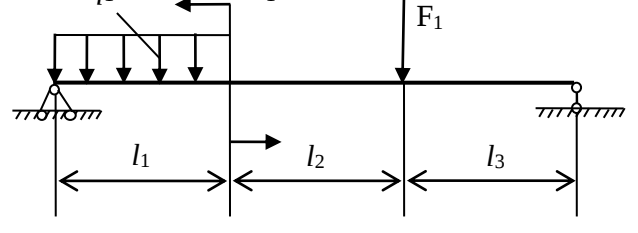
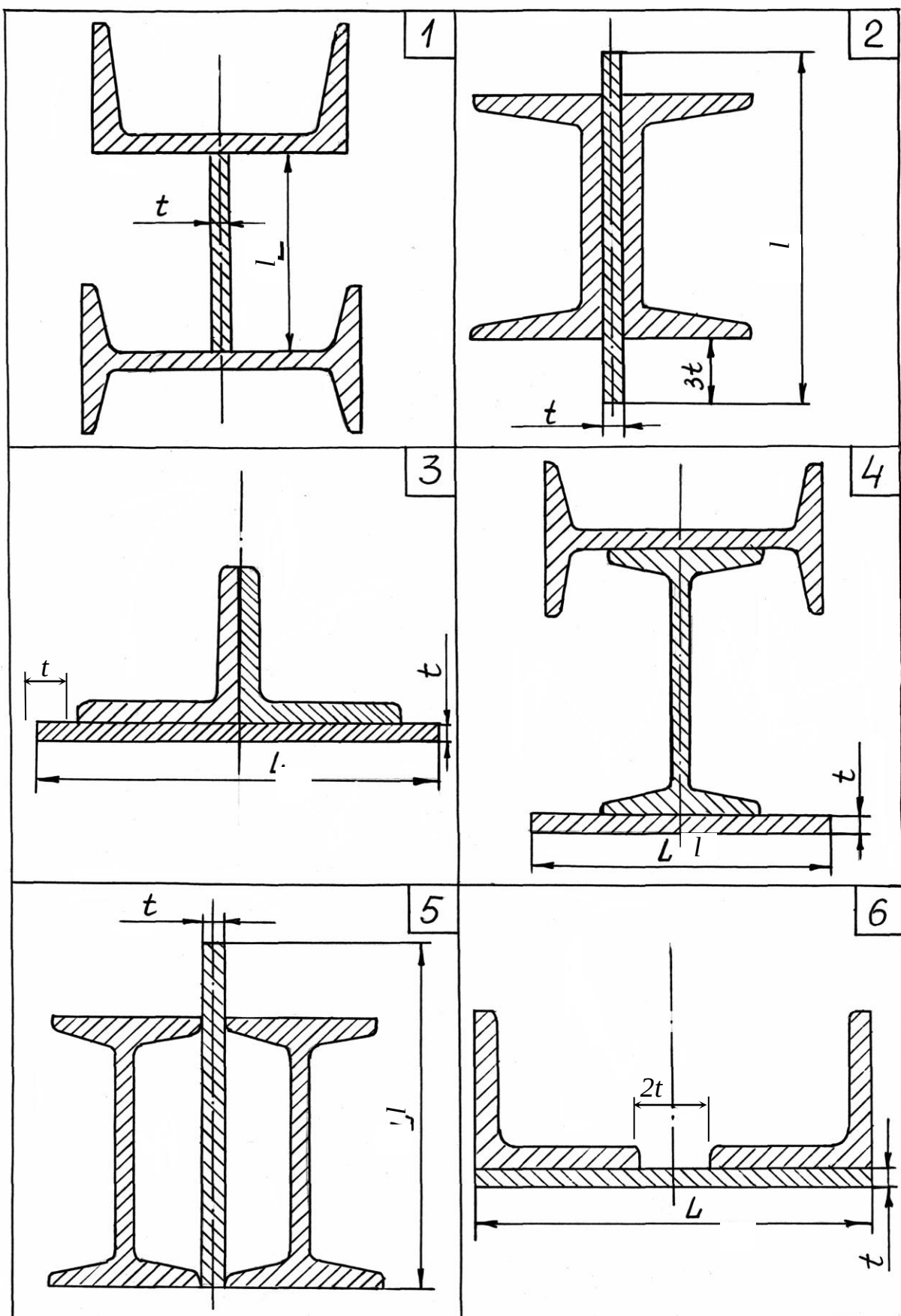


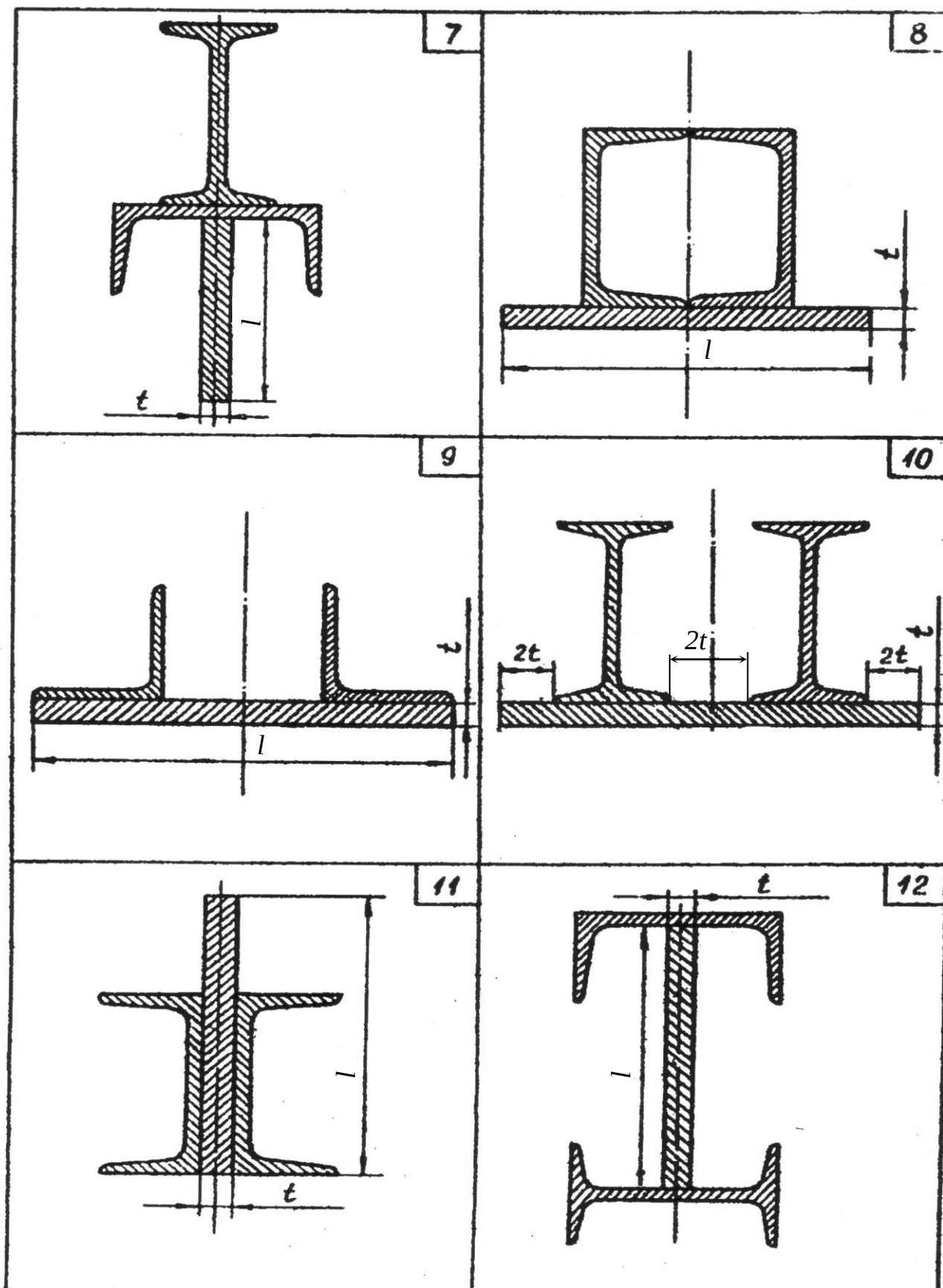
Таблица 3

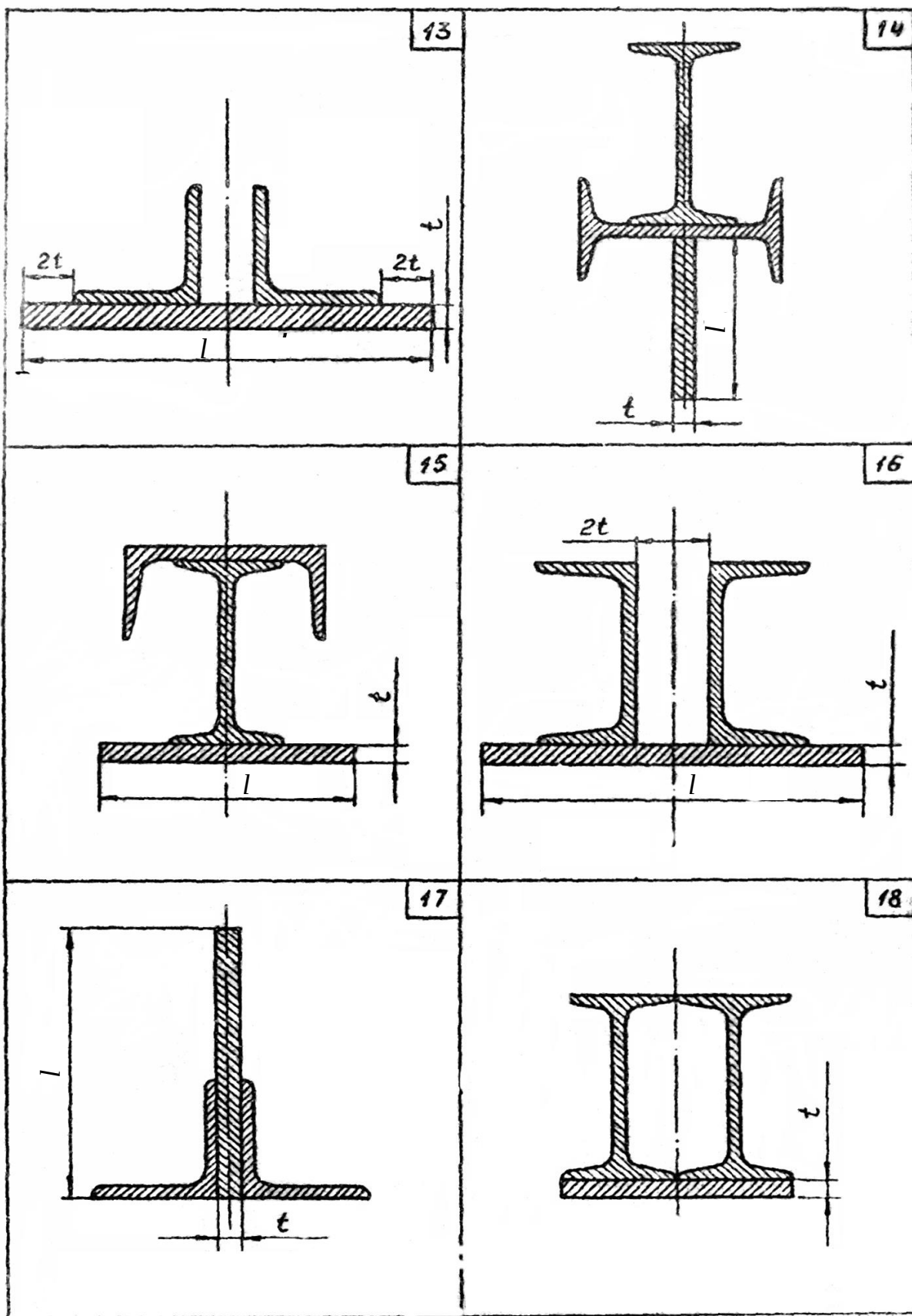
1 	2 
3 	4 
5 	6 
7 	8 
9 	10 

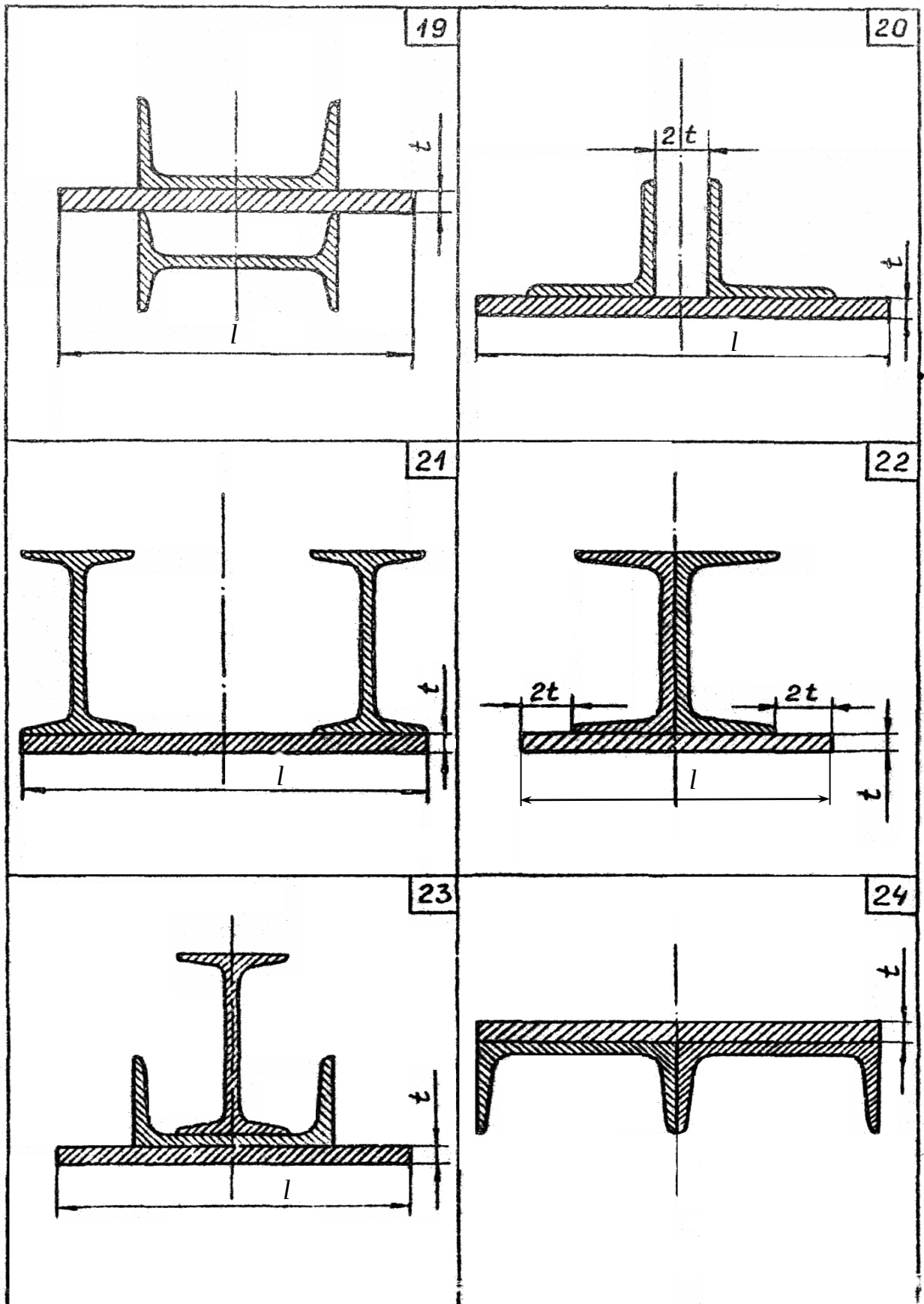
11 	12 
13 	14 
15 	16 
17 	18 
19 	20 

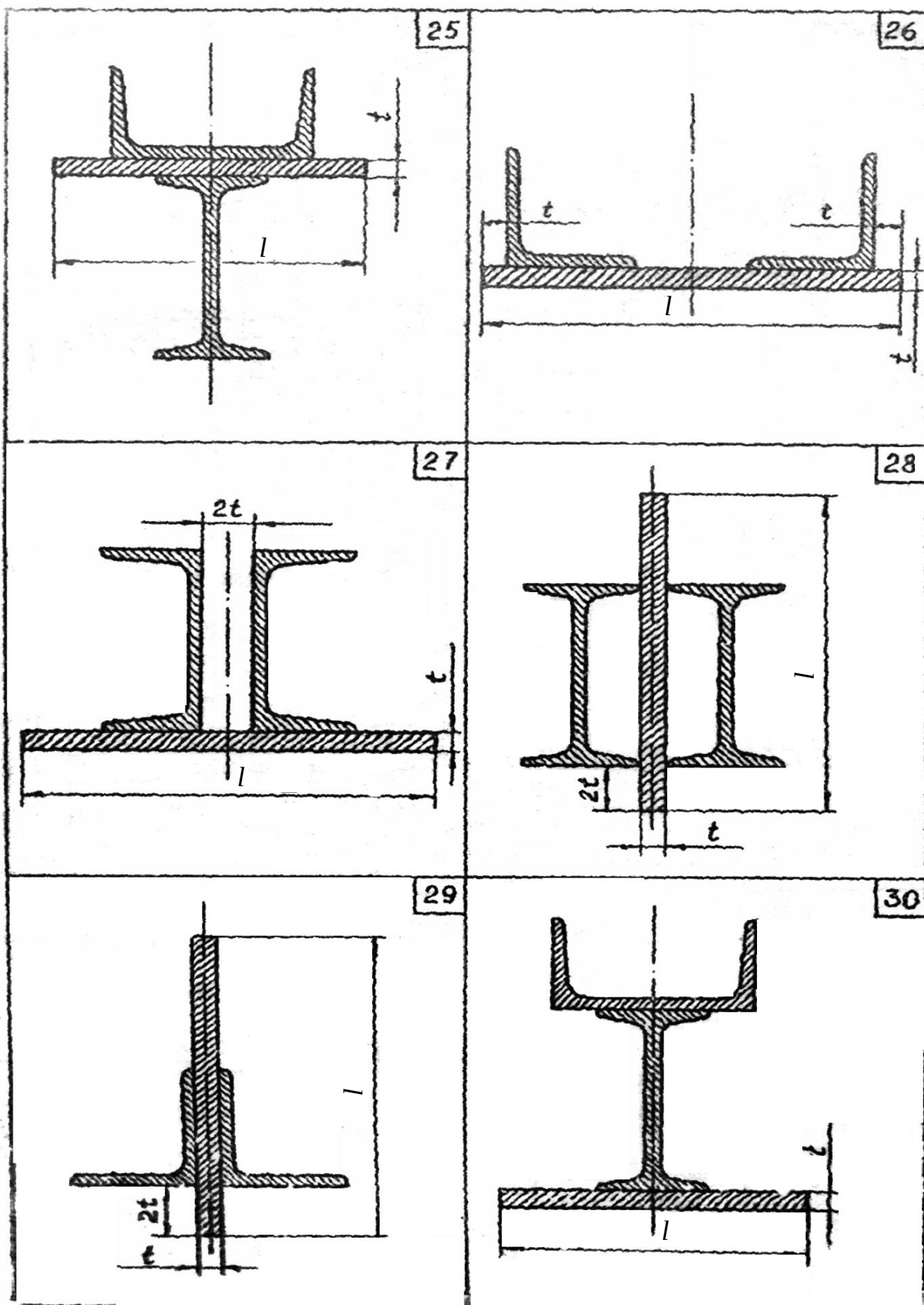
21	22
23	24
25	26
27	28
29	30











ПРИЛОЖЕНИЕ II

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 5

№ П/П	<i>a</i> , м	<i>b</i> , м	<i>c</i> , м	<i>F</i> , кН	<i>k</i>	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₂	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>l</i> ₃	[τ], МПа	<i>d</i> , мм
1.	0,5	1,0	1,5	100	0,7	1,2	0,2	0,2 L	0,8 L	0,5 L	25	85
2.	0,6	0,9	1,4	110	0,8	1,4	0,4	0,4 L	0,3 L	0,7 L	30	95
3.	0,7	0,8	1,3	120	0,9	1,5	0,5	0,5 L	0,2 L	0,8 L	35	80
4.	0,75	0,75	1,2	125	1,0	1,4	0,7	0,7 L	0,4 L	0,3 L	40	90
5.	0,8	0,7	1,1	130	1,1	1,3	0,8	0,8 L	0,5 L	0,2 L	45	100
6.	0,9	0,6	1,0	135	1,2	1,1	0,75	0,3 L	0,7 L	0,4 L	50	110
7.	1,0	0,5	0,9	140	1,3	1,0	0,9	0,2 L	0,8 L	0,5 L	55	100
8.	1,1	0,4	0,8	150	1,4	0,9	1,0	0,4 L	0,3 L	0,7 L	60	90
9.	1,2	0,5	0,7	160	1,5	0,8	1,3	0,5 L	0,2 L	0,8 L	65	80
10.	1,1	0,6	0,8	200	1,6	0,6	1,4	0,7 L	0,4 L	0,3 L	70	105
11.	1,0	0,7	0,9	190	2,0	0,5	0,3	0,8 L	0,5 L	0,2 L	75	100
12.	0,9	0,8	0,75	180	1,8	1,0	0,6	0,3 L	0,8 L	0,4 L	80	85
13.	0,8	0,75	1,0	170	1,7	1,2	0,5	0,2 L	0,3 L	0,5 L	25	90
14.	0,7	0,9	1,1	150	1,6	1,4	0,25	0,4 L	0,2 L	0,7 L	30	110
15.	0,6	1,0	1,0	140	1,5	1,6	0,8	0,5 L	0,4 L	0,8 L	35	80
16.	0,75	1,1	0,9	120	1,4	0,3	1,0	0,7 L	0,5 L	0,3 L	40	90
17.	0,9	1,2	0,8	110	1,2	0,25	1,2	0,8 L	0,7 L	0,2 L	45	100
18.	0,8	1,3	0,75	100	1,0	0,5	1,5	0,3 L	0,8 L	0,4 L	50	110
19.	0,6	1,4	0,7	90	0,9	0,6	1,6	0,2 L	0,3 L	0,5 L	55	120
20.	0,5	1,5	0,6	80	0,8	0,8	1,8	0,4 L	0,2 L	0,7 L	60	125
21.	0,4	1,4	0,7	100	1,0	1,0	2,0	0,5 L	0,4 L	0,8 L	65	130
22.	0,3	1,3	0,8	110	1,1	1,2	0,6	0,7 L	0,5 L	0,3 L	70	100
23.	1,0	1,2	0,9	130	1,2	1,25	0,5	0,8 L	0,7 L	0,2 L	60	90
24.	1,1	1,1	0,8	150	1,4	1,5	0,75	0,3 L	0,8 L	0,4 L	50	110
25.	1,2	1,0	0,7	200	1,6	1,8	0,4	0,5 L	0,3 L	0,7 L	60	100

ТРЕБОВАНИЯ
к оформлению расчетно-проектировочных работ
по «Сопротивлению материалов»

1. Пояснительная записка:

1.1. Выполняется на одной стороне листа формата А4.

1.2. Титульный лист (первый) оформляется согласно Приложения III.

1.3. На второй странице приводятся условия всех задач и исходные данные к ним.

1.4. Работа должна быть оформлена чисто, аккуратно, четко. Вычисления должны сопровождаться краткими пояснениями.

1.5. Вычисления выполняются с точностью до трех значащих цифр, например,

$$\sigma = \frac{N_1}{F_1} = \frac{2P}{\pi d^2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 10^2} = 19,7 \text{ кг/см}^2.$$

1.6. Листы пояснительной записки скрепляются неразъемно слева.

1.7. В конце пояснительной записки студент расписывается и ставит дату сдачи работы на кафедру.

2. Графическая часть:

2.1. Выполняется на ватмане.

2.2. Расчетные схемы и эпюры (графики) выполняются с соблюдением масштабов.

2.3. На расчетных схемах и эпюрах должны быть проставлены значения всех величин.

3. Ошибки исправляются на чистой стороне листа слева от текста.