

1. ПОНЯТИЕ О ПЛОСКИХ ФЕРМАХ

Фермой называется конструкция, состоящая из жестких стержней, соединенных между собой шарнирами так, что все сооружение представляет собой геометрически неизменяемую систему. Места соединения стержней называются *узлами фермы*.

Два стержня, соединенные друг с другом одним узлом, не образуют фермы, так как эта конструкция не представляет собой геометрически неизменяемой системы. Очевидно, что минимальное число стержней в ферме – три, и притом эти три стержня должны быть соединены между собой тремя узлами (рис. 1.1). Четыре стержня, соединенные между собой четырьмя узлами, фермы не образуют, так как эта конструкция представляет собой изменяемую систему – механизм (рис. 1.2).

Добавив в нее один диагональный стержень, получаем конструкцию из пяти стержней и четырех узлов, образующую ферму (рис. 1.3).

Присоединяя к ферме одновременно по два стержня и одному узлу, можно получить фермы более сложные.

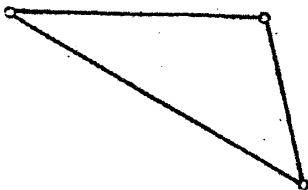


Рис. 1.1. Простейшая ферма

Если ферма состоит из n узлов, то общее число стержней, необходимое для образования фермы, следующее:

$$S = 2n - 3.$$

Если $S > 2n - 3$, то такая ферма называется статически неопределяемой, а при $S = 2n - 3$ мы будем иметь геометрически изменяемую систему – механизм.

Расчет ферм основан на следующих предположениях:

- 1) трение в шарнирах отсутствует;
- 2) стержни и шарниры невесомы, и все силы, действующие на ферму, приложены только в ее узлах.

Каждый стержень фермы находится в равновесии под действием двух сил, приложенных в его концах. Это возможно, если эти силы

равны друг другу по модулю и направлены вдоль стержня в противоположные стороны. Следовательно, стержень испытывает растяжение или сжатие.

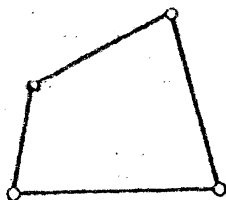


Рис. 1.2. Механизм

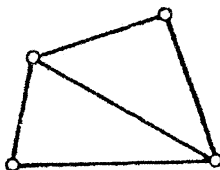


Рис. 1.3. Ферма

Статически рассчитать ферму – это значит по данным активным силам (нагрузкам), действующим на ферму в ее узлах, найти опорные реакции, а также силы, сжимающие или растягивающие каждый стержень. Назовем силы, сжимающие или растягивающие стержень, усилиями в данном стержне. Рассчитать ферму методами статики – это значит по данным активным силам найти опорные реакции и усилие в каждом стержне.

2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ФЕРМЫ

Пусть имеется статически определимая ферма с девятью стержнями и шестью узлами. Для расчета примем, что в узле A неподвижный цилиндрический шарнир, а в узле D невесомый прямолинейный стержень являются опорами. Внешние силы приложены к ферме в узлах C , E и F . Размеры фермы показаны на рис. 2.1.

Дано: $P_1 = 2$ кН, $P_2 = 3$ кН, $P_3 = 4$ кН, $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 60^\circ$.

2.1. Определение опорных реакций

Рассмотрим равновесие фермы в целом, освободив ее от внешних связей и заменив их действие реакциями связей. В опоре A реакцию связи раскладываем на две составляющие по осям координат, направление которых указано на рис. 2.1. В опоре D реакцию направим вдоль стержня DK и она вертикальная.

На ферму действует произвольная плоская система сил, находящихся в равновесии, поэтому можем составить три уравнения равновесия в одной из трех форм.

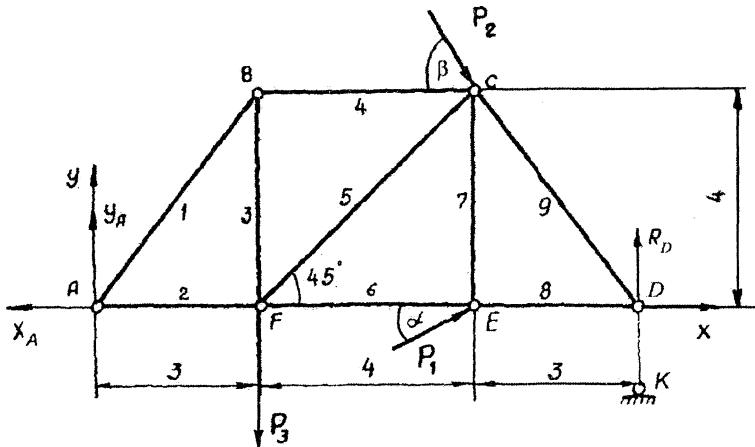


Рис. 2.1. Расчетная схема фермы для определения опорных реакций

Составим уравнения равновесия для определения опорных реакций, выбрав первую форму условий равновесия:

$$\sum F_x = 0; -x_A + P_1 \cdot \cos \alpha + P_2 \cdot \cos \beta = 0; \quad (2.1)$$

$$\sum F_y = 0; y_A + P_1 \cdot \sin \alpha - P_2 \cdot \sin \beta - P_3 + R_D = 0; \quad (2.2)$$

$$\sum m_A(\bar{F}_K) = 0; R_D \cdot 10 - P_3 \cdot 3 + P_1 \cdot \sin \alpha \cdot 7 - P_2 \cdot \cos \beta \cdot 4 - P_2 \cdot \sin \beta \cdot 7 = 0. \quad (2.3)$$

При составлении третьего уравнения момент силы P_2 найден как сумма моментов ее двух составляющих, направленных по осям координат. Подставляя числовые значения, получим

$$-x_A + 2 \cdot \cos 30^\circ + 3 \cdot \cos 60^\circ = 0; \quad (2.4)$$

$$y_A + 2 \cdot \sin 30^\circ - 3 \cdot \sin 60^\circ - 4 + R_D = 0; \quad (2.5)$$

$$10 \cdot R_D - 4 \cdot 3 + 2 \cdot \sin 30^\circ \cdot 7 - 3 \cdot \cos 60^\circ \cdot 4 - 3 \cdot \sin 60^\circ \cdot 7 = 0. \quad (2.6)$$

Из (2.4) имеем $x_A = 2 \cdot \cos 30^\circ + 3 \cdot \cos 60^\circ = 2 \cdot 0,86 + 3 \cdot 0,5 = 3,24$ кН.

Из (2.6) имеем $10 \cdot R_D = 4 \cdot 3 - 2 \cdot \sin 30^\circ \cdot 7 + 3 \cdot \cos 60^\circ \cdot 4 + 3 \cdot \sin 60^\circ \cdot 7 = 12 - 2 \cdot 0,5 \cdot 7 + 3 \cdot 0,5 \cdot 4 + 3 \cdot 0,86 \cdot 7 = 29,2$; $R_D = 2,92$ кН.

Из (2.5) имеем

$$y_A = -2 \cdot \sin 30^\circ + 3 \cdot \sin 60^\circ - R_D = -2 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,86 - 2,92 = -1,34$$
 кН.

2.2. Расчет фермы способом вырезания узлов

После того как найдены опорные реакции, можно приступить к расчету усилий в стержнях фермы. Суть способа вырезания узлов состоит в том, что отдельный узел фермы принимается за точку, на которую действует плоская система сходящихся сил, находящаяся в равновесии.

2.2.1. Аналитический метод

Так как силы, действующие на каждый узел фермы, образуют плоскую систему сходящихся сил, то для определения усилий в стержнях мы можем составить только два уравнения равновесия.

Суть аналитического метода в том, что для каждого из узлов составляется по два уравнения равновесия и из них находятся два неизвестных усилия, поэтому можно начинать расчет фермы с того узла, в котором сходятся не более двух стержней, усилия в которых неизвестны.

Расчет начнем с узла A . На него действуют четыре силы: x_A , y_A и реакции стержней S_1 и S_2 (рис. 2.2, а).

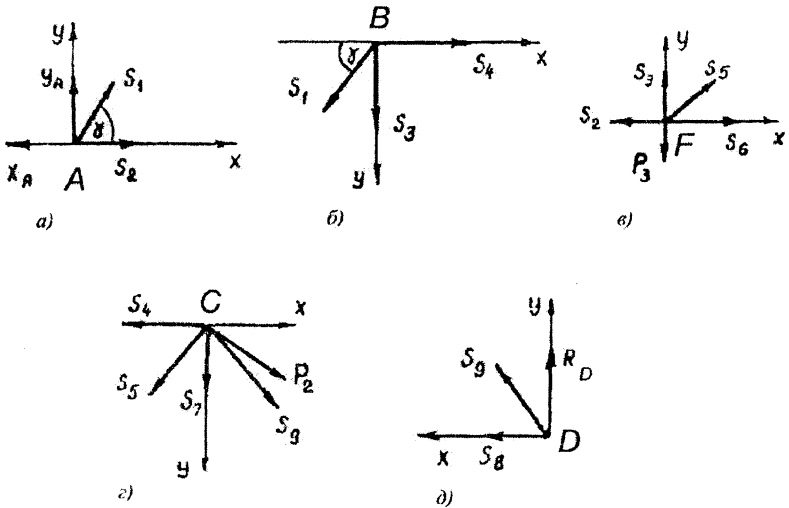


Рис. 2.2. Расчетные схемы узлов фермы

Реакции S_1 и S_2 направляем от узла, считая, что стержни работают на растяжение. Выберем оси координат и составим уравнения равновесия в виде суммы проекций сил на оси координат:

$$\sum F_x = 0; -x_A + S_2 + S_1 \cdot \cos \gamma = 0; \quad (2.7)$$

$$\sum F_y = 0; y_A + S_1 \cdot \sin \gamma = 0. \quad (2.8)$$

Из треугольника ABF (рис. 2.1) имеем

$$\cos \gamma = \frac{AF}{AB} = \frac{3}{5} = 0,6;$$

$$\sin \gamma = \frac{BF}{AB} = \frac{4}{5} = 0,8.$$

Из (2.8) имеем $S_1 \cdot \sin \gamma = -y_A$, $0,8 \cdot S_1 = -2,68$, $S_1 = -3,35$ кН.

Из (2.7) имеем $S_2 = x_A - S_1 \cdot \cos \gamma = 3,25 + 3,35 \cdot 0,6 = 5,24$ кН.

Рассмотрим узел B . На него действуют три силы: S_1 , S_3 , S_4 (рис. 2.2, б). Составим уравнения равновесия:

$$\sum F_x = 0; S_4 - S_1 \cdot \cos \gamma = 0; \quad (2.9)$$

$$\sum F_y = 0; S_3 + S_1 \cdot \sin \gamma = 0. \quad (2.10)$$

Из (2.9) имеем $S_4 = S_1 \cdot \cos \gamma = -2,01$ кН.

Из (2.10) имеем $S_3 = -S_1 \cdot \sin \gamma = 2,68$ кН.

Рассмотрим узел F . На него действуют пять сил (рис. 2.2, в). Составим уравнения равновесия:

$$\sum F_x = 0; S_5 \cdot \cos 45^\circ + S_6 - S_2 = 0; \quad (2.11)$$

$$\sum F_y = 0; S_5 \cdot \cos 45^\circ + S_3 - P_3 = 0. \quad (2.12)$$

Из (2.12) имеем $S_5 \cdot \cos 45^\circ = -S_3 + P_3 = -2,68 + 4 = 1,32$; $S_5 = 1,88$ кН.

Из (2.11) имеем $S_6 = S_2 - S_5 \cdot \cos 45^\circ = 5,24 - 1,32 = 3,92$ кН.

Рассмотрим узел C . На него действуют пять сил: S_4 , S_5 , S_7 , S_9 и P_2 (рис. 2.2, г). Составим уравнения равновесия:

$$\sum F_x = 0; P_2 \cdot \cos 60^\circ + S_9 \cdot \cos \gamma - S_5 \cdot \cos 45^\circ - S_4 = 0. \quad (2.13)$$

$$\sum F_y = 0; P_2 \cdot \cos 30^\circ + S_7 + S_5 \cdot \cos 45^\circ + S_9 \cdot \sin \gamma = 0. \quad (2.14)$$

Из (2.13) имеем $S_9 \cdot \cos \gamma = S_5 \cdot \cos 45^\circ + S_4 - P_2 \cdot \cos 60^\circ$, $0,6 \cdot S_9 = 1,32 + (-2,01) - 3 \cdot 0,5 = -2,19$, $S_9 = -3,65$ кН.

Из (2.14) имеем $S_7 = -S_5 \cdot \cos 45^\circ - S_9 \cdot \sin \gamma - P_2 \cdot \cos 30^\circ = -1,32 - (-3,65) \cdot 0,8 - 3 \cdot 0,86 = -1,0$ кН.

Рассмотрим узел D . На него действуют три силы: S_8 , S_9 , R_D (рис. 2.2, д). Достаточно одного уравнения, чтобы определить усилие S_8 :

$$\sum F_x = 0; S_8 + S_9 \cos \gamma = 0. \quad (2.15)$$

Из (2.15) имеем $S_8 = -S_9 \cdot \cos \gamma = -(-3,65) \cdot 0,65 = 2,19$ кН.

Итоговые результаты занесены в табл. 2.1.

2.2.2. Графический метод

Начинать вырезание узлов необходимо с того узла, в котором сходятся не более двух стержней с неизвестными усилиями.

В соответствии с геометрическими условиями равновесия системы сходящихся сил силовой многоугольник, построенный из этих сил, должен быть замкнут.

Начнем вырезание с узла A (рис. 2.3, а). В нем усилия двух стержней 1 и 2 неизвестны. Рассмотрим равновесие узла A под действием силы реакции в точке A и сил реакций стержней 1 и 2. Выберем масштаб построения сил в силовом многоугольнике, например, в 1 см 1 кН.

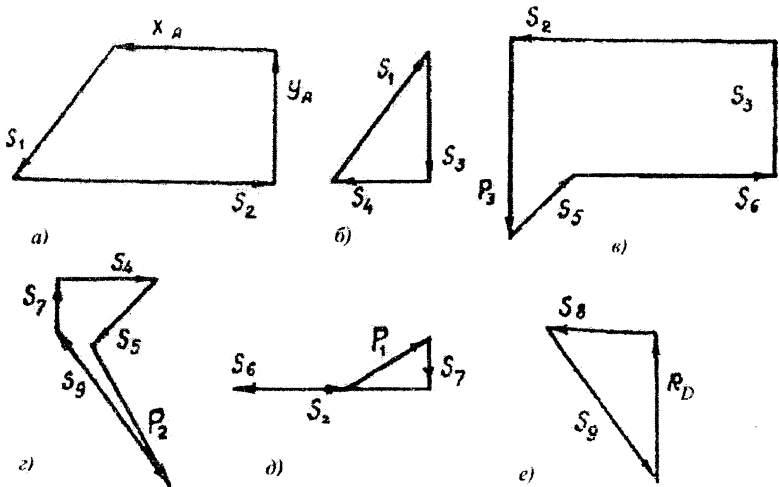


Рис. 2.3. Силовые многоугольники для узлов

Строим в выбранном масштабе реакции u_A и x_A и проводим из начала вектора u_A линию, параллельную стержню 2 (или 1), а из конца вектора x_A – линию, параллельную стержню 1 (или 2). Получим замкнутый силовой четырехугольник, в котором стороны четырехугольника, параллельные стержням 1 и 2, представляют собой усилия в стержнях 1 и 2 по модулю и направлению (рис. 2.3, а).

Далее вырежем узел B . На него действуют три силы: найденная S_1 и искомые силы реакций S_3 и S_4 . Силу S_1 строим, обязательно изменяя полученное направление на противоположное. Затем из конца и из начала силы S_1 проводим линии, параллельные стержням 2 и 4. Получим замкнутый силовой треугольник, в котором стороны треугольника, параллельные стержням 3 и 4, представляют собой усилия в стержнях 3 и 4 по модулю и направлению (рис. 2.3, б).

Аналогичным образом вырезаем все остальные узлы, причем в последнем узле все силы уже известны и он является проверочным. Знак усилия в стержне определяется по тому, будет ли направлен этот вектор к узлу или от него. Если вектор направлен к узлу, то усилие считается сжимающим и присваиваем знак «минус», если от узла – растягивающим, присваиваем знак «плюс». Результаты измерений приведены в табл. 2.1.

Т а б л и ц а 2.1. Значение усилий в стержнях, найденные графически и аналитически

Номер стержня	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Графически	-3,35	5,20	2,70	-2,00	1,90	3,90	-1,00	2,20	-3,65
Аналитически	-3,35	5,24	2,68	-2,01	1,88	3,92	-1,00	2,19	3,65

2.3. Расчет фермы способом сечений

Разрежем ферму сечением на две части по стержням 4, 5 и 6. Рассмотрим равновесие левой части (можно и правой) под действием внешних сил, сил реакций в опоре A и реакций перерезанных стержней (рис. 2.4).

Силы реакций прямоугольных стержней направляем от узлов к линии разреза, считая, что стержни работают на растяжение.

На рассматриваемую часть фермы действует произвольная плоская система сил, для которой можем составить три уравнения равновесия в одной из трех форм и тем самым определить три неизвестных усилия в

стержнях. Поэтому сечение необходимо проводить так, чтобы оно пересекало не более трех стержней, усилия в которых неизвестны.

Форму уравнений равновесия при этом можно выбирать любую, но удобнее такую, чтобы из каждого уравнения равновесия можно было сразу определить одно из неизвестных усилий в стержне.

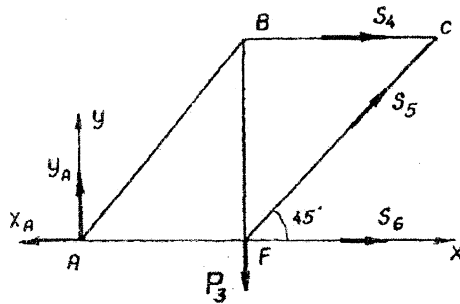


Рис. 2.4. Расчетная схема к способу сечений

Таковыми уравнениями являются, как правило, суммы моментов силы относительно точек, где пересекаются линии действия сил реакций двух стержней, усилия в которых неизвестны. Из этого уравнения можно определить силу реакции третьего стержня. Если два стержня, усилия в которых неизвестны, параллельны, то удобно составить сумму проекций всех сил, действующих на выделенную часть фермы, на ось, перпендикулярную этим двум стержням, – найдем сразу усилие в третьем стержне.

В выделенной части фермы удобно составить суммы моментов всех сил относительно точек C (пересекаются линии действия неизвестных сил S_4 и S_5) и F (пересекаются линии действия сил S_5 и S_6) и сумму проекций всех сил на ось y , перпендикулярную двум неизвестным параллельным силам S_4 и S_5 . Из каждого составленного уравнения можно будет определить по одному неизвестному усилию в стержне.

Составим уравнения равновесия:

$$\sum m_C(\bar{F}_k) = 0; \quad -y_A \cdot 7 - x_A \cdot 4 + S_6 \cdot 4 + P_3 \cdot 4 = 0; \quad (2.16)$$

$$\sum m_F(\bar{F}_k) = 0; \quad -y_A \cdot 3 - S_4 \cdot 4 = 0. \quad (2.17)$$

$$\sum F_y = 0; \quad S_5 \cos 45^\circ + y_A - P_3 = 0. \quad (2.18)$$

Из (2.16) имеем $S_6 \cdot 4 = y_A \cdot 7 + x_A \cdot 4 - P_3 \cdot 4 = 2,68 \cdot 7 + 3,23 \cdot 4 - 4 \cdot 4 = 15,68$;
 $S_6 = 3,92$ кН.

Из (2.17) имеем $S_4 \cdot 4 = -y_A \cdot 3 = -2,68 \cdot 3 = -8,04$; $S_4 = -2,01$ кН.

Из (2.18) имеем $S_5 \cos 45^\circ = -y_A + P_3 = -2,68 + 4 = 1,32$; $S_5 = 1,88$ кН.

Этот способ удобен, когда нужно найти усилие в каком-нибудь одном или двух стержнях, при этом нет необходимости находить усилия в других стержнях.

3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Для приобретения студентами навыков расчета плоских ферм составлены перечисленные ниже индивидуальные задания.

1. Определить опорные силы реакций внешних связей, удерживающих ферму в равновесии.

2. Способом вырезания узлов графически и аналитически найти усилия во всех стержнях фермы.

3. Способом сечений фермы проверить значения усилий в стержнях, полученных способом вырезания. Необходимо сделать два сечения по трем стержням. В тех случаях, когда второе сечение по трем стержням невозможно, надо сделать сечение по четырем стержням, считая усилия в одном из них известным (значение усилия взять из аналитического расчета методом вырезания узлов). Расчетные схемы ферм приведены в прил. 1, исходные данные – в прил. 2.

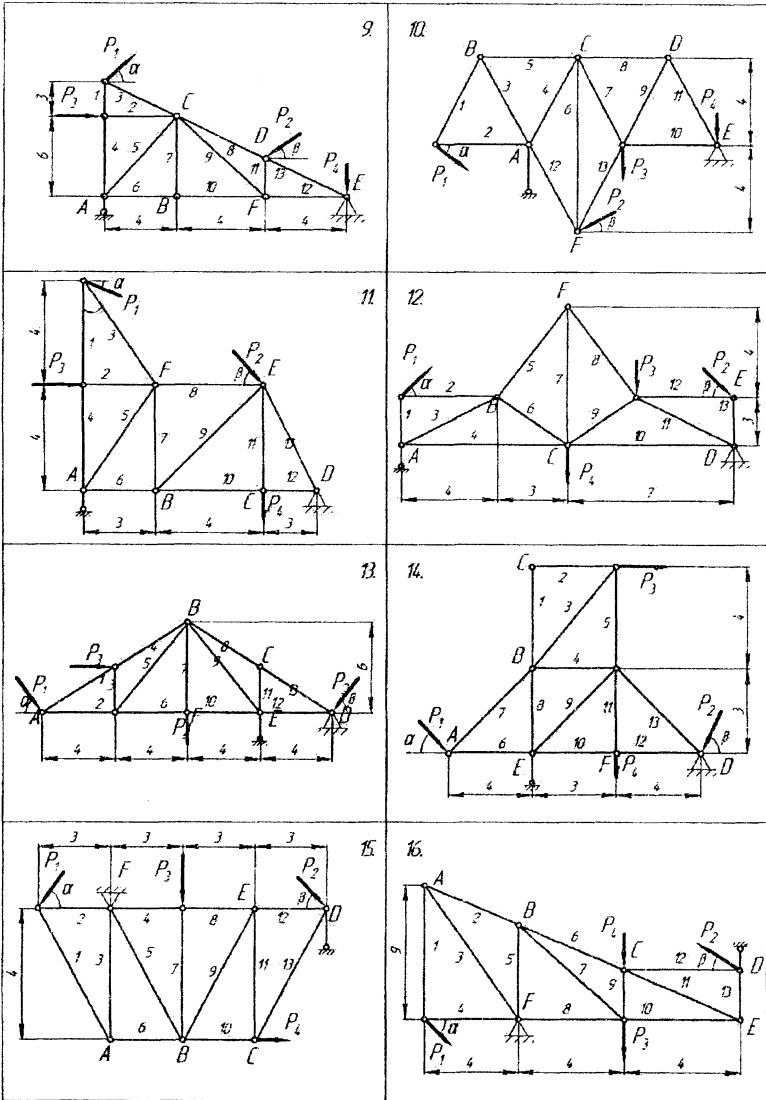
Примечание. На схемах неподвижная и подвижная опоры изображены для первого варианта. Для остальных вариантов положение опор указано в 1-м и 2-м столбцах прил. 2.

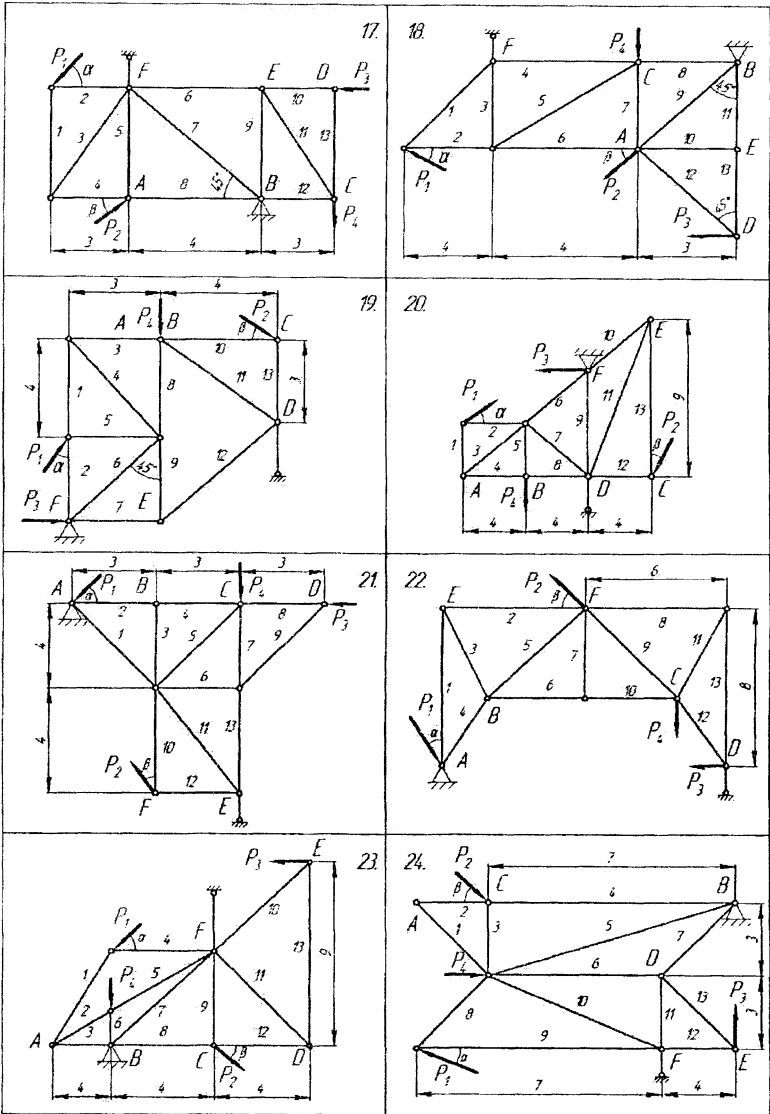
ЛИТЕРАТУРА

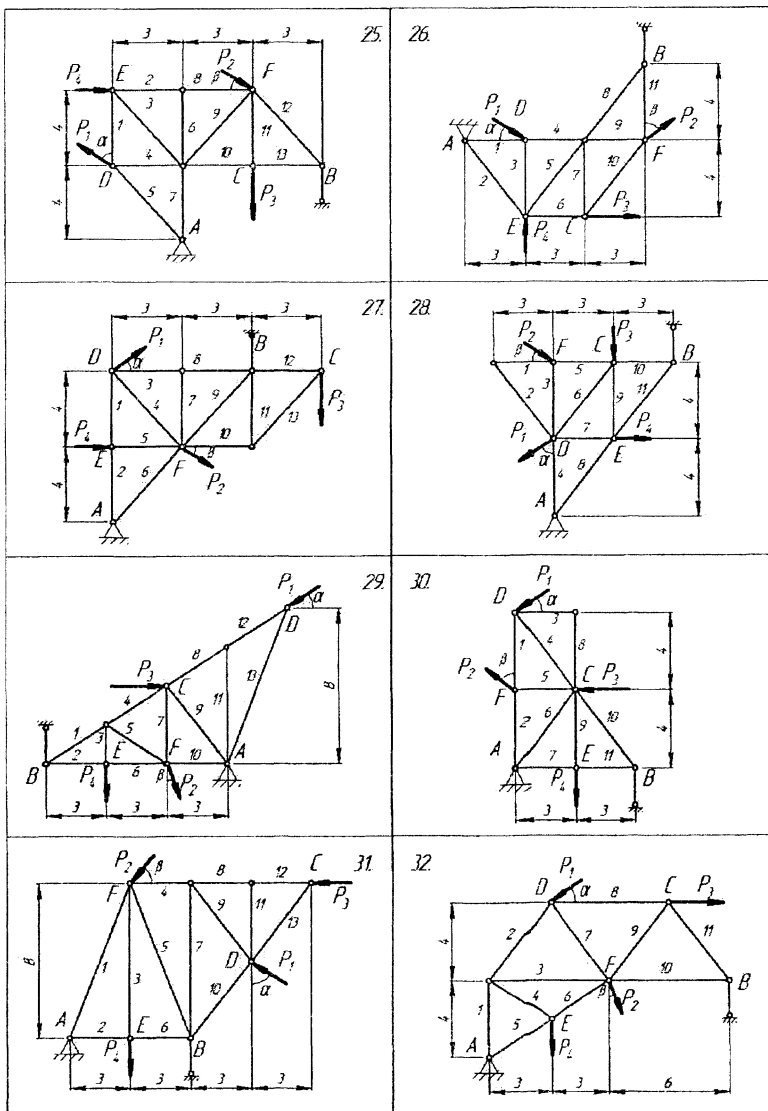
1. Т а р г, С. М. Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. – М.: Высш. шк., 2010. – 416 с.

2. Б у т е н и н, Н. В. Курс теоретической механики: в 2 т. / Н. В. Бутенин, Я. Л. Луиц, Д. Р. Меркин. – М.: Лань, 2009. – Т. 1. – 736 с.

3. Я б л о н с к и й, А. А. Курс теоретической механики / А. А. Яблонский. – М.: Интеграл-Пресс, 2007. – 608 с.







Исходные данные

Номер схемы	Вари- ант	Опоры		P ₁ , кН	P ₂ , кН	P ₃ , кН	P ₄ , кН	α°	β°
		непод- вижная	под- вижная						
1 и 2	1	F	B	2	3	4	0	30	60
	2	C	F	5	3	0	3	60	120
	3	B	E	2	5	3	0	120	150
	4	A	F	0	4	5	2	150	30
	5	B	D	3	0	4	5	30	0
	6	F	C	2	3	0	4	60	30
	7	B	F	5	2	3	0	120	60
	8	E	B	4	5	0	2	0	150
	9	F	A	0	3	4	5	150	120
	10	D	F	2	0	3	4	30	0
3 и 4	1	A	E	5	4	3	0	60	30
	2	D	A	2	5	0	4	30	60
	3	A	C	3	0	2	5	150	0
	4	C	A	4	0	3	2	120	0
	5	B	F	5	4	0	3	60	150
	6	E	B	2	5	4	0	150	120
	7	B	E	3	2	0	5	120	30
	8	F	B	4	3	2	0	30	60
	9	A	D	5	4	0	3	120	150
	10	E	A	2	0	5	4	60	0
5 и 6	1	F	A	4	3	0	2	150	60
	2	F	B	5	4	0	3	120	30
	3	F	C	2	5	0	4	60	120
	4	C	E	3	2	0	5	30	150
	5	A	D	4	0	3	2	30	0
	6	D	A	5	0	4	3	60	0
	7	E	C	2	0	5	4	120	0
	8	C	F	3	2	0	5	150	30
	9	B	F	4	3	0	2	30	60
	10	A	F	5	4	0	3	60	0
7 и 8	1	A	E	2	4	3	0	30	60
	2	A	C	5	2	0	4	60	120
	3	B	F	3	5	0	2	120	150
	4	C	E	4	3	5	0	150	120
	5	F	E	2	4	0	3	120	30
	6	E	A	5	0	2	4	60	0
	7	C	A	0	3	5	2	0	30
	8	A	D	4	3	5	0	30	60
	9	D	A	2	4	3	0	150	120
	10	E	C	5	2	0	4	60	30

Продолжение прил. 2

Номер схемы	Вариант	Опоры		P ₁ , кН	P ₂ , кН	P ₃ , кН	P ₄ , кН	α°	β°
		непод- вижная	подвиж- ная						
9 и 10	1	Е	А	2	3	4	0	30	120
	2	Е	В	5	2	3	0	60	150
	3	С	Д	4	0	5	2	120	0
	4	А	Е	3	4	5	0	60	30
	5	С	Е	2	3	4	0	150	60
	6	F	А	5	2	0	3	30	60
	7	А	F	4	0	5	2	60	0
	8	С	А	3	4	0	5	120	120
	9	В	Е	2	3	4	0	150	60
	10	Д	С	5	0	2	3	30	0
11 и 12	1	Д	А	3	4	0	5	60	30
	2	В	А	2	3	4	0	30	60
	3	А	В	5	4	3	0	150	60
	4	В	F	2	4	0	5	120	150
	5	F	А	3	2	0	4	60	120
	6	С	А	5	2	3	0	30	150
	7	А	Е	4	0	5	2	60	0
	8	А	F	3	4	0	5	60	120
	9	С	В	2	3	4	0	30	120
	10	А	Д	5	2	3	0	120	60
13 и 14	1	Д	Е	2	0	3	4	30	0
	2	А	С	0	5	2	3	0	60
	3	А	В	0	4	5	2	0	30
	4	С	Д	3	0	4	5	60	0
	5	С	F	2	3	4	0	30	60
	6	Е	А	0	4	5	3	0	60
	7	Д	В	4	0	2	4	30	0
	8	А	Е	0	5	3	2	0	30
	9	F	С	5	2	4	0	66	30
	10	А	F	0	3	4	5	0	60
15 и 16	1	F	Д	2	0	5	3	30	0
	2	А	В	3	0	2	4	120	30
	3	Е	А	4	5	0	3	150	60
	4	С	Е	5	2	4	0	90	120
	5	В	Е	2	0	5	3	60	150
	6	Д	F	3	4	0	5	30	60
	7	А	С	4	5	3	0	120	150
	8	В	А	5	2	0	4	60	30
	9	Е	С	2	3	4	0	30	120
	10	Е	В	3	4	0	5	60	60

Номер схемы	Вариант	Опоры		P ₁ , кН	P ₂ , кН	P ₃ , кН	P ₄ , кН	α°	β°
		непод- вижная	подвиж- ная						
17 и 18	1	В	Г	3	5	0	2	30	60
	2	С	В	4	3	5	0	60	30
	3	Е	С	2	4	3	0	30	60
	4	А	Е	5	0	2	4	0	30
	5	Е	А	3	0	5	2	0	60
	6	Г	Д	4	3	0	5	120	150
	7	Е	Г	2	0	4	3	120	0
	8	С	Е	5	2	4	0	150	30
	9	Г	С	3	5	2	0	30	60
	10	В	А	4	0	3	5	60	0
19 и 20	1	Г	Д	2	4	0	3	120	30
	2	В	Д	4	3	5	0	60	150
	3	А	В	2	5	3	0	30	60
	4	Е	А	0	2	4	5	0	30
	5	Д	Е	3	0	5	2	60	0
	6	А	Д	0	3	2	4	0	120
	7	С	Е	4	0	3	2	30	0
	8	А	С	5	0	4	3	60	0
	9	Г	Е	2	4	0	3	120	60
	10	Д	Г	3	5	0	4	150	30
21 и 22	1	А	В	0	2	3	4	0	30
	2	Е	Д	2	3	0	5	60	120
	3	В	Е	3	0	4	2	30	0
	4	В	Д	4	2	0	3	120	60
	5	С	5	5	3	4	0	150	30
	6	Е	А	0	4	5	4	0	120
	7	Д	В	2	5	0	3	30	60
	8	Г	Е	3	0	4	5	60	0
	9	В	А	0	4	3	2	0	30
	10	В	С	4	5	2	0	30	60
23 и 24	1	В	Г	4	3	2	0	120	150
	2	С	А	5	0	2	3	150	0
	3	А	В	0	4	5	3	0	60
	4	Е	А	4	5	0	2	60	30
	5	С	Д	3	0	4	5	30	0
	6	Г	Е	2	3	0	4	30	60
	7	Д	С	5	0	4	3	120	0
	8	А	Е	2	3	0	4	150	120
	9	А	С	5	0	4	3	150	0
	10	В	А	2	5	0	3	60	120

Номер схемы	Вари- ант	Опоры		P ₁ , кН	P ₂ , кН	P ₃ , кН	P ₄ , кН	α°	β°
		непод- вижная	подвиж- ная						
25 и 26	1	А	В	2	3	0	4	30	60
	2	В	А	4	3	2	0	60	30
	3	С	А	5	4	0	3	30	60
	4	Д	В	0	2	4	3	0	30
	5	В	Е	3	5	2	0	60	120
	6	F	А	4	0	5	3	150	0
	7	В	Д	0	3	2	4	0	60
	8	А	С	2	4	0	5	120	60
	9	Е	В	3	2	3	0	150	30
	10	А	F	5	0	4	2	30	0
27 и 28	1	А	В	0	5	3	2	0	30
	2	В	А	2	0	4	3	30	0
	3	А	С	3	2	0	4	60	30
	4	Д	В	0	3	2	5	0	60
	5	В	Е	4	2	5	0	60	120
	6	С	А	5	4	0	2	30	150
	7	В	Д	0	5	3	4	0	60
	8	Е	В	2	4	5	0	120	150
	9	F	В	3	0	4	5	150	0
	10	С	В	4	3	0	2	30	60
29 и 30	1	А	В	5	0	4	2	30	0
	2	В	А	0	2	5	3	0	60
	3	С	А	2	3	0	5	60	30
	4	Д	В	0	5	3	4	0	120
	5	В	F	4	0	2	3	150	0
	6	А	С	3	4	0	2	30	60
	7	Е	А	2	3	4	0	150	30
	8	В	Д	0	2	5	4	0	150
	9	F	В	3	0	4	5	30	0
	10	В	Е	4	2	3	0	120	60
31 и 32	1	А	В	0	2	3	4	0	30
	2	В	А	2	0	4	3	30	0
	3	С	А	3	4	0	5	60	30
	4	Д	В	0	3	5	2	0	60
	5	В	F	4	0	2	3	120	0
	6	А	С	5	2	0	4	30	150
	7	Е	В	3	5	4	0	30	60
	8	В	С	5	3	0	2	60	30
	9	С	Д	0	2	5	3	120	150
	10	А	Е	4	3	3	0	150	120