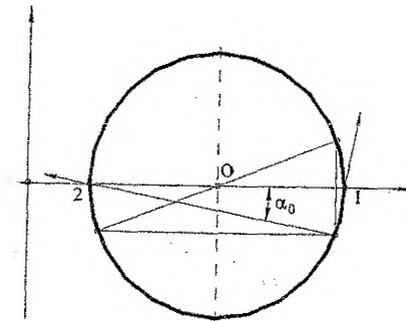


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
"БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"  
Кафедра сопротивления материалов и теоретической механики

## ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению расчетно-графических работ  
по технической механике  
для студентов специальности  
1-69 01 01 – «Архитектура»



Брест 2008

Методические указания содержат индивидуальные задания, исходные данные и примеры решения задач статики по определению реакций связей, расчета статически неопределимых стержневых систем на прочность при осевом растяжении-сжатии, расчета балочных систем на прочность при прямом поперечном изгибе. В указаниях приведены также требования к оформлению расчетно-графических работ.

Основная цель методических указаний - оказание помощи студентам архитектурных специальностей при изучении основных разделов теоретической механики и сопротивления материалов, активизация самостоятельной работы.

Составители: Хвисевич В. М., доцент, к.т.н.,  
Веремейчик А. И., ст. преподаватель,  
Петрукович А. Н., ассистент, к.т.н.

Рецензент: директор филиала РУП «Институт БелНИИС»-«Научно-технический центр»,  
д-р техн. наук А.Я. Найчук.

## СОДЕРЖАНИЕ

Общие положения .....	4
Требования к оформлению расчетно-графических работ .....	4
1. Теоретическая механика .....	5
Задание 1.1 .....	5
Задание 1.2 .....	8
2. Сопротивление материалов .....	21
Задание 2.1 .....	21
Задание 2.2 .....	24
Список литературы .....	35

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При проектировании зданий и сооружений различного назначения архитекторы должны обладать элементами фундаментальных знаний по общетехническим дисциплинам. К таким дисциплинам относятся теоретическая механика и сопротивление материалов. Умение построить модели силовых нагрузжений, определить реактивные силы опорных устройств элементов конструкций, а также оценить их прочностные и жесткостные характеристики, приобретает студентами после изучения основных разделов названных дисциплин.

Типовым планом для подготовки архитекторов предусмотрено небольшое количество учебного времени, в течение которого можно рассмотреть только элементарные разделы теоретической механики и сопротивления материалов.

Студенты должны выполнить две расчетно-графические работы, в состав которых входят по 2 задания.

Выполнение заданий позволит студентам научиться самостоятельно определять реакции опорных устройств (связей) для плоских и пространственных конструкций, проводить расчет ферм, производить элементарные прочностные и жесткостные расчеты статически определимых и неопределимых систем на растяжение, сжатие и плоский поперечный изгиб.

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

1. Расчетно-проектировочная работа выполняется на отдельных листах формата А4.
2. Порядок оформления: титульный лист; задание с указанием исходных данных и схем конструкций; текст расчетов с необходимыми пояснениями и схемами; выводы; перечень литературы.
3. Чертежи и схемы выполняются с соблюдением правил графики и масштабов согласно стандарту УО «БрГТУ».
4. Текстовая часть выполняется в соответствии с требованиями к оформлению текстовых документов. Страницы нумеруются. Расчеты выполняются в общем виде, подставляются значения величин, записывается числовой результат с указанием размерности полученной величины. Все вычисления производятся в десятичных дробях с точностью до сотых долей.
5. Эпюры необходимо строить на одном листе с расчетной схемой, на эпюрах указывать числовые значения характерных ординат и единицы расчетных величин.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Расчетно-графическая работа по теоретической механике включает в себя задания 1.1 и 1.2. Прежде чем приступить к их выполнению, необходимо изучить следующие сведения из теории: связи и их реакции, произвольная плоская система сил, момент силы относительно точки на плоскости, определение реакций связей составных конструкций, теорема Вариньона для момента относительно центра на плоскости, методы расчета ферм.

### ЗАДАНИЕ 1.1

Составная рама состоит из 2-х жестких частей, шарнирно соединенных между собой. С помощью внешних связей (шарнирно-неподвижной, шарнирно-подвижной опор или жесткой заделки) рама крепится к неподвижному основанию. Рама загружена сосредоточенными силами  $\vec{P}_1$  и  $\vec{P}_2$ , равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью  $q$  и парой сил с моментом  $M$ .

Требуется:

- 1) определить реакции внешних связей рамы;
- 2) определить давление в промежуточном шарнире;
- 3) проверить правильность решения.

Исходные данные для расчета принять согласно схемам (рис. 1.8) и таблице 1.1.

#### Пример выполнения задания

Дано: схема составной рамы (см. рис. 1),  $F=20$  кН;  $q=6$  кН/м;  $M=18$  кН·м;  $\alpha=60^\circ$ ;  $\beta=30^\circ$ ;  $a=2$  м.

Определить реакции связей в точках  $A$  и  $B$ , а также давление в шарнире  $C$ .

Исходная схема представлена на рис. 1.1. На составную конструкцию наложены связи в точках  $A$  (подвижный шарнир) и  $B$  (жесткая заделка).

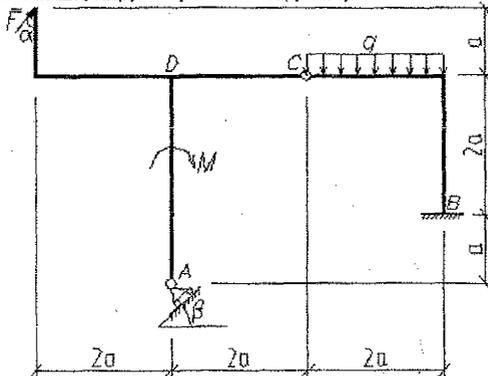


Рис. 1.1. Исходная схема составной рамы

#### Решение

Рассмотрим равновесие рамы под действием заданных сил и реакций опор. Для этого выберем оси координат  $x$  и  $y$  и заменим связи в точках  $A$  и  $B$  соответствующими реакциями (рис. 1.2). Реакция  $\vec{R}_A$  шарнирно-подвижной опоры  $A$  приложена в точке  $A$  и направлена перпендикулярно опорной плоскости, реакцию жесткой заделки в точке  $B$  заменяем двумя ее составляющими  $\vec{X}_B$ ,  $\vec{Y}_B$  и реактивным моментом  $M_B$ . Действующую на раму распределенную нагрузку интенсивностью  $q$  заменим равнодействующей  $\vec{Q}$ , модуль которой равен:

$$Q = q \cdot 2a = 6 \cdot 2 \cdot 2 = 24 \text{ кН.}$$

Рама находится в равновесии под действием произвольной плоской системы сил, для которой можно составить три уравнения равновесия, в то время как определению под- лежат четыре неизвестные реакции. Расчленим раму на части и рассмотрим равновесие каждой из них. При этом действие частей рамы друг на друга заменим составляющими реакции внутренней связи в шарнире  $C$   $\bar{X}_C, \bar{Y}_C$  (рис. 1.3).

По аксиоме равенства действия и противодействия эти реакции противоположно на- правлены и равны по модулю:

$$\bar{X}_C = -\bar{X}'_C; \bar{Y}_C = -\bar{Y}'_C. \quad (1.1)$$

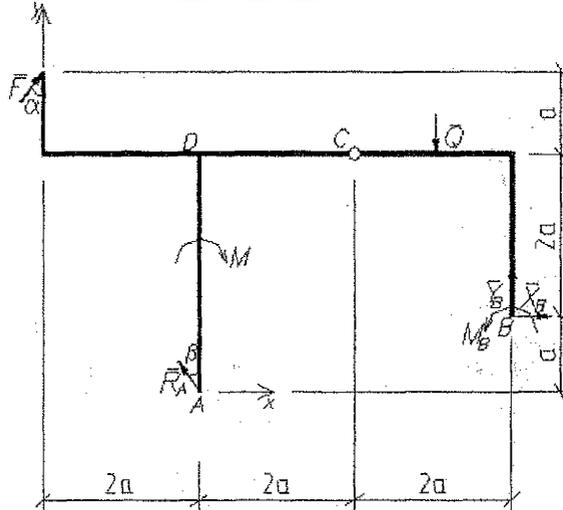


Рис. 1.2. Расчетная схема

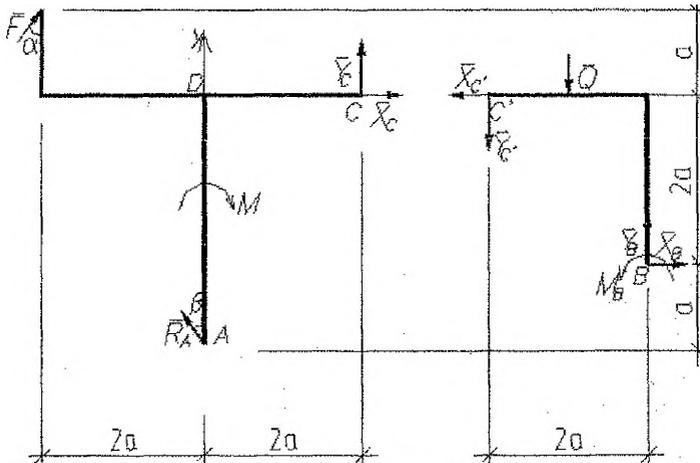


Рис. 1.3. Расчетные схемы элементов составной рамы

Составим уравнения равновесия плоской произвольной системы сил, приложенных к левой части рамы (рис. 1.3):

$$\begin{aligned}\sum F_{ix}^{acc} &= 0; F \sin \alpha + X_C - R_A \sin \beta = 0; \\ \sum F_{iy}^{acc} &= 0; F \cos \alpha + Y_C + R_A \cos \beta = 0; \\ \sum M_C^{acc} &= 0; -F \cos \alpha \cdot 4a - F \sin \alpha \cdot a - R_A \cos \beta \cdot 2a - R_A \sin \beta \cdot 3a - M = 0.\end{aligned}\quad (1.2)$$

Здесь при определении моментов сил  $\vec{F}$  и  $\vec{R}_A$  была применена теорема Вариньона (момент силы относительно точки равен сумме моментов составляющих этой силы относительно этой же точки).

Выразив из последнего уравнения  $R_A$  и подставив полученное значение в два предыдущих, получим:

$$R_A = \frac{F \cos \alpha 4a + F \sin \alpha a + M}{a(2 \cos \beta + 3 \sin \beta)} = \frac{20 \cdot \cos 60^\circ \cdot 4 + 20 \cdot \sin 60^\circ \cdot 2 + 18}{2(2 \cdot \cos 30^\circ + 3 \cdot \sin 30^\circ)} = -20,52 \text{ кН};$$

$$X_C = -F \sin \alpha + R_A \sin \beta = -20 \cdot \sin 60^\circ + (-20,52) \sin 30^\circ = -27,58 \text{ кН};$$

$$Y_C = -F \cos \alpha - R_A \cos \beta = -20 \cdot \cos 60^\circ - (-20,52) \cos 30^\circ = 7,77 \text{ кН}.$$

Составим теперь уравнения равновесия для плоской произвольной системы сил, приложенных к правой части рамы (рис. 1.3). Учитывая равенства (1.1), получим:

$$\begin{aligned}\sum F_{ix}^{npoa} &= 0; -X_C + X_B = 0; \\ \sum F_{iy}^{npoa} &= 0; -Y_C - Q + Y_B = 0; \\ \sum M_B^{npoa} &= 0; X_C \cdot 2a + Y_C \cdot 2a + Q \cdot a + M_B = 0.\end{aligned}\quad (1.3)$$

Выражая из уравнений (1.3) неизвестные реакции и подставляя числовые значения, будем иметь:

$$X_B = X_C = -27,58 \text{ кН};$$

$$Y_B = Y_C + Q = 7,77 + 24 = 31,77 \text{ кН};$$

$$M_B = -X_C \cdot 2a - Y_C \cdot 2a - Q \cdot a = (-27,52) \cdot (-2) \cdot 2 - 7,77 \cdot 2 \cdot 2 - 24 \cdot 2 = 31 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Для проверки правильности решения составим уравнение равновесия для системы сил, приложенных ко всей раме (уравнение моментов относительно точки D):

$$\begin{aligned}\sum M_D &= -F \cos \alpha \cdot 2a - F \sin \alpha \cdot a - R_A \sin \beta \cdot 3a - Q \cdot 3a + X_B \cdot 2a + Y_B \cdot 4a - M + M_B = \\ &= 20 \cdot \cos 60^\circ \cdot (-2) \cdot 2 - 20 \cdot \sin 60^\circ \cdot 2 - (-20,52) \cdot \sin 30^\circ \cdot 3 \cdot 2 - 3 \cdot 24 \cdot 2 + \\ &+ (-27,58) \cdot 2 \cdot 2 + 31,77 \cdot 4 \cdot 2 - 18 + 31 = 346,72 - 346,96 = 0,24 \approx 0.\end{aligned}$$

Проверка показала, что реакции определены верно.

Ответ:  $R_A = -20,52 \text{ кН}; X_B = -27,58 \text{ кН}; Y_B = 31,77 \text{ кН};$

$$M_B = 31 \text{ кН} \cdot \text{м}; X_C = -27,58 \text{ кН}; Y_C = 7,77 \text{ кН}.$$

Знаки показывают, что реакции  $R_A, X_B, X_C$  имеют направление, противоположное показанному на рис. 1.2, 1.3.

### ЗАДАНИЕ 1.2

Статически определимая стержневая конструкция в виде плоской фермы нагружена произвольной системой узловых нагрузок. С помощью внешних связей (шарнирно-неподвижной и шарнирно-подвижной опор) ферма крепится к неподвижному основанию.

К узлам фермы приложены две сосредоточенные силы  $\vec{P}$ , силы  $\vec{Q}$  и  $\vec{F}$ .

Требуется:

1. определить реакции опор (внешних связей);
2. определить усилия в стержнях 1-5 методом вырезания узлов и выполнить графическую проверку;
3. определить усилия в стержнях 1-3 методом Риттера. Сравнить результаты, полученные в п. 2 и 3. Сделать выводы.

Исходные данные для расчета принять согласно схемам (рис. 1.9), числовые данные – по таблице 1.2.

#### Пример выполнения задания

Дано: плоская ферма (рис. 1.4) нагружена силами; на ферму наложены связи (подвижный и неподвижный шарниры);  $P=90$  кН;  $Q=40$  кН;  $F=66$  кН;  $\alpha=55^\circ$ .

Определить: реакции связей и усилия в стержнях.

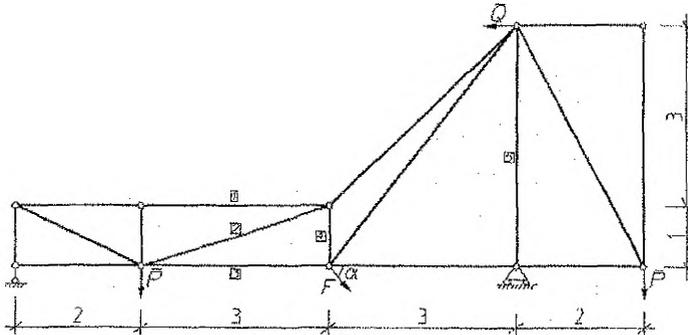


Рис. 1.4. Исходная схема фермы

#### Решение

##### а) Определяем реакции связей

Изобразим расчетную схему фермы в соответствии с исходными данными, обозначив реакции опор –  $\vec{R}_A$ ,  $\vec{X}_B$ ,  $\vec{Y}_B$  (рис. 1.5).

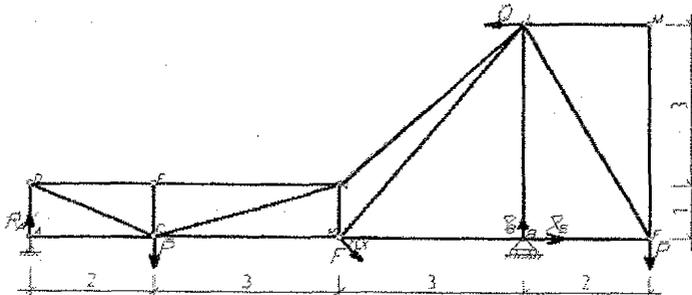


Рис. 1.5. Расчетная схема для определения реакций внешних связей

Составим уравнения равновесия, используя основную систему уравнений равновесия плоской произвольной системы сил:

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0; F \cos \alpha + X_B - Q = 0; \\ \sum F_y = 0; R_A - 2 \cdot P - F \sin \alpha + Y_B = 0; \\ \sum M_B(\vec{F}_K) = 0; -P \cdot 2 + Q \cdot 4 + F \sin \alpha \cdot 3 + P \cdot 6 - R_A \cdot 8 = 0. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Решаем полученную систему уравнений:

$$\begin{aligned} 66 \cdot \cos 55^\circ + X_B - 40 = 0 \Rightarrow X_B = 40 - 37,86 = 2,14 \text{ кН}, \\ -180 + 160 + 66 \cdot \sin 55^\circ \cdot 3 + 540 - R_A \cdot 8 = 0 \Rightarrow R_A = 85,27 \text{ кН}, \\ R_A - 180 - 66 \cdot \sin 55^\circ + Y_B = 0 \Rightarrow Y_B = 148,8 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Проверка:

$$\begin{aligned} \sum M_M(F_K) = 0: P \cdot 8 + F \cos \alpha \cdot 4 + F \sin \alpha \cdot 5 - R_A \cdot 10 + X_B \cdot 4 - Y_B \cdot 2 = 0, \\ 720 + 151,4 + 270,3 - 852,8 + 8,56 - 297,6 = 0, \\ 1150,26 - 1150,4 \approx 0. \end{aligned}$$

Значит, реакции опор определены верно.

### б) Определяем усилия в стержнях методом вырезания узлов.

Построим расчетную схему фермы для определения усилий в стержнях (рис. 1.6). Рассматриваем равновесие каждого узла в отдельности. Узлы находятся в равновесии под действием плоской системы сходящихся сил.

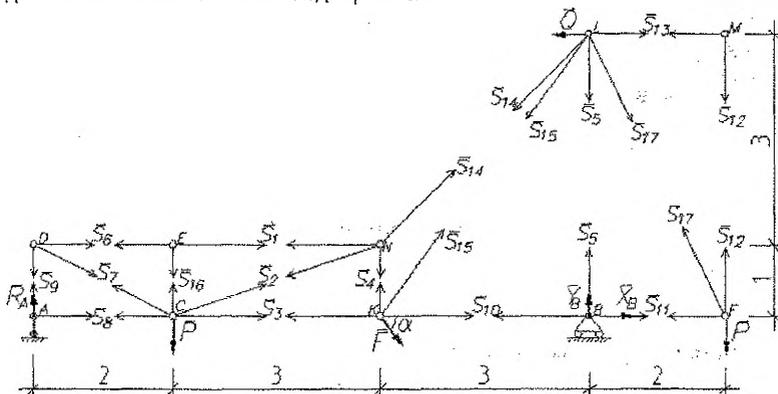
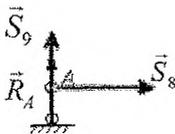


Рис. 1.6. Расчетная схема для определения усилий в стержнях методом вырезания узлов

Усилия в стержнях определяем аналитически и геометрически. Аналитический расчет заключается в составлении уравнений равновесия, геометрический – в построении силовых многоугольников. Расчет начинаем с узла «А», где имеется два неизвестных усилия:



Составим 2 уравнения равновесия – уравнения проекций на оси  $x$  и  $y$  (при рассмотрении всех узлов ось  $x$  направлена горизонтально вправо, ось  $y$  – вертикально вверх);

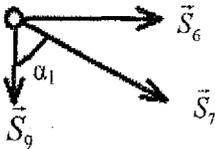
$$\sum F_{ix} = 0; S_8 = 0;$$

$$\sum F_{iy} = 0; R_A + S_9 = 0; \Rightarrow S_9 = -R_A = -85,27 \text{ кН}.$$

Проверку осуществляем геометрическим способом:



Узел «D»:



$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{2}{1} = 2 \Rightarrow \alpha_1 = 63,43^\circ;$$

$$\cos \alpha_1 = 0,45;$$

$$\sin \alpha_1 = 0,89.$$

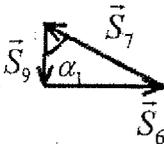
Составим 2 уравнения равновесия:

$$\sum F_{ix} = 0; S_6 + S_7 \sin \alpha_1 = 0;$$

$$\sum F_{iy} = 0; -S_9 - S_7 \cos \alpha_1 = 0; \Rightarrow S_7 = -S_9 / \cos \alpha_1 = 189,4 \text{ кН},$$

$$S_6 = -189,4 \cdot 0,89 = -169 \text{ кН}.$$

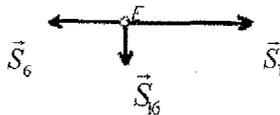
Проверку осуществляем геометрическим способом:



$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{S_6}{S_9} = 1,98 \approx 2;$$

$$\cos \alpha_1 = \frac{S_9}{S_7} = 0,45.$$

Узел «E»:

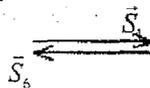


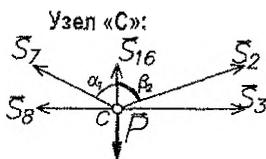
Составим 2 уравнения равновесия:

$$\sum F_{ix} = 0; -S_6 + S_1 = 0 \Rightarrow S_1 = S_6 = -169 \text{ кН};$$

$$\sum F_{iy} = 0; -S_{16} = 0.$$

Проверку осуществляем геометрическим способом:





$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{3}{1} = 3 \Rightarrow \beta_2 = 71,57^\circ;$$

$$\cos \beta_2 = 0,32;$$

$$\sin \beta_2 = 0,95.$$

Составим 2 уравнения равновесия:

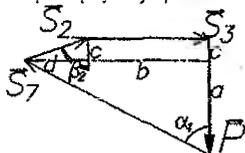
$$\sum F_{ix} = 0; -S_8 - S_7 \sin \alpha_1 + S_2 \sin \beta_2 + S_3 = 0;$$

$$\sum F_{iy} = 0; S_7 \cos \alpha_1 + S_{16} + S_2 \cos \beta_2 - P = 0;$$

$$S_2 = (90 - 189,4 \cdot 0,45) / 0,32 = 15 \text{ кН},$$

$$S_3 = 189,4 \cdot 0,89 - 15 \cdot 0,95 = 154,4 \text{ кН}.$$

Проверку осуществляем геометрическим способом:



Из геометрии рисунка:

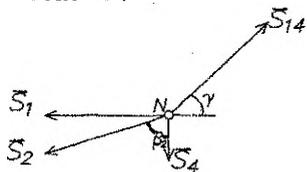
$$\cos \alpha_1 = \frac{a}{S_7} \Rightarrow a = 189,4 \cdot 0,45 = 85,23;$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{b}{S_7} \Rightarrow b = 189,4 \cdot 0,89 = 168,6.$$

$$c = P - a = 90 - 85,23 = 4,77; \quad \cos \beta_2 = \frac{c}{S_2} \Rightarrow S_2 = \frac{4,77}{0,32} = 14,91 \text{ кН};$$

$$\sin \beta_2 = \frac{d}{S_2} \Rightarrow d = 15 \cdot 0,95 = 14,25; \quad S_3 = b - d = 168,6 - 14,25 = 154,35 \approx 154,4 \text{ кН}.$$

Узел «N»:



$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{3}{3} = 1;$$

$$\gamma = 45^\circ;$$

$$\cos \gamma = \sin \gamma = 0,707.$$

Составим уравнения равновесия:

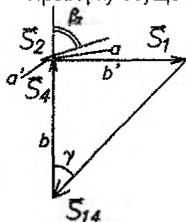
$$\sum F_{ix} = 0; -S_1 + S_{14} \cos \gamma - S_2 \sin \beta_2 = 0;$$

$$\sum F_{iy} = 0; -S_2 \cos \beta_2 - S_4 + S_{14} \sin \gamma = 0;$$

$$S_{14} = 15 \cdot 0,95 - 169 / 0,707 = -218,9 \text{ кН};$$

$$S_4 = -15 \cdot 0,32 - 218,9 \cdot 0,707 = -159,6 \text{ кН}.$$

Проверку осуществляем геометрическим способом:



$$\cos \beta_2 = \frac{a}{S_2} \Rightarrow a = 15 \cdot 0,32 = 4,8;$$

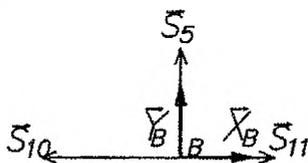
$$\sin \beta_2 = \frac{a'}{S_2} \Rightarrow a' = 15 \cdot 0,95 = 14,25;$$

$$b' = S_1 - a' = 169 - 14,25 = 154,75; \quad S_4 = 154,75 + 4,8 = 159,55 \approx 159,6 \text{ кН};$$

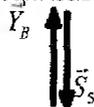
$$\cos \gamma = \frac{b}{S_{14}} \Rightarrow S_{14} = 154,75 / 0,707 = 218,9 \text{ кН}.$$

Рассмотрим узел «В», определяя только  $S_5$ : составим уравнение равновесия в проекции на вертикальную ось:

$$\sum F_{ky} = 0; \quad Y_B + S_5 = 0; \Rightarrow S_5 = -Y_B = -148,8 \text{ кН}.$$

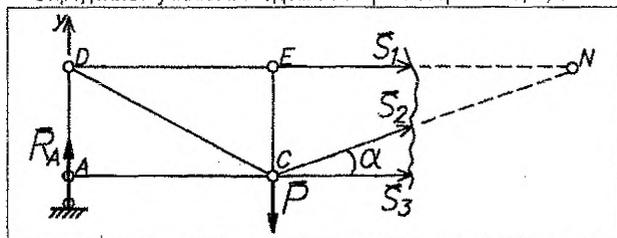


Проверку решения осуществляем геометрическим способом:



**в) Определяем усилия в стержнях методом сечений (Риттера).**

Определяем усилия методом Риттера в стержнях 1, 2, 3.



$$\alpha = 90 - \beta_2 = 18,43^\circ;$$

$$\cos \alpha = 0,95;$$

$$\sin \alpha = 0,32.$$

Рис. 1.7. Расчетная схема для определения усилий в стержнях методом Риттера

Составляем уравнения равновесия, из которых можно сразу определить одно из неизвестных усилий. Это будут два уравнения моментов относительно точек Риттера – в которых попарно пересекаются два стержня. В данном случае это точки «N» и «C». Оставшееся неизвестное определим из уравнения проекций сил на ось, перпендикулярную параллельным стержням.

Составим уравнение моментов относительно точки «С»:

$$\sum M_C(\vec{F}_k) = 0; -R_A \cdot 2 - S_1 \cdot 1 = 0 \Rightarrow S_1 = -85,27 \cdot 2 = -170,54 \text{ кН}.$$

Составим уравнение моментов относительно точки «N»:

$$\sum M_N(\vec{F}_k) = 0; P \cdot 3 + S_3 \cdot 1 - R_A \cdot 5 = 0 \Rightarrow S_3 = 85,27 \cdot 5 - 90 \cdot 3 = 156,35 \text{ кН}.$$

Составим уравнение проекций на вертикальную ось y:

$$\sum F_y = 0; R_A - P + S_2 \cdot \sin \alpha = 0 \Rightarrow S_2 = (90 - 85,27) / 0,32 = 14,78 \text{ кН}.$$

Сравнивая значения усилий в стержнях, найденные методом вырезания узлов, с найденными методом Риттера, убеждаемся, что они совпадают. Небольшие расхождения в результатах вызваны округлениями в промежуточных вычислениях (составляют менее 3%).

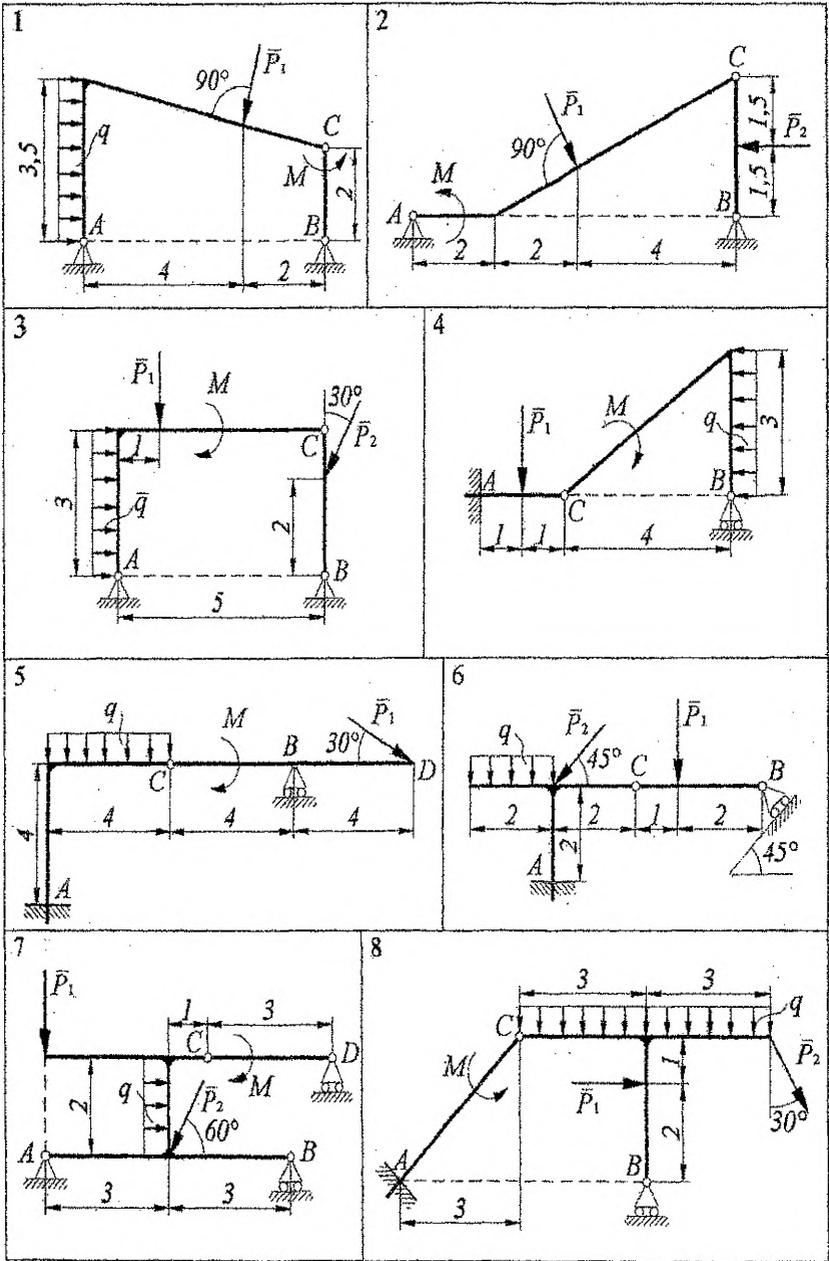
Ответ:  $S_1 = -169 \text{ кН}$ ;  $S_2 = 15 \text{ кН}$ ;  $S_3 = 154,4 \text{ кН}$ ;  $S_4 = -159,6 \text{ кН}$ ;  $S_5 = -148,8 \text{ кН}$ .

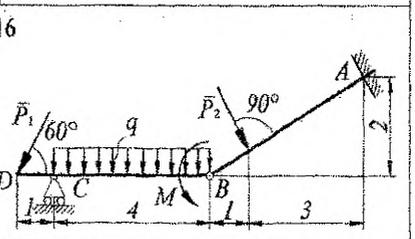
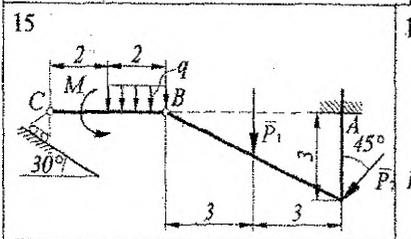
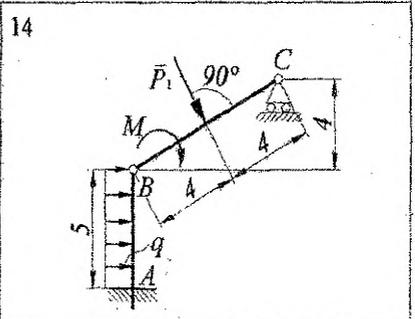
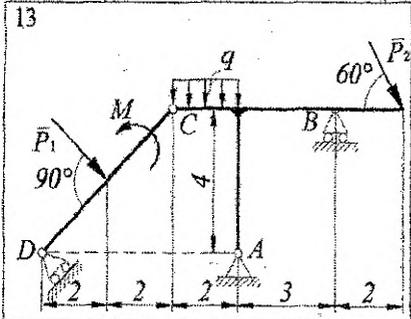
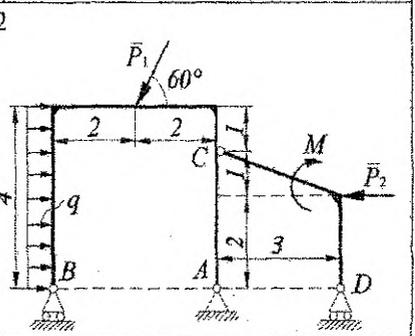
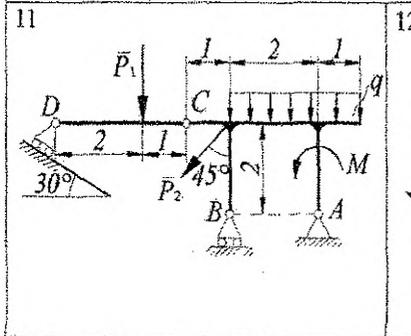
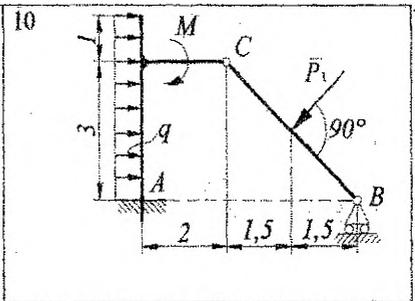
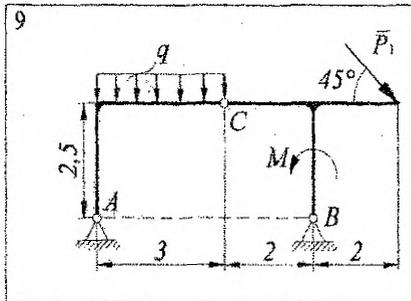
Таблица 1.1. Числовые данные к расчету составных рам

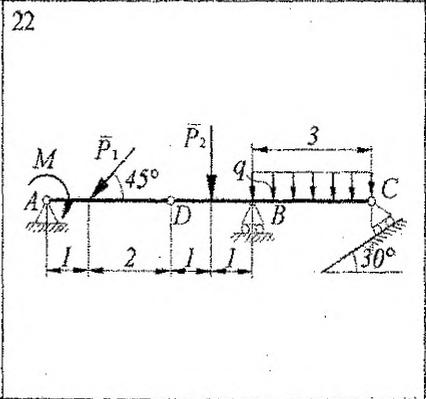
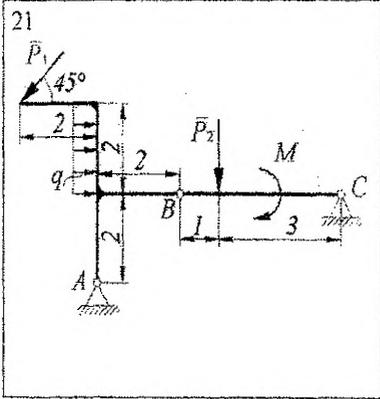
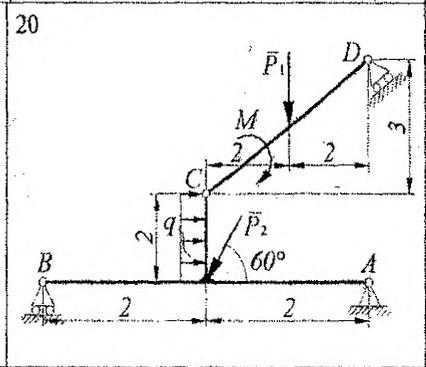
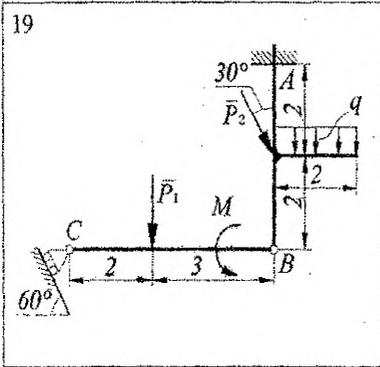
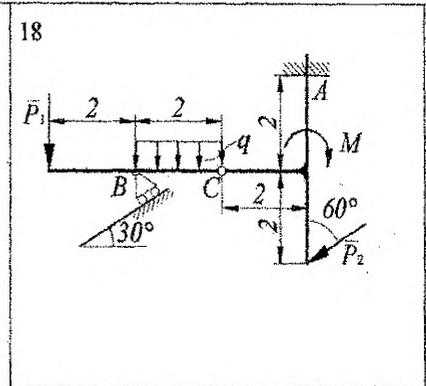
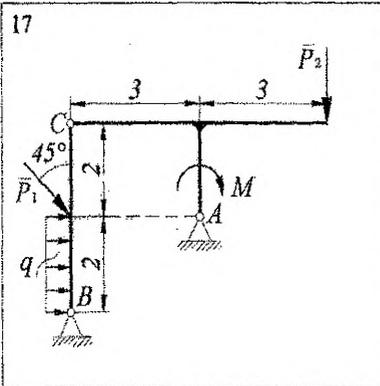
№	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$q$ , кН/м	$M$ , кН·м
1	10	15	7	8
2	20	14	12	5
3	25	20	6	11
4	12	2	4	15
5	15	13	2	3
6	11	5	23	5
7	5	23	6	12
8	25	12	21	15
9	8	10	3	20
10	11	20	10	5
11	20	6	2	9
12	32	5	17	15
13	40	14	21	10
14	10	13	23	5
15	9	15	2	2

№	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$q$ , кН/м	$M$ , кН·м
16	14	25	10	15
17	10	18	3	11
18	8	35	5	5
19	20	40	12	6
20	5	12	8	15
21	8	4	2	8
22	6	30	14	5
23	10	27	6	14
24	9	20	18	15
25	15	12	11	7
26	5	34	14	5
27	12	10	3	6
28	7	5	15	15
29	20	3	3	8
30	11	10	12	5

Рис. 1.8. Схемы составных конструкций







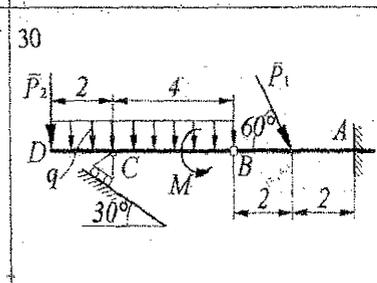
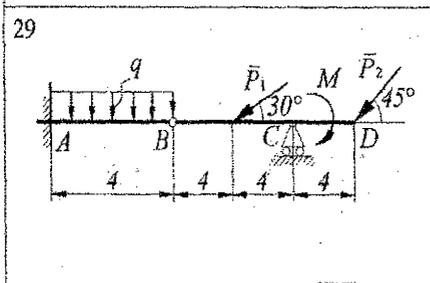
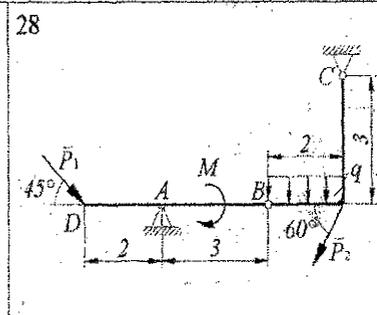
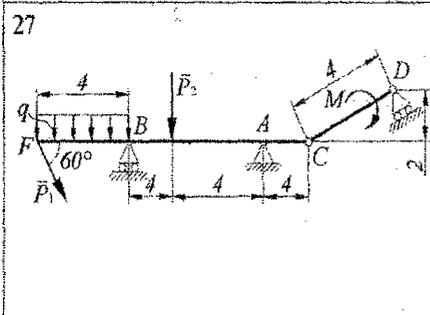
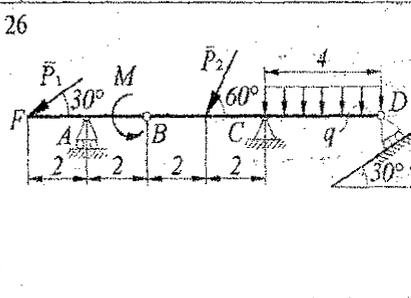
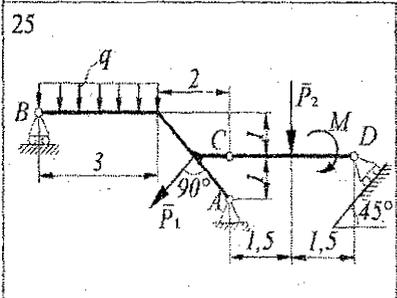
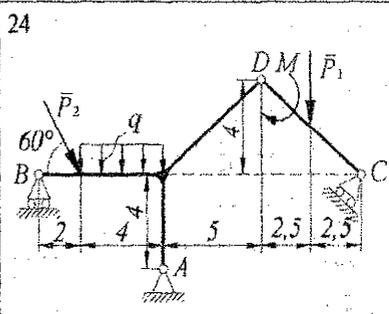
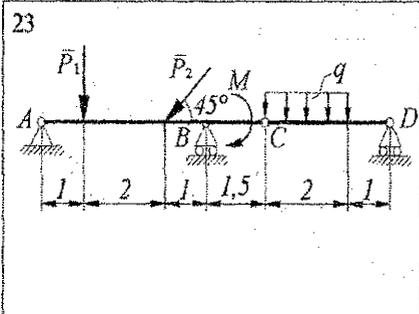
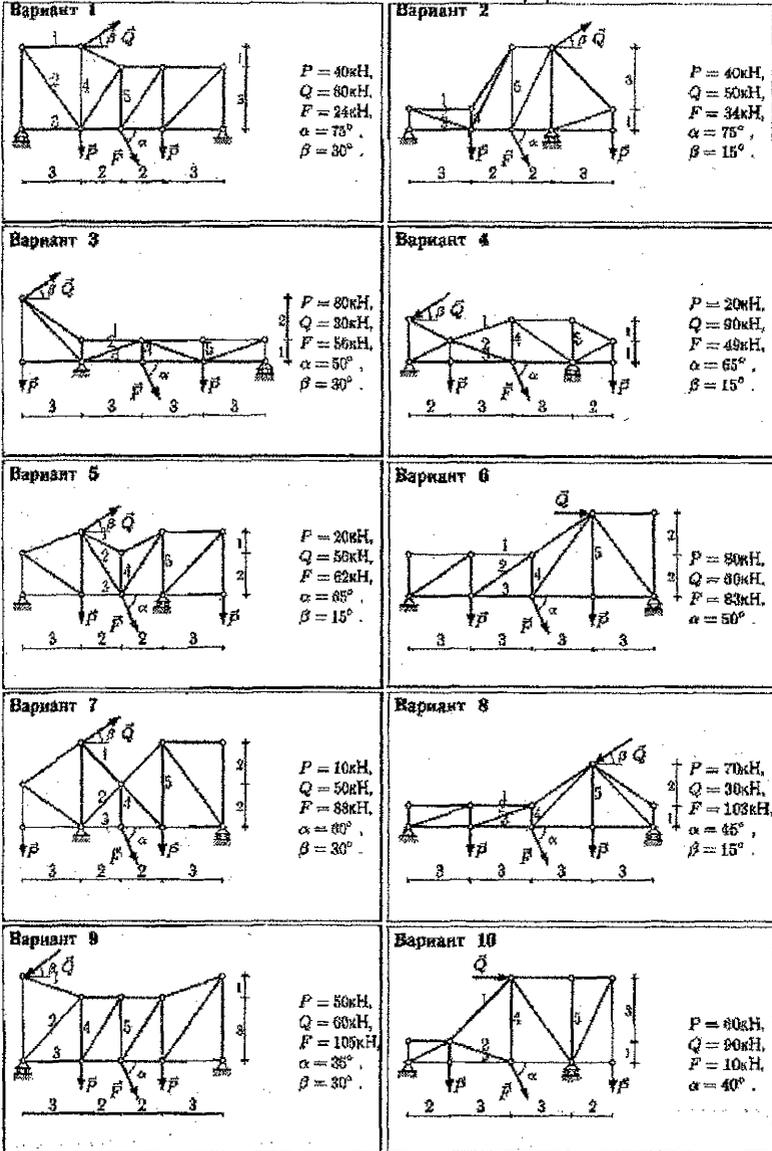
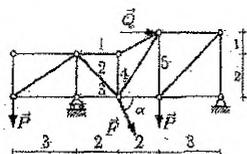


Рис.1.9. Схемы плоских ферм

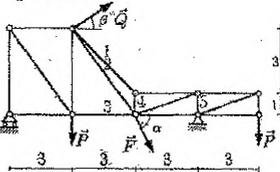


Вариант 11



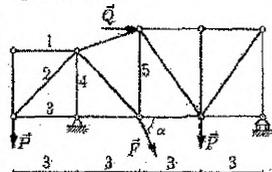
$P = 70 \text{ кН}$ ,  
 $Q = 70 \text{ кН}$ ,  
 $F = 11 \text{ кН}$ ,  
 $\alpha = 45^\circ$ .

Вариант 12



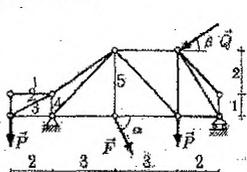
$P = 60 \text{ кН}$ ,  
 $Q = 30 \text{ кН}$ ,  
 $F = 12 \text{ кН}$ ,  
 $\alpha = 40^\circ$ ,  
 $\beta = 45^\circ$ .

Вариант 13



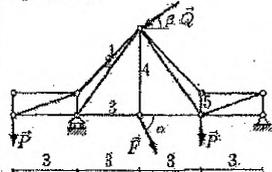
$P = 50 \text{ кН}$ ,  
 $Q = 90 \text{ кН}$ ,  
 $F = 13 \text{ кН}$ ,  
 $\alpha = 35^\circ$ .

Вариант 14



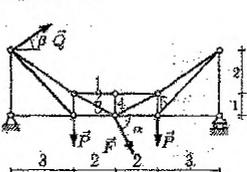
$P = 40 \text{ кН}$ ,  
 $Q = 30 \text{ кН}$ ,  
 $F = 14 \text{ кН}$ ,  
 $\alpha = 75^\circ$ ,  
 $\beta = 30^\circ$ .

Вариант 15



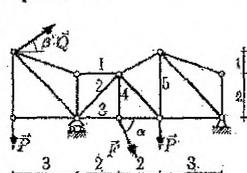
$P = 60 \text{ кН}$ ,  
 $Q = 50 \text{ кН}$ ,  
 $F = 15 \text{ кН}$ ,  
 $\alpha = 40^\circ$ ,  
 $\beta = 45^\circ$ .

Вариант 16



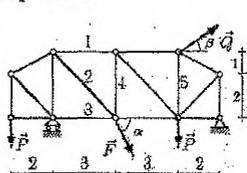
$P = 30 \text{ кН}$ ,  
 $Q = 90 \text{ кН}$ ,  
 $F = 16 \text{ кН}$ ,  
 $\alpha = 70^\circ$ ,  
 $\beta = 15^\circ$ .

Вариант 17



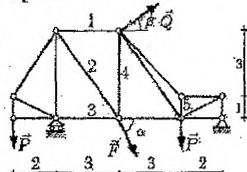
$P = 70 \text{ кН}$ ,  
 $Q = 80 \text{ кН}$ ,  
 $F = 17 \text{ кН}$ ,  
 $\alpha = 45^\circ$ ,  
 $\beta = 45^\circ$ .

Вариант 18



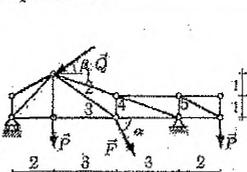
$P = 60 \text{ кН}$ ,  
 $Q = 70 \text{ кН}$ ,  
 $F = 18 \text{ кН}$ ,  
 $\alpha = 40^\circ$ ,  
 $\beta = 45^\circ$ .

Вариант 19



$P = 30 \text{ кН}$ ,  
 $Q = 40 \text{ кН}$ ,  
 $F = 19 \text{ кН}$ ,  
 $\alpha = 70^\circ$ ,  
 $\beta = 45^\circ$ .

Вариант 20



$P = 10 \text{ кН}$ ,  
 $Q = 90 \text{ кН}$ ,  
 $F = 20 \text{ кН}$ ,  
 $\alpha = 60^\circ$ ,  
 $\beta = 45^\circ$ .

<p><b>Вариант 21</b></p> <p> <math>P = 60\text{кН}</math>,  <math>Q = 30\text{кН}</math>,  <math>F = 21\text{кН}</math>,  <math>\alpha = 40^\circ</math>,  <math>\beta = 30^\circ</math>.         </p>	<p><b>Вариант 22</b></p> <p> <math>P = 90\text{кН}</math>,  <math>Q = 80\text{кН}</math>,  <math>F = 22\text{кН}</math>,  <math>\alpha = 55^\circ</math>,  <math>\beta = 45^\circ</math>.         </p>
<p><b>Вариант 23</b></p> <p> <math>P = 10\text{кН}</math>,  <math>Q = 50\text{кН}</math>,  <math>F = 23\text{кН}</math>,  <math>\alpha = 60^\circ</math>,  <math>\beta = 15^\circ</math>.         </p>	<p><b>Вариант 24</b></p> <p> <math>P = 10\text{кН}</math>,  <math>Q = 60\text{кН}</math>,  <math>F = 24\text{кН}</math>,  <math>\alpha = 80^\circ</math>,  <math>\beta = 45^\circ</math>.         </p>
<p><b>Вариант 25</b></p> <p> <math>P = 60\text{кН}</math>,  <math>Q = 60\text{кН}</math>,  <math>F = 25\text{кН}</math>,  <math>\alpha = 40^\circ</math>,  <math>\beta = 45^\circ</math>.         </p>	<p><b>Вариант 26</b></p> <p> <math>P = 80\text{кН}</math>,  <math>Q = 40\text{кН}</math>,  <math>F = 26\text{кН}</math>,  <math>\alpha = 50^\circ</math>,  <math>\beta = 30^\circ</math>.         </p>
<p><b>Вариант 27</b></p> <p> <math>P = 30\text{кН}</math>,  <math>Q = 50\text{кН}</math>,  <math>F = 27\text{кН}</math>,  <math>\alpha = 70^\circ</math>,  <math>\beta = 30^\circ</math>.         </p>	<p><b>Вариант 28</b></p> <p> <math>P = 90\text{кН}</math>,  <math>Q = 90\text{кН}</math>,  <math>F = 28\text{кН}</math>,  <math>\alpha = 65^\circ</math>.         </p>
<p><b>Вариант 29</b></p> <p> <math>P = 40\text{кН}</math>,  <math>Q = 40\text{кН}</math>,  <math>F = 29\text{кН}</math>,  <math>\alpha = 75^\circ</math>,  <math>\beta = 15^\circ</math>.         </p>	<p><b>Вариант 30</b></p> <p> <math>P = 90\text{кН}</math>,  <math>Q = 70\text{кН}</math>,  <math>F = 30\text{кН}</math>,  <math>\alpha = 55^\circ</math>,  <math>\beta = 45^\circ</math>.         </p>

## 2. СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Расчетно-проектировочная работа по сопротивлению материалов включает в себя задания 2.1 и 2.2. Прежде чем приступить к выполнению заданий, необходимо изучить следующие сведения из теории: закон Гука для растяжения (сжатия), определения нормальных напряжений, деформаций, определение реакций связей, поперечная сила и изгибающий момент, дифференциальную зависимость поперечной силы и изгибающего момента, условия прочности по нормальным и касательным напряжениям при изгибе.

### ЗАДАНИЕ 2.1

Абсолютно жесткий брус, подвешенный на 2-х стальных стержнях и шарнирно неподвижно закрепленный, загружен сосредоточенной силой  $F$ .

Требуется:

1. Раскрыть статическую неопределимость системы, для чего:

- установить степень статической неопределимости;
- записать необходимые уравнения статического равновесия;
- составить план деформаций;
- из плана деформаций составить дополнительное уравнение деформаций;
- решить совместное уравнение статики с уравнением деформаций и определить усилия в стержнях  $N_1$  и  $N_2$ .

2. По ГОСТ 8509-72 подобрать сечения стержней из двух уголков, для чего:

- определить напряжения в стержнях и установить наиболее напряженный стержень;
- из условия прочности более напряженного стержня определить необходимую площадь поперечного сечения его и выбрать по ГОСТ номер профиля;
- проверить процент недогрузки или перегрузки более напряженного стержня;

г) из соотношения  $\frac{A_1}{A_2} = n$  найти площадь поперечного сечения менее загруженного

стержня и выбрать профиль по ГОСТ 8509-72.

3. Определить величину разрушающей нагрузки  $F_{\text{раз}}$  и сравнить ее с заданной нагрузкой  $F$ .

Исходные данные принять согласно схемам (рис.2.4) и таблице 2.1.

#### Пример выполнения задания

Абсолютно жесткий брус, подвешенный на двух стальных стержнях и шарнирно неподвижно закрепленный, загружен сосредоточенной силой  $F = 610$  кН. Линейные размеры бруса  $a$ ,  $b$ , высота  $h$  составляют соответственно 1,2 м; 1,8 м; 0,6 м. Отношение площадей

$\frac{A_1}{A_2}$  поперечных сечений стержней  $n=2$ , допускаемое напряжение  $[\sigma] = 160$  МПа,

предел текучести материала  $\sigma_T = 240$  МПа.

Требуется подобрать сечения стержней из двух равнобоких уголков, а также по величине разрушающей нагрузки определить значение коэффициента запаса прочности.

#### Решение.

1. Построим в масштабе расчетную схему системы стержней (рис. 2.1):

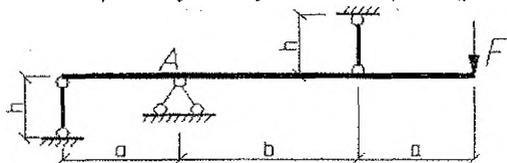


Рис. 2.1 Исходная схема стержневой системы

2. Установим степень статической неопределимости. Рассмотрим равновесие бруса. Брус находится в равновесии под действием силы  $F$  и четырех неизвестных реакции:  $N_1, N_2, X_A, Y_A$ . Но для плоской системы сил можем составить лишь три уравнения статики. Значит, степень статической неопределимости  $S = 4 - 3 = 1$ . Система один раз статически неопределима

а) В нашем случае требуется определить только  $N_1$  и  $N_2$ , поэтому из трех уравнений статики используем одно (моментов):

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0; N_1 \cdot a + N_2 \cdot b - F(a + b) &= 0, \\ 1,2N_1 + 1,8N_2 &= 1830. \end{aligned} \quad (2.1)$$

б) Составим схему деформаций (рис 2.2).

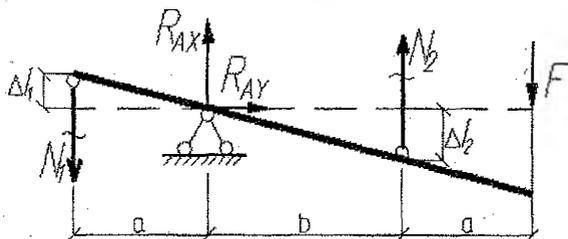


Рис. 2.2. Деформационная схема стержневой системы

Из схемы деформаций составим дополнительное уравнение деформаций, используя подобие треугольников:

$$\frac{\Delta l_1}{\Delta l_2} = \frac{a}{b},$$

$$1,8\Delta l_1 = 1,2\Delta l_2.$$

в) Выразим  $\Delta l_1$  и  $\Delta l_2$  по закону Гука через усилия в стержнях, их длины и жесткости:

$$b \frac{N_1 l_1}{EA_1} = a \frac{N_2 l_2}{EA_2}$$

С учетом  $l_1 = l_2 = h$  и  $\frac{A_1}{A_2} = n$  уравнение деформаций примет вид:

$$\begin{aligned} N_1 &= anMN_2, \\ N_1 &= 1,33N_2 \end{aligned} \quad (2.2)$$

г) Составим систему уравнений, которая включает уравнение статики и уравнение деформаций:

$$\begin{cases} N_1 + 1,52N_2 = 1525, \\ N_1 - 1,33N_2 = 0. \end{cases}$$

Отсюда

$$\begin{aligned} N_1 &= 718 \text{ кН}, \\ N_2 &= 540 \text{ кН}. \end{aligned}$$

3. Определим наиболее напряженный стержень. Для этого сравним напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ :

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{N_1}{nA_2}, \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{A_2}.$$

Составим отношение

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{N_1}{nN_2} = \frac{718 \cdot 10^3}{2 \cdot 540 \cdot 10^3} = 0,7 \Rightarrow \sigma_1 < \sigma_2,$$

Более напряженным является второй стержень.

4. Определим площадь поперечного сечения стержня.

Так как  $\sigma_2 > \sigma_1$ , то определяем площадь сечения  $A_2$ :

$$A_2 \geq \frac{N_2}{[\sigma]} = \frac{540 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 0,00338 \text{ м}^2 = 33,8 \text{ см}^2,$$

где  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ .

5. По ГОСТ 8509-72 подбираем сечение стержня, состоящего из двух равнобоких уголков площадью  $A_2^*$ . Используем условие:

$$A_2^* \geq \frac{A_2}{2} = \frac{33,8}{2} = 16,9 \text{ см}^2.$$

В нашем случае  $A_2^* \geq 16,9 \text{ см}^2$ .

Близкой по значению является площадь уголка № 110×110×8, т.е.  $A_2^* = 17,2 \text{ см}^2$ . Определим процент недогрузки (перегрузки)  $\delta$ :

$$\delta = \left| \frac{\sigma_2 - [\sigma]}{[\sigma]} \right| \cdot 100\%.$$

Для этого определим напряжение  $\sigma_2$ :

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{2A_2^*} = \frac{540 \cdot 10^3}{2 \cdot 17,2 \cdot 10^3} \approx 157 \text{ МПа}.$$

Тогда

$$\delta = \left| \frac{157 - 160}{160} \right| \approx 2\%,$$

что допустимо, так как  $|\delta| = 2\% < [\delta] = 5\%$ , где  $[\delta] = 5\%$  - допускаемый процент перегрузки (недогрузки) стержня. Принимаем уголок № 110×110×8.

6. Найдем площадь сечения первого уголка  $A_1^*$ ,

$$A_1 = nA_2, \quad A_1^* \geq \frac{A_1}{2} = \frac{67,6}{2} = 33,8 \text{ см}^2,$$

По ГОСТ 8509-72 подбираем сечение равнобокого уголка №160×160×11, для которого  $A_1^* = 34,4 \text{ см}^2$ .

7. Определим величину разрушающей нагрузки

$$Fp = \frac{N_1^{np} \cdot a + N_2^{np} \cdot b}{a + b}.$$

Предельные усилия в стержнях  $N_1^{np}$  и  $N_2^{np}$  рассчитаем:

$$N_1^{np} = 2 \cdot A_1^* \cdot \sigma_r = 2 \cdot 34,4 \cdot 10^{-4} \cdot 240 \cdot 10^6 = 1651,2 \text{ кН},$$

$$N_2^{np} = 2 \cdot A_2^* \cdot \sigma_r = 2 \cdot 17,2 \cdot 10^{-4} \cdot 240 \cdot 10^6 = 825,6 \text{ кН}.$$

Подставим значения  $N_1^{np}$  и  $N_2^{np}$  в формулу для расчета разрушающей нагрузки. Получим

$$F_p = \frac{1651,2 \cdot 1,2 + 820,8 \cdot 1,8}{1,2 + 1,8} \approx 1153 \text{ кН}.$$

Найдем коэффициент запаса прочности

$$m = \frac{F_p}{F} = \frac{1153 \cdot 10^3}{610 \cdot 10^3} \approx 1,89.$$

## ЗАДАНИЕ 2.2

Балки, закрепленные различным образом, загружены внешними нагрузками (сосредоточенной силой, парой сил, распределенной нагрузкой).

Требуется:

1. Построить эпюры поперечных сил «Q» и изгибающих моментов «M», для чего следует:

- выбрать систему координат  $Q - Z$ ,  $M - Z$  (с учетом правила знаков).
- записать в общем виде аналитические выражения для поперечных сил  $Q(z)$  и изгибающих моментов  $M(z)$ .

$$Q = \sum_{i=1}^n F_i, \quad M = \sum_{i=1}^n M_i.$$

в) вычислить значения поперечной силы  $Q$  и изгибающего момента  $M$  для характерных сечений бруса (на границах силовых участков).

г) по полученным значениям построить в масштабе эпюры (графики) поперечных сил «Q» и изгибающих моментов «M».

д) проверить правильность построения эпюр по дифференциальным зависимостям

$$q = \frac{dQ}{dz} = \frac{d^2M}{dz^2}.$$

2. Определить опасное сечение балок по эпюре «M» и подобрать сечение из прокатного двутавра по сортаменту, а также прямоугольное сечение.

3. Для выбранного варианта произвести проверку прочности по касательным напряжениям.

При расчетах принять: модуль упругости  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $[\sigma] = 160$  МПа,  $[\tau] = 100$  МПа.

Исходные данные принять согласно схемам (рис.2.5) и таблице 2.2.

### Пример выполнения задания

Для данной двухопорной балки, загруженной сосредоточенной силой  $F$ , парой сил, создающей изгибающий момент  $M$  и распределенной нагрузкой  $q$  подобрать сечение балки из прокатного профиля (двутавра) и произвести ее проверку прочности; подобрать балку прямоугольного сечения и сравнить балки по материалоемкости. Материал балки - сталь Ст 3.

**Решение.**

1. Построим расчетную схему балки в масштабе (рис. 2.3) и выпишем числовые данные:  $M = 120$  кН·м,  $F = 90$  кН,  $q = 20$  кН/м,  $a = 1$  м,  $[\sigma] = 160$  МПа,  $[\tau] = 100$  МПа.

2. Строим эпюры поперечных сил  $Q$  и изгибающих моментов  $M$ .

а) Определим опорные реакции  $R_A$  и  $R_B$ .

Для этого используем статические уравнения равновесия (уравнения моментов сил относительно точек  $A$  и  $B$ ).

$$\Sigma M_A = 0; R_B \cdot 3a + qa \cdot \frac{a}{2} + M - F \cdot 2a = 0;$$

$$R_B = \frac{F \cdot 2a - qa \cdot \frac{a}{2} - M}{3a} = \frac{90 \cdot 2 \cdot 1 - 20 \cdot \frac{1}{2} - 120}{3 \cdot 1} = 16,7 \text{ кН.}$$

$$\Sigma M_B = 0; qa \left( 3a + \frac{a}{2} \right) - 3a \cdot R_A + M + F \cdot a = 0;$$

$$R_A = \frac{qa \cdot \frac{5a}{2} + M + Fa}{3a} = \frac{20 \cdot \frac{5}{2} + 120 + 90 \cdot 1}{3 \cdot 1} = 93,3 \text{ кН.}$$

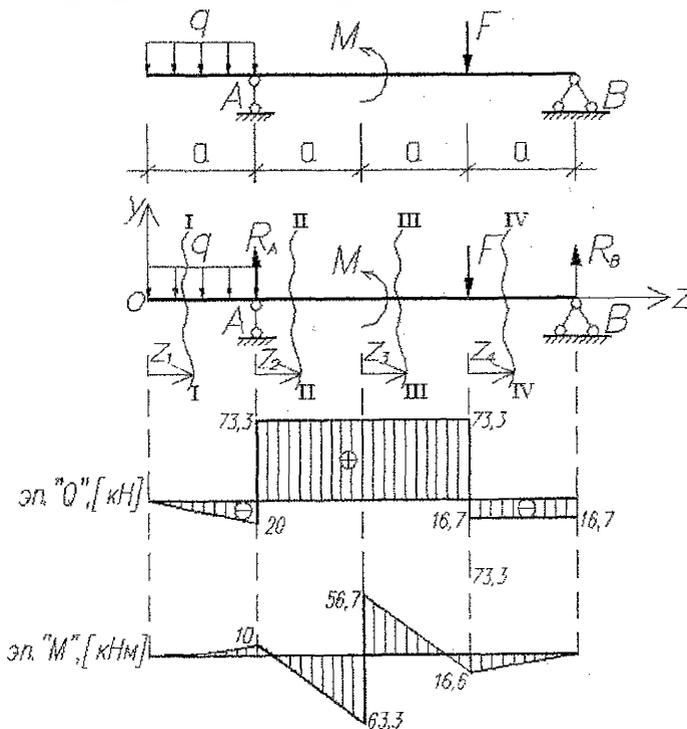


Рис. 2.3. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов

Выполним проверку, используя уравнение равновесия относительно оси  $O_y$ :

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0; R_A + R_B - qa - F = 0, \\ 93,3 + 16,7 - 20 \cdot 1 - 90 &= 0, \\ 0 &= 0.\end{aligned}$$

б) Запишем общий вид аналитических выражений  $Q(z)$ ,  $M(z)$  для отсеченной части в заданных сечениях, с учетом правила знаков.

Сечение  $I = I, 0 \leq z_1 \leq a$

$$Q(z_1) = -qz_1, \quad M(z_1) = -\frac{qz_1^2}{2}$$

Сечение  $II = II, 0 \leq z_2 \leq a$

$$Q(z_2) = -qa + R_A; \quad M(z_2) = -qa\left(z_2 + \frac{a}{2}\right) + R_A z_2,$$

Сечение  $III = III, 0 \leq z_3 \leq a$

$$Q(z_3) = -qa + R_A; \quad M(z_3) = -qa\left(z_3 + \frac{3a}{2}\right) + R_A(a + z_3) - M,$$

Сечение  $IV = IV, 0 \leq z_4 \leq a$

$$\begin{aligned}Q(z_4) &= -qa + R_A - F; \\ M(z_4) &= -qa\left(z_4 + \frac{5a}{2}\right) + R_A(2a + z_4) - M - F \cdot z_4\end{aligned}$$

в) Вычислим значения поперечной силы  $Q$  и изгибающего момента  $M$  на границах силовых участков.

$$\begin{aligned}Q(Z_1 = 0) &= -20 \cdot 0 = 0; \quad Q(Z_1 = a) = -20 \cdot 1 = -20 \text{ кН}, \\ M(Z_2 = 0) &= -\frac{20 \cdot 0}{2} = 0, \quad M(Z_1 = a) = -\frac{20 \cdot 1}{2} = -10 \text{ кН} \cdot \text{м}.\end{aligned}$$

II-II

$$\begin{aligned}Q(Z_2 = 0) &= Q(Z_2 = a) = -20 \cdot 1 + 93,3 = 73,3 \text{ кН}, \\ M(Z_2 = 0) &= -20 \cdot 1 \cdot \left(0 + \frac{1}{2}\right) + 93,3 \cdot 0 = -10 \text{ кН} \cdot \text{м}; \\ M(Z_2 = a) &= -20 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right) + 93,3 \cdot 1 = 63,3 \text{ кН} \cdot \text{м}.\end{aligned}$$

$$Q(Z_3 = 0) = Q(Z_3 = a) = \frac{\text{III-III}}{-20 \cdot 1 + 93,3} = 73,3 \text{ кН},$$

$$M(Z_3 = 0) = -20 \cdot 1 \cdot \left(0 + \frac{3}{2}\right) + 93,3 \cdot (0 + 1) - 120 = -56,7 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$M(Z_3 = a) = -20 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{3}{2}\right) + 93,3 \cdot (1 + 1) - 120 = 16,6 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$Q(Z_4 = 0) = Q(Z_4 = a) = \frac{\text{IV-IV}}{-20 \cdot 1 + 93,3} - 90 = -16,7 \text{ кН},$$

$$M(Z_4 = 0) = -20 \cdot 1 \cdot \left(0 + \frac{5}{2}\right) + 93,3 \cdot (0 + 2) - 120 - 90 \cdot 0 = 16,6 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$M(Z_4 = a) = -20 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{5}{2}\right) + 93,3 \cdot (1 + 2) - 120 - 90 \cdot 1 = 0,1 \approx 0.$$

г) По полученным значениям построим в масштабе эпюры поперечных сил  $Q$  и изгибающих моментов  $M$  (рис. 2.3).

3. По эпюре изгибающих моментов определим опасное сечение балки. Таким участком является сечение, в котором максимальный момент  $M_{\max} = 63,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . Чтобы подобрать сечение балки рассмотрим два варианта – сечение из прокатного двутавра и прямоугольное.

Условие прочности по нормальным напряжениям имеет следующий вид:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [\sigma].$$

Отсюда определим момент сопротивления  $W_x$ :

$$W_x \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]}.$$

В первом случае получим

$$W_x \geq \frac{63,3 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 396 \text{ см}^3.$$

Из таблицы прокатных профилей выбираем двутавр № 27а. Выпишем геометрические характеристики и вес погонного метра для принятого двутавра:

$$h = 27 \text{ см}, b = 13,5 \text{ см}, S_x = 229 \text{ см}^3, I_x = 5500 \text{ см}^4,$$

$$W_x = 407 \text{ см}^3, d = 0,6 \text{ см}, M_0 = 33,9 \text{ кг}.$$

4. Выполним проверку балки на прочность по касательным напряжениям. Проверим балку по касательным напряжениям в точке  $A$  сечения II – II справа, где  $Q_{\max} = 73,3 \text{ кН}$ .

Условие прочности имеет вид:

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_x}{I_x \cdot a} \leq [\tau].$$

Тогда

$$\tau_{\max} = \frac{73,3 \cdot 10^3 \cdot 229 \cdot 10^{-6}}{5500 \cdot 10^{-8} \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 0,51 \cdot 10^8 = 51 \text{ МПа} < 100 \text{ МПа}.$$

Условие прочности по касательным напряжениям выполняется. Окончательно принимаем сечение балки двутавр № 27а.

5. Подбираем балку прямоугольного сечения с соотношением  $h=2b$ ,  $h$  - высота,  $b$  - ширина сечения. Учтем, что осевой момент сопротивления прямоугольного сечения

$$W_x = \frac{bh^2}{6}.$$

Из условия прочности по нормальным напряжениям:

$$W_x \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]}.$$

Отсюда

$$b \geq \sqrt[3]{\frac{3M_{\max}}{2[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 63,3 \cdot 10^3}{2 \cdot 160 \cdot 10^6}} = 8,4 \text{ см}.$$

Тогда  $h = 2b = 16,8 \text{ см}$ .

Рассчитаем вес балки стандартного (двутаврового) сечения и балки прямоугольного сечения ( $\rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ):

$$P_1 = M_0 \cdot 4a = 33,9 \cdot 4 \cdot 1 = 135,6 \text{ кг},$$

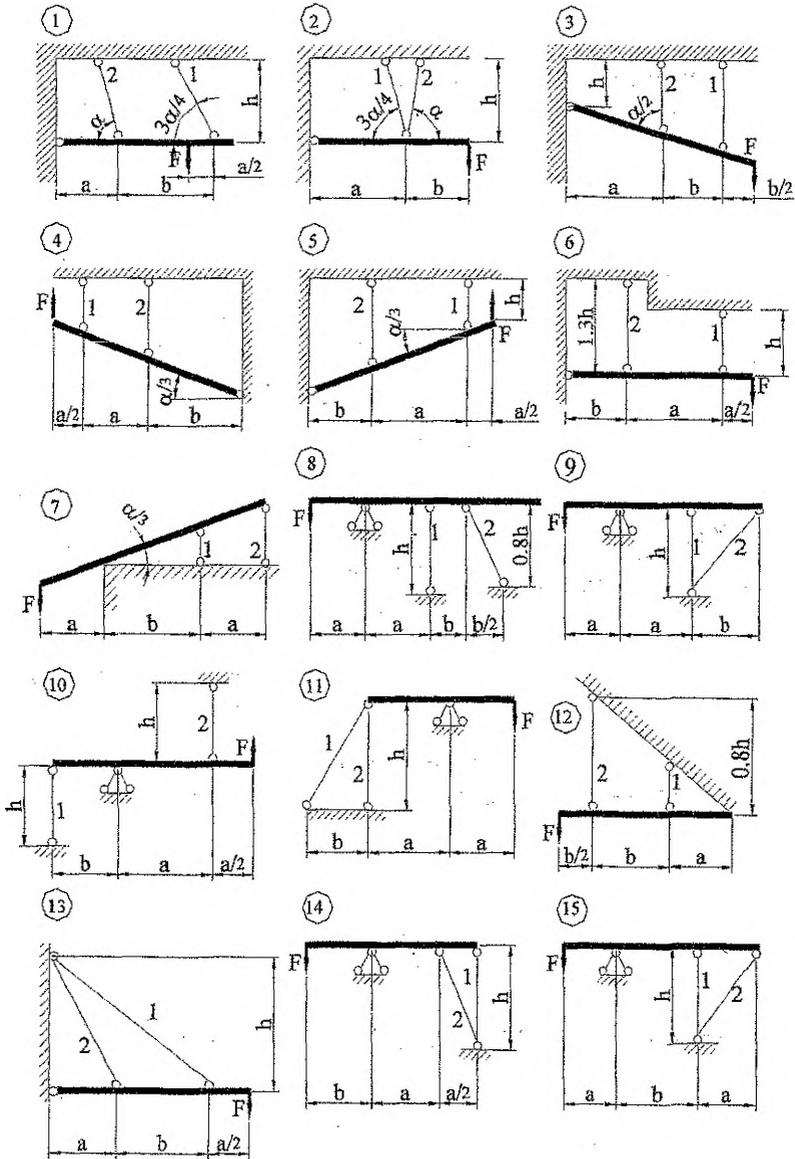
где  $M_0$  - масса 1 м.п. профиля;

$$P_2 = hb \cdot \rho \cdot 4a = 0,084 \cdot 0,168 \cdot 7800 \cdot 4 \cdot 1 = 440,3 \text{ кг},$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{135,6}{440,3} \approx 0,31.$$

Очевидно, что применение прокатного двутаврового сечения позволяет значительно экономить материал при обеспечении необходимой прочности.

Рис. 2.4. Схемы статически неопределимых стержневых систем



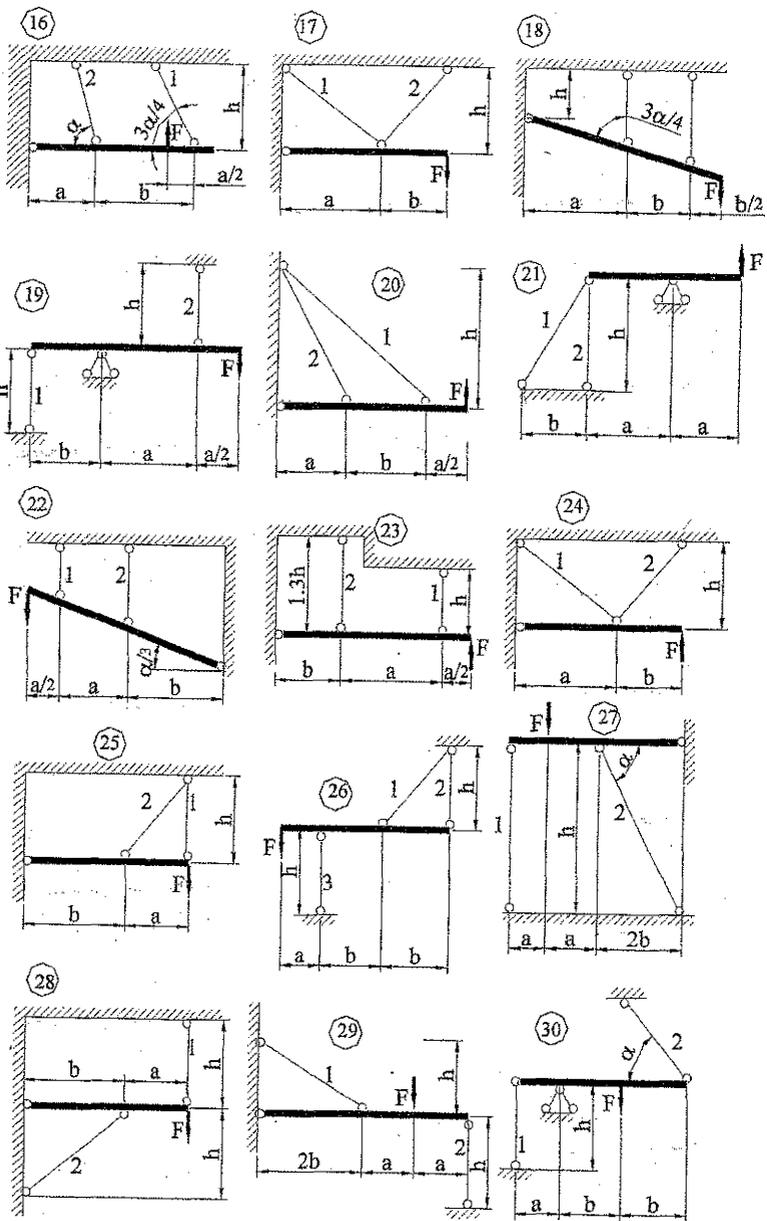
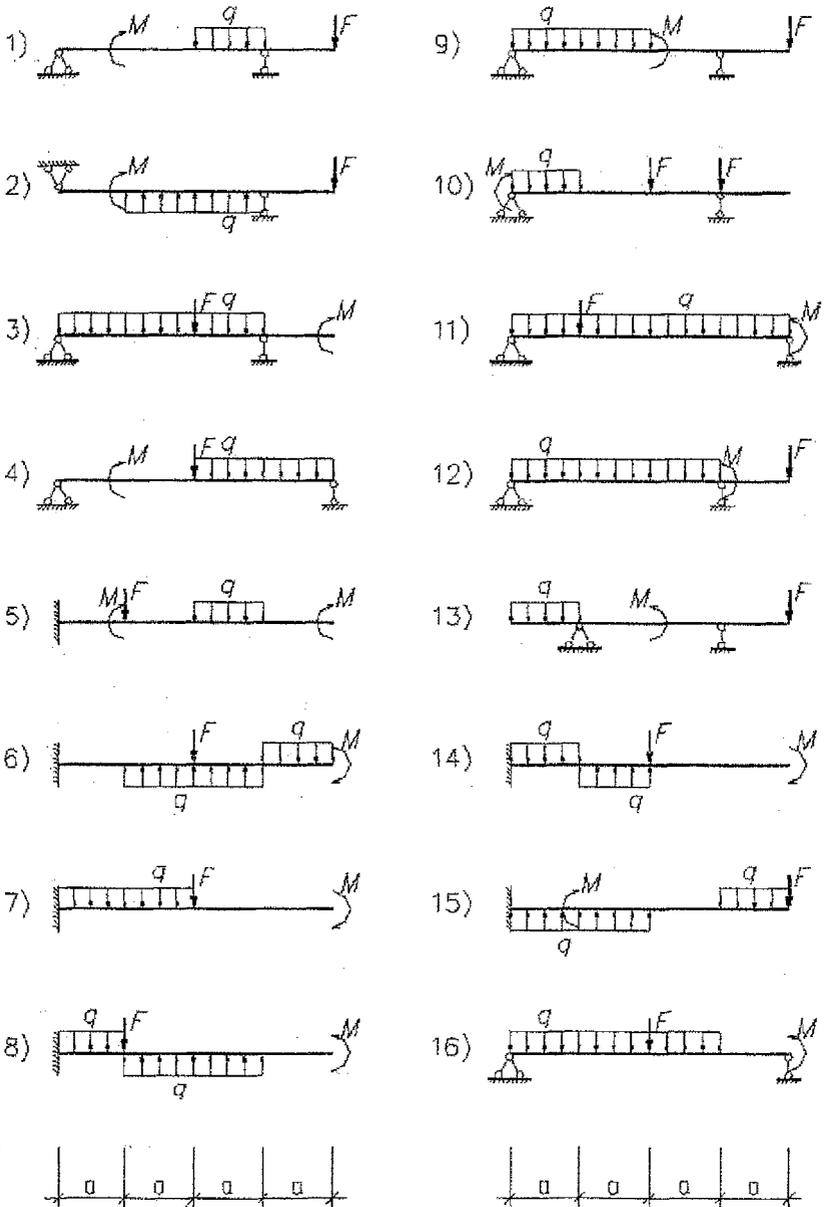


Таблица 2.1. Числовые данные к расчету стержневых систем

№	a, м	b, м	h, м	a, град.	$A_1/A_2$	F, кН
1	2	1,2	1,5	20	2	200
2	2,1	1,4	1	40	4	300
3	2,2	1,6	2	50	1,5	400
4	2,3	1,8	1,5	60	3	500
5	2,4	2,0	1	70	2	600
6	2,5	1,2	2	20	4	200
7	2,6	1,4	1,5	40	1,5	300
8	2,7	1,6	1	50	3	400
9	2,8	1,8	2	60	2	500
10	2,9	2,0	1,5	70	4	600
11	3,0	1,2	1	20	1,5	200
12	2	1,4	2	40	3	300
13	2,1	1,6	1,5	50	2	400
14	2,2	1,8	1	60	4	500
15	2,3	2,0	2	70	1,5	600
16	2,4	1,2	1,5	20	3	200
17	2,5	1,4	1	40	2	300
18	2,6	1,6	2	50	4	400
19	2,7	1,8	1,5	60	1,5	500
20	2,8	2,0	1	70	3	600
21	2,9	1,2	2	20	2	200
22	3,0	1,4	1,5	40	4	300
23	2	1,6	1	50	1,5	400
24	2,1	1,8	2	60	3	500
25	2,2	2,0	1,5	70	2	600
26	2,3	1,2	1	20	4	200
27	2,4	1,4	2	40	1,5	300
28	2,5	1,6	1,5	50	3	400
29	2,6	1,8	1	60	2	500
30	2,7	2,0	2	70	4	600

Рис.2.5. Схемы балок



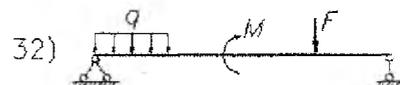
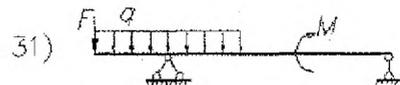
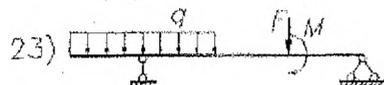
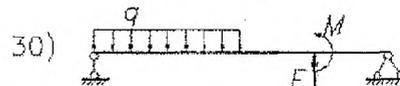
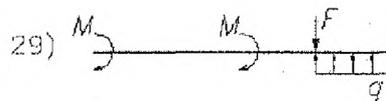
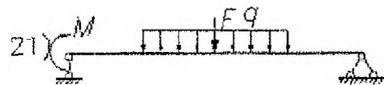
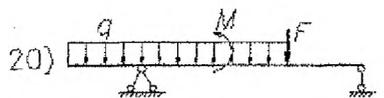
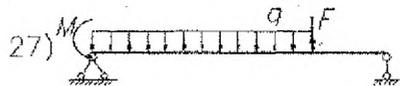
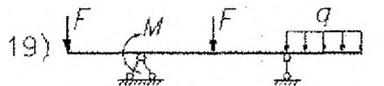
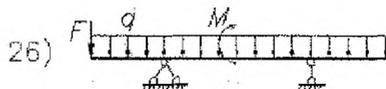
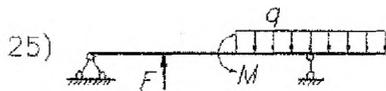
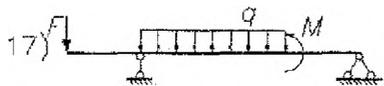


Таблица 2.2. Числовые данные к расчету балок

№	$F$ , кН	$M$ , кН·м	$q$ , кН/м	$a$ , м
1	40	40	10	1
2	50	60	15	1,2
3	60	80	20	1,4
4	70	100	25	1,6
5	80	40	10	1,8
6	70	60	15	2
7	60	80	20	1
8	50	100	25	1,2
9	40	40	10	1,4
10	50	60	15	1,6
11	60	80	20	1,8
12	70	100	25	2
13	80	40	10	1
14	70	60	15	1,2
15	60	80	20	1,4
16	50	100	25	1,6
17	40	40	10	1,8
18	50	60	15	2
19	60	80	20	1
20	70	100	25	1,2
21	80	40	10	1,4
22	70	60	15	1,6
23	60	80	20	1,8
24	50	100	25	2
25	40	40	10	1
26	50	60	15	1,2
27	60	80	20	1,4
28	70	100	25	1,6
29	80	40	10	1,8
30	70	60	15	2

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Высшая школа. – 1960.
2. Яблонский А.А., Никифорова В.М. Курс теоретической механики. – М., 1971.
3. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. Учебник для вузов. Изд. 4-е. – М: Высш. школа, 1975.
4. Сопротивление материалов. Феодосьев В.И., Главная редакция физико-математической литературы изд-ва "Наука", 1972. - 544 с.
5. Сопротивление материалов/ Под ред. акад. АН УССР Писаренко Г.С.—5-е изд., перераб. и доп.—К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. —775 с.
6. Сопротивление материалов. Н.М. Беляев, Главная редакция физико-математической литературы изд-ва "Наука", 1976. - 608 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составители:

Хвисевич Виталий Михайлович  
Веремейчик Андрей Иванович  
Петрукович Андрей Николаевич

## **ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению расчетно-графических работ  
по технической механике  
для студентов специальности  
**1-69 01 01 – «Архитектура»**

Ответственный за выпуск: Хвисевич В.М.  
Редактор: Строкач Т.В.  
Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.  
Корректор: Никитчик Е.В.

---

Подписано к печати 11.04.2008 г. Бумага «Снегурочка». Гарнитура Arial Narrow.  
Усл. печ. л. 2,1. Уч.-изд. л. 2,25. Заказ № 480. Тираж 100 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Брестский государственный технический университет»,  
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.