

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра теоретической механики

Г.В. Куча, И.И. Мосалева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В СТЕРЖНЯХ ПЛОСКОЙ ФЕРМЫ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлениям подготовки 280700.62 Техносферная безопасность, 201000.62 Биотехнические системы в технологии, 151900.62 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 190700.62 Технологии транспортных процессов, 190600.62 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

Оренбург

2013

УДК 531.25(076.5)

ББК 22.251я7

К 95

Рецензент – профессор, кандидат технических наук Р.В.Ромашов

Куча, Г.В.

К 95 Определение усилий в стержнях плоской фермы: методические указания / Г.В. Куча, И.И. Мосалева; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2013 – 28 с.

Основное содержание: ферма, статически определимая плоская ферма, способы расчета плоской фермы: способ вырезания узлов, способ сечений (способ Риттера).

Методические указания предназначены для лабораторной работы «Определение усилий в стержнях плоской фермы» по дисциплине «Теоретическая механика» для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки 280700.62 Техносферная безопасность, 201000.62 Биотехнические системы в технологии, 151900.62 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 190700.62 Технологии транспортных процессов, 190600.62 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

УДК 531.25(076.5)

ББК 22.251я7

©Куча Г.В.,
Мосалева И.И., 2013
©ОГУ, 2013

Содержание

Введение	4
1 Статически определимые плоские фермы.....	5
1.1 Общие сведения.....	5
1.2. Определение сил в стержнях способом вырезания узлов.....	5
1.3 Определение сил в стержнях способом сечений (способом Риттера).....	6
2 Вопросы для самоконтроля.....	7
3 Лабораторная работа. Определение усилий в стержнях плоской фермы	7
3.1 Содержание работы.....	7
3.2 Порядок решения задач	17
4 Пример расчета.....	18
5 Литература, рекомендуемая для изучения дисциплины	27
Список использованных источников	28

Введение

Настоящие методические указания содержат основные определения по теме «Определение усилий в стержнях плоской фермы», общие рекомендации к решению типовых задач по этой теме, а также вопросы для самоконтроля, на которые необходимо ответить прежде, чем приступить к выполнению лабораторной работы.

Методические указания включают содержание лабораторной работы, варианты исходных расчетных схем и необходимых числовых данных. Кроме того, подробно рассмотрен пример выполнения работы.

Методические указания разработаны для студентов очной и заочной форм обучения.

1 Статически определимые плоские фермы

1.1 Общие сведения

Фермой называется жесткая конструкция из прямолинейных стержней, соединенных на концах шарнирами. Места соединения стержней фермы называются *узлами*.

При расчете ферм принимаем следующие допущения:

- 1) все внешние нагрузки прикладываются только в узлах;
- 2) трением в узлах фермы пренебрегают;
- 3) при равновесии фермы две силы, действующие на каждый из стержней, направлены только вдоль стержня;
- 4) стержни фермы работают только на растяжение или на сжатие.

Для жестких плоских ферм должно выполняться условие

$$k = 2n - 3, \quad (1)$$

где k – число стержней,

n – число узлов.

Если число стержней будет меньше k – ферма не будет жесткой, а при большем числе она будет статически неопределимой.

Расчет ферм сводится к определению опорных реакций и усилий в её стержнях.

1.2 Определение сил в стержнях способом вырезания узлов

Этим способом удобно пользоваться, когда надо найти усилия во всех стержнях фермы. Он заключается в последовательном рассмотрении условий равновесия сил, сходящихся в каждом из узлов фермы. Начинать решение нужно с того узла, где *сходятся два стержня*, так как из двух уравнений равновесия плоской системы сходящихся сил, действующей на узел, можно определить только два неизвестных усилия.

Вырезаем узел фермы, к которому подходит стержень с искомым усилием. Действие разрезанных стержней заменяем их усилиями, направляя соответствующие векторы от узлов, предполагая стержни растянутыми. Выбираем оси и составляем уравнения равновесия узла в проекциях. Решаем уравнения относительно искомого усилия. Рекомендуется рассматривать узлы в такой последовательности, чтобы каждый раз в уравнениях было не более двух неизвестных. Если в результате расчета величина усилия в каком-нибудь стержне получится отрицательной, это будет означать, что данный стержень не растянут, а сжат. Если усилие в каком-либо стержне получится равным нулю, это значит, что данный стержень не нагружен (*нулевой стержень*).

Если к узлу подходит более двух стержней с неизвестными усилиями, то метод вырезания узлов можно комбинировать с методом Риттера.

В тех стержнях, где это возможно, усилия находим методом Риттера.

1.3 Определение сил в стержнях способом сечений (способом Риттера)

Этим способом удобно пользоваться, для определения усилий в отдельных стержнях фермы, в частности, для проверочных расчетов.

Суть этого способа состоит в следующем. Мысленно разделяем ферму на две части, пересекая *три стержня (сечение Риттера)*, в которых требуется определить усилие. Действие разрезанных стержней заменяем их усилиями, направляя соответствующие векторы из узлов в сторону сечения, предполагая стержни растянутыми.

Рассматриваем равновесие одной из частей фермы (как правило, той, где меньше нагрузок). Для стержней, усилия в которых необходимо определить, находим *точки Риттера*. Они являются точками попарного пересечения линий действия сил в рассеченных стержнях. Искомые усилия определяем из уравнений моментов рассматриваемой части относительно точек Риттера.

Если два стержня в сечении параллельны, то точки Риттера для третьего стержня не существует, и для определения усилия в нем необходимо составить уравнение проекций на ось, перпендикулярную параллельным стержням.

В уравнение метода Риттера всегда входит только одно неизвестное усилие. Это позволяет искать усилия независимо одно от другого, уменьшая тем самым возможность ошибок и избегая накопления неизбежных погрешностей округления в численных расчетах.

2 Вопросы для самоконтроля

Что называется фермой?

Какие допущения принимают при расчете ферм?

Как записывается условие статической определимости фермы?

В чем заключается способ вырезания узлов?

В чем заключается способ Риттера?

3 Лабораторная работа. Определение усилий в стержнях плоской фермы

3.1 Содержание работы

Определить реакции опор фермы (рисунки 1 - 8) от заданной нагрузки, а также силы во всех её стержнях способом вырезания узлов. Необходимые для расчета данные приведены в таблице 1. Дополнительно определить в трех стержнях фермы силы от той же нагрузки способом Риттера (номера стержней указаны в таблице 1).

Таблица 1

Номер варианта	P ₁	P ₂	P ₃	a	h	α, град	Номера стержней
	кН			м			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	4	9	2	2,0	-	30	3,8,9
2	10	3	4	2,5	-	60	2,5,7
3	2	12	6	3,0	-	60	4,5,10
4	10	10	5	4,0	-	60	5,6,11
5	2	4	2	-	2,0	60	4,5,10
6	3	7	5	4,0	3,0	-	8,9,11
7	4	6	3	4,0	-	60	4,6,12
8	5	7	7	3,2	-	45	3,4,5
9	10	8	2	5,0	-	60	6,7,12
10	3	4	5	4,4	3,3	-	3,5,7
11	2	6	8	2,5	3,0	-	2,7,8
12	5	7	2	4,0	-	60	4,5,10
13	4	6	2	4,8	3,6	-	4,5,10
14	3	5	5	3,0	-	60	5,6,8
15	2	2	10	4,0	6,0	-	2,6,9
16	5	6	2	5,0	-	60	3,5,6
17	4	4	10	4,0	6,0	-	4,7,8
18	5	2	8	-	5,0	60	1,4,8
19	8	4	10	5,0	10,0	60	4,5,7
20	2	3	5	4,0	6,0	-	5,6,8
21	3	2	7	6,0	-	45	5,8,9
22	4	2	9	4,0	-	45	2,6,8
23	5	8	8	4,0	6,0	30	4,7,9
24	6	10	2	3,6	-	45	4,5,10
25	7	10	5	4,4	3,3	-	8,10,11
26	8	12	2	4,0	-	30	4,5,9
27	9	4	4	4,0	3,0	-	5,9,11
28	10	5	3	5,0	-	30	3,5,6
29	12	8	8	6,0	-	45	5,6,11
30	5	10	10	4,0	2,0	-	6,7,12

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
31	4	10	2	2,0	-	-	3,4,5
32	6	4	2	2	-	30	3,4,5
33	4	9	2	3,0	-	60	5,6,7
34	10	3	4	2,5	-	60	5,6,7
35	2	12	6	3,0	-	60	2,3,5
36	4	6	2	4,0	-	45	5,6,7
37	2	4	6	2,0	-	60	5,6,8
38	10	10	5	-	2,0	60	6,7,10
39	2	4	10	-	2,0	45	4,5,6
40	8	2	2	4,0	3,0	-	2,3,9
41	6	4	4	2,0	4,0	-	5,6,7
42	5	10	4	4,0	2,0	-	2,4,8
43	12	8	2	6,0	-	45	4,5,7
44	10	5	3	5,0	-	30	3,4,5
45	9	4	4	4,0	3,0	-	2,7,8
46	8	12	2	4,0	-	30	4,5,6
47	7	10	5	4,4	3,3	-	8,9,10
48	6	10	2	3,6	-	45	4,5,6
49	10	5	8	4,0	9,0	-	5,6,7
50	3	2	1	3,0	2	-	1,2,8
51	1	2	-	2	-	60	4,6,7
52	2	5	-	3	3	-	6,7,8
53	2	4	-	5	3	-	4,5,6
54	4	1	-	2	-	60	2,8,5
55	3	2	2	3	4	-	4,5,6
56	3	2	2	3	4	-	1,2,3
57	1	2	-	4,5	7,5	-	2,5,10
58	3	6	3	5	4,5	-	3,9,16
59	8	-	-	1	3	-	2,3,4
60	10	-	-	1	3	-	2,3,4

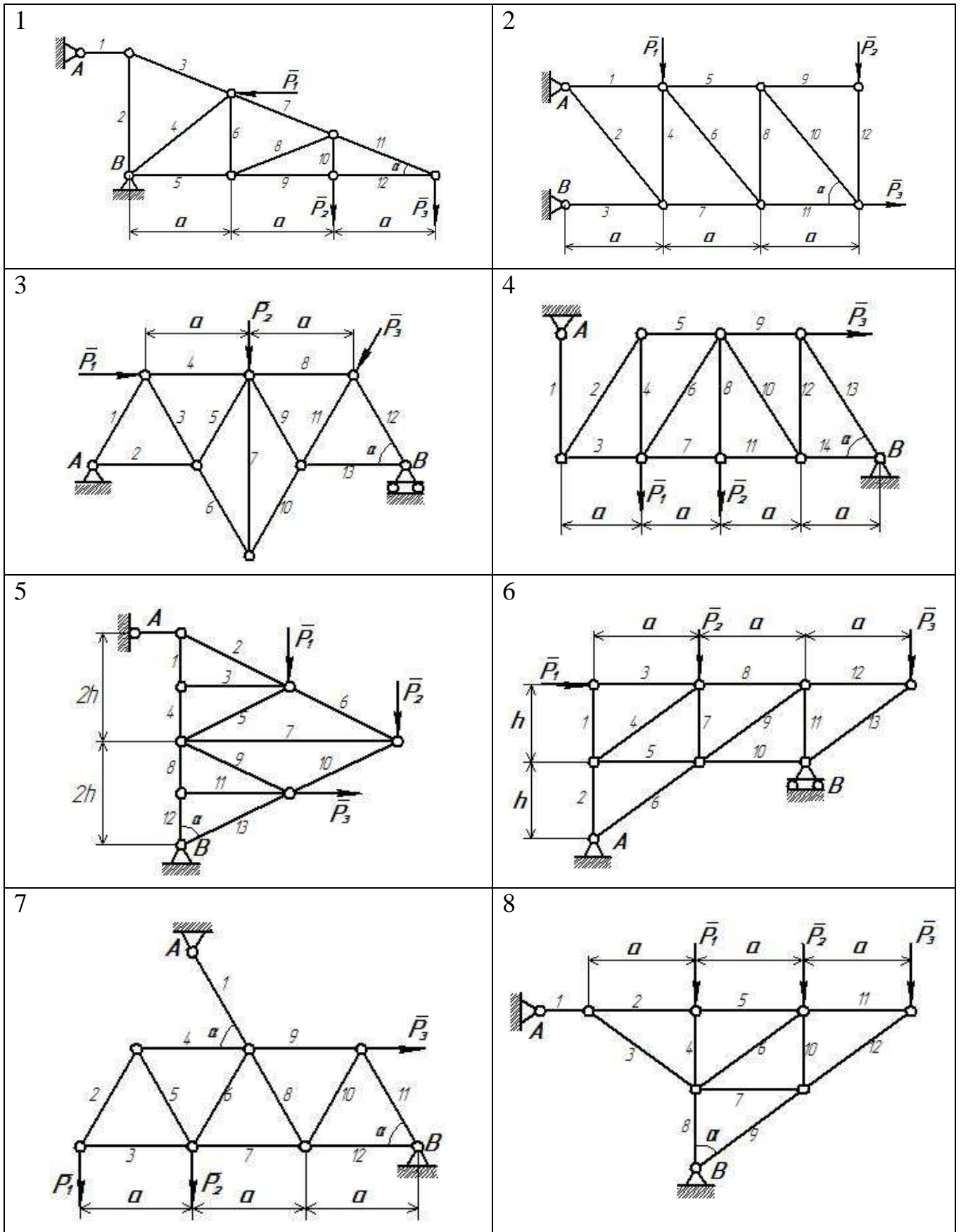


Рисунок 1

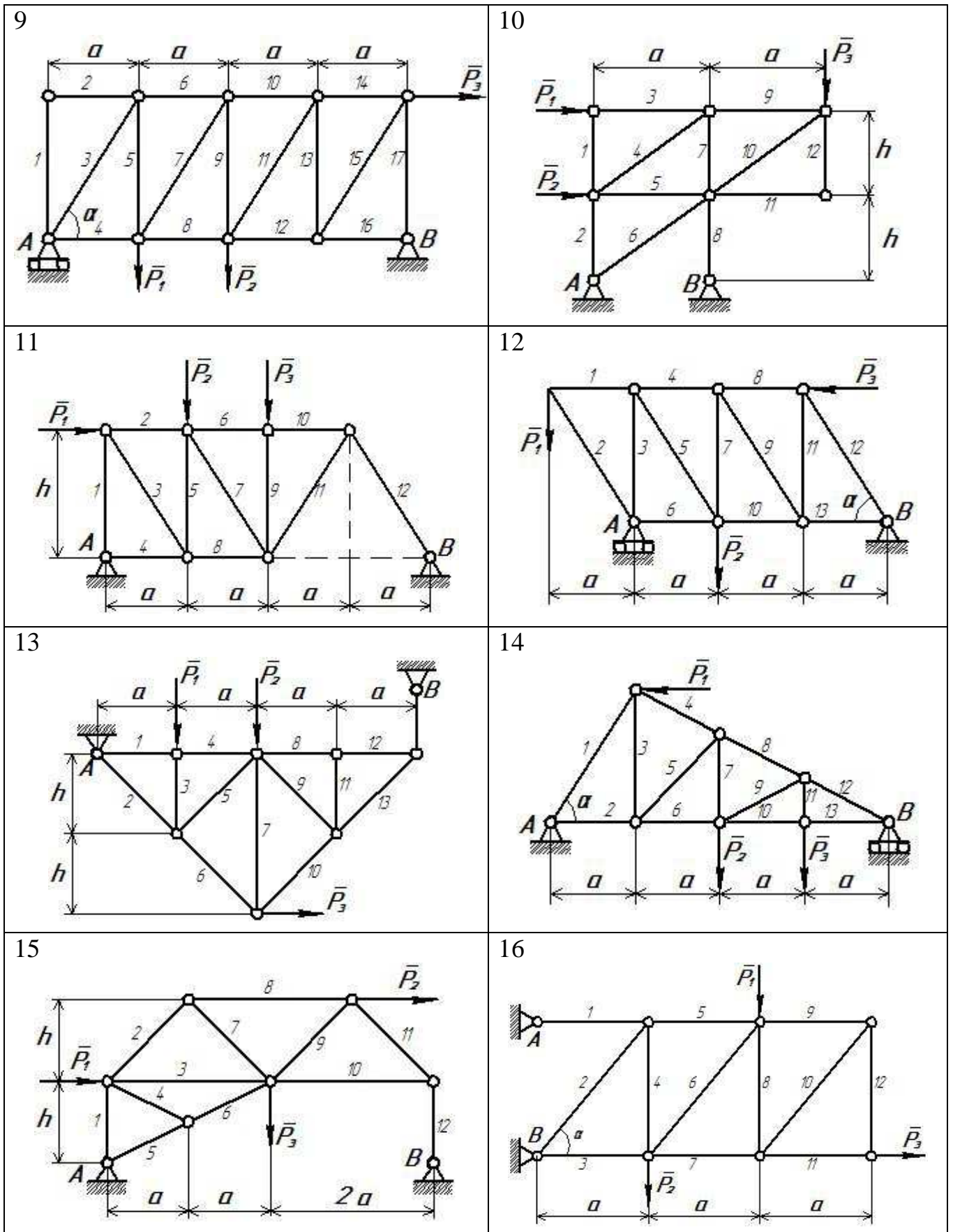


Рисунок 2

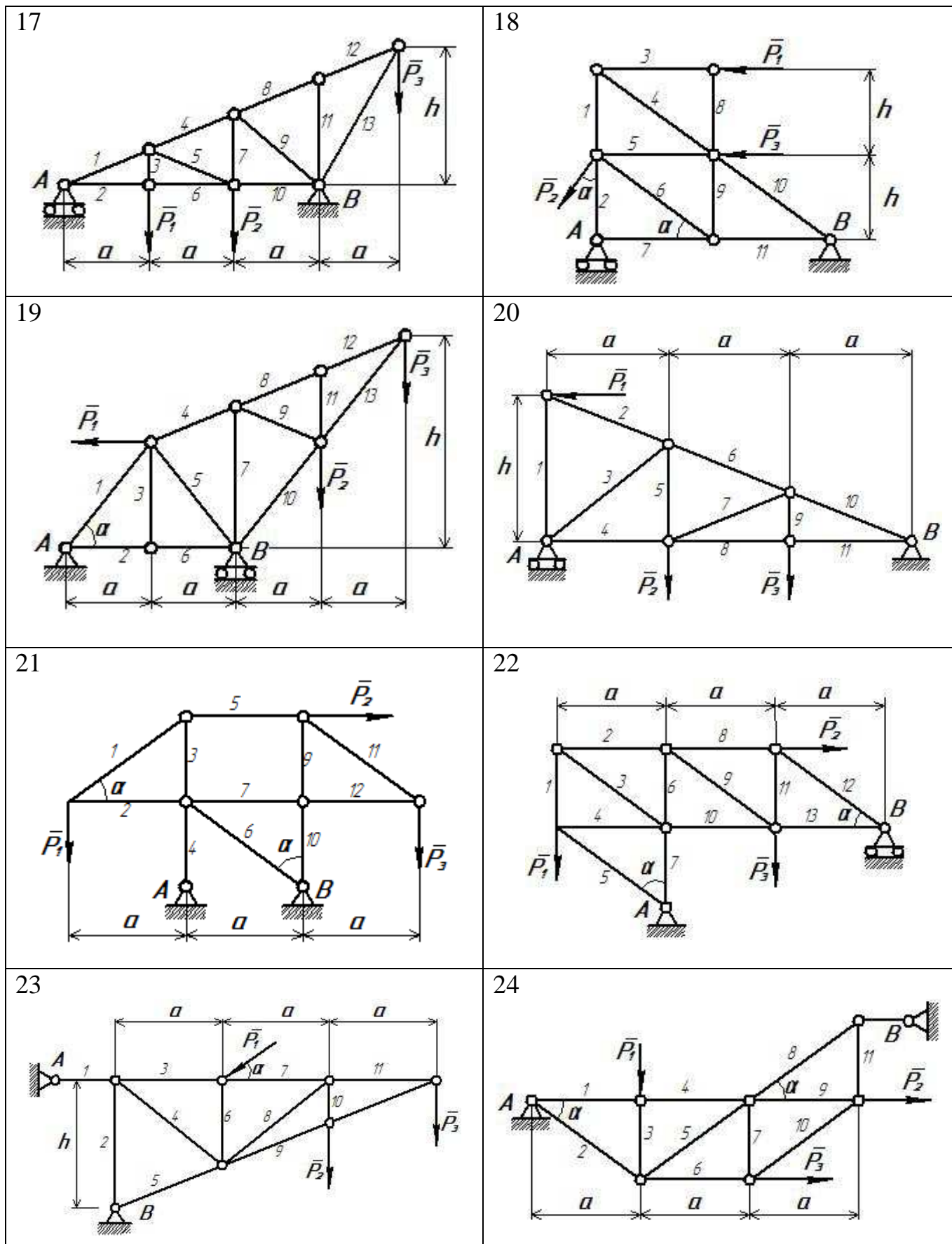


Рисунок 3

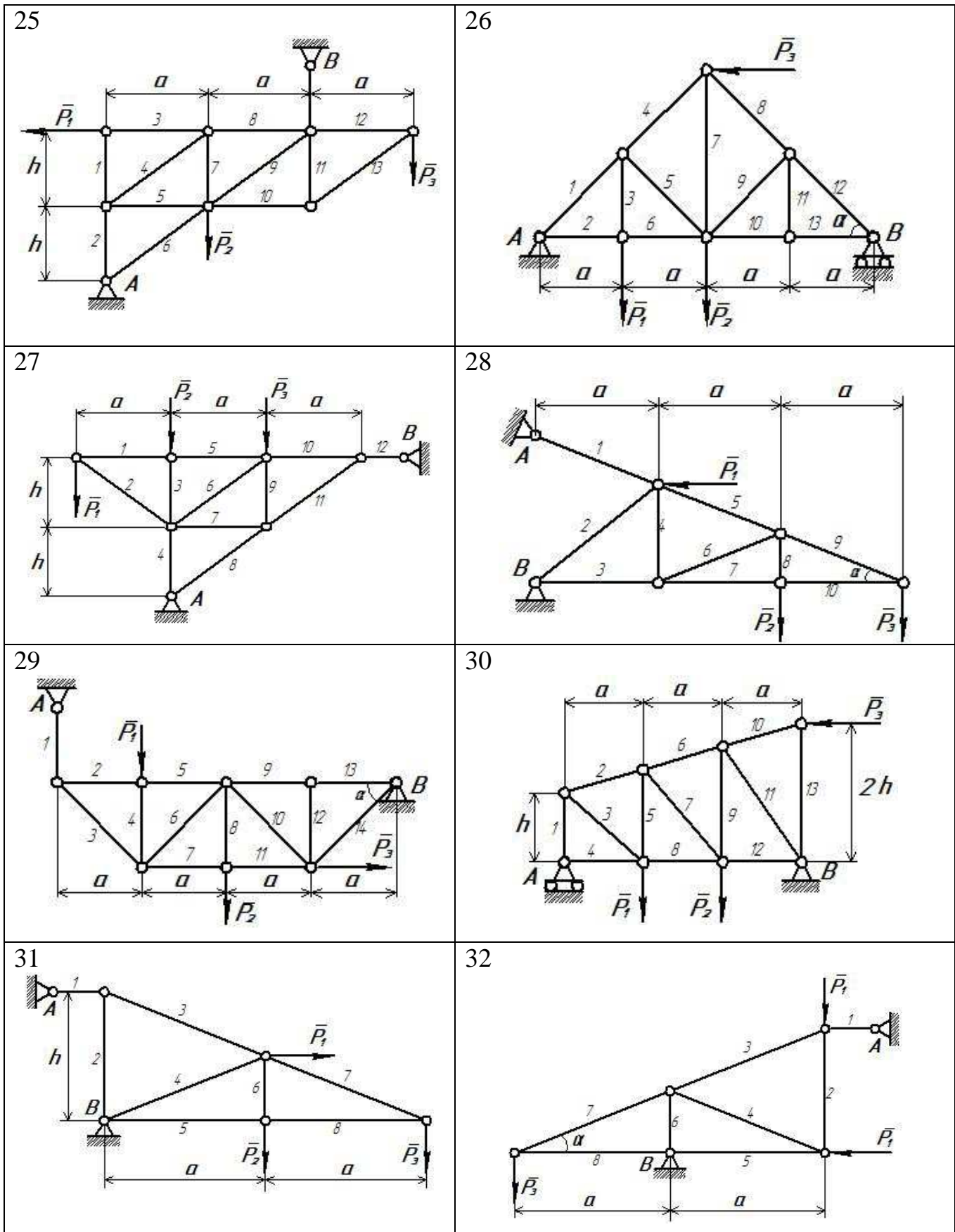


Рисунок 4

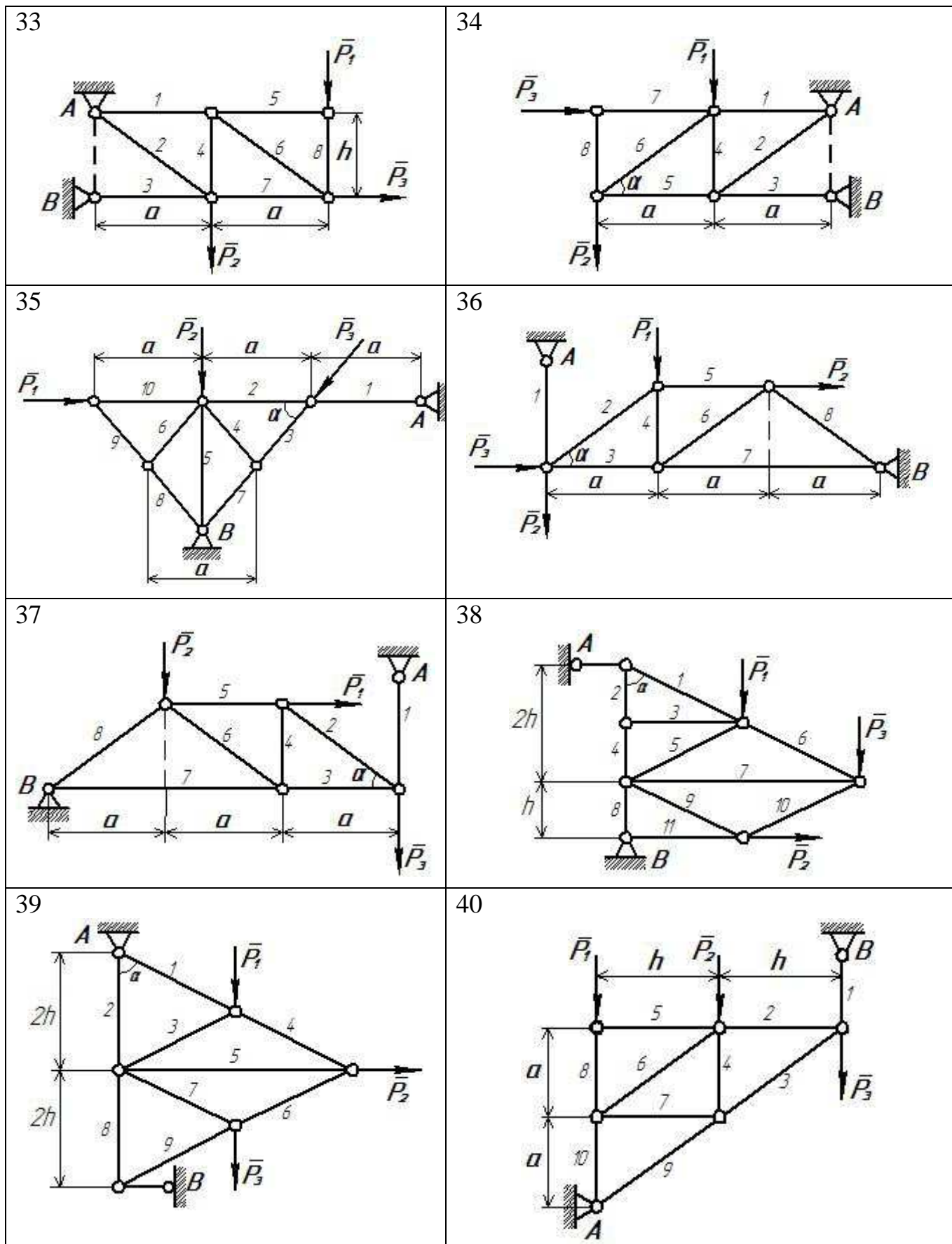
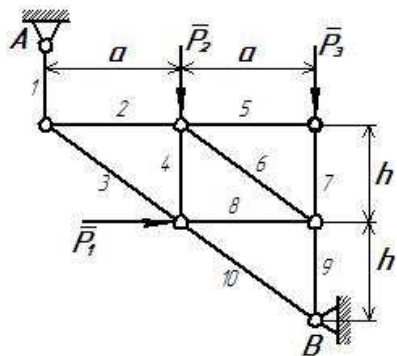
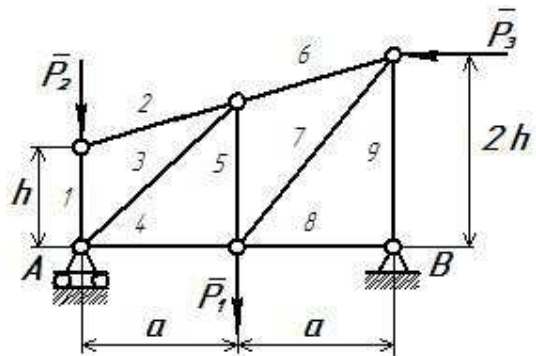


Рисунок 5

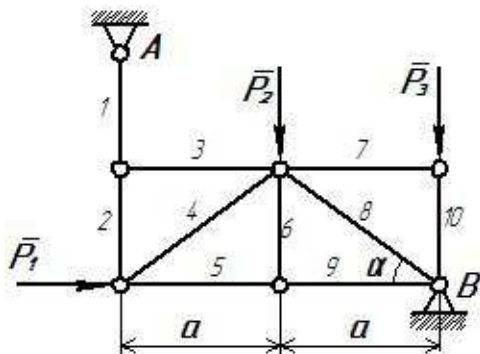
41



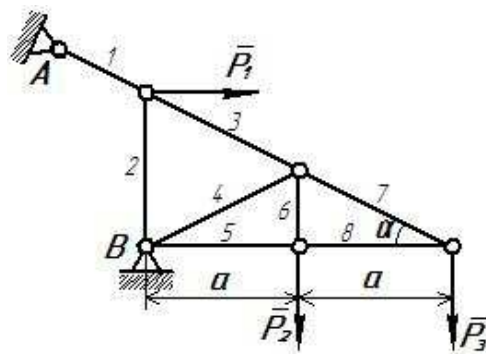
42



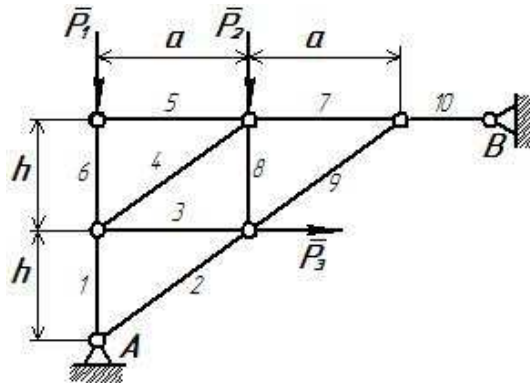
43



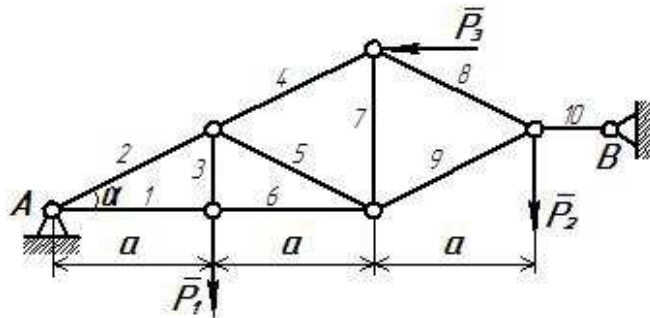
44



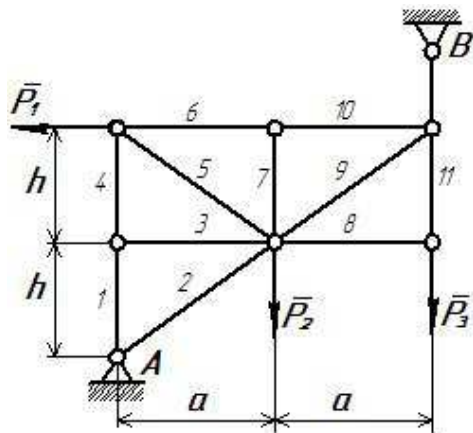
45



46



47



48

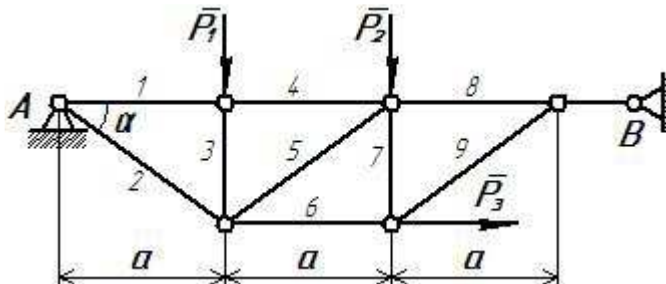


Рисунок 6

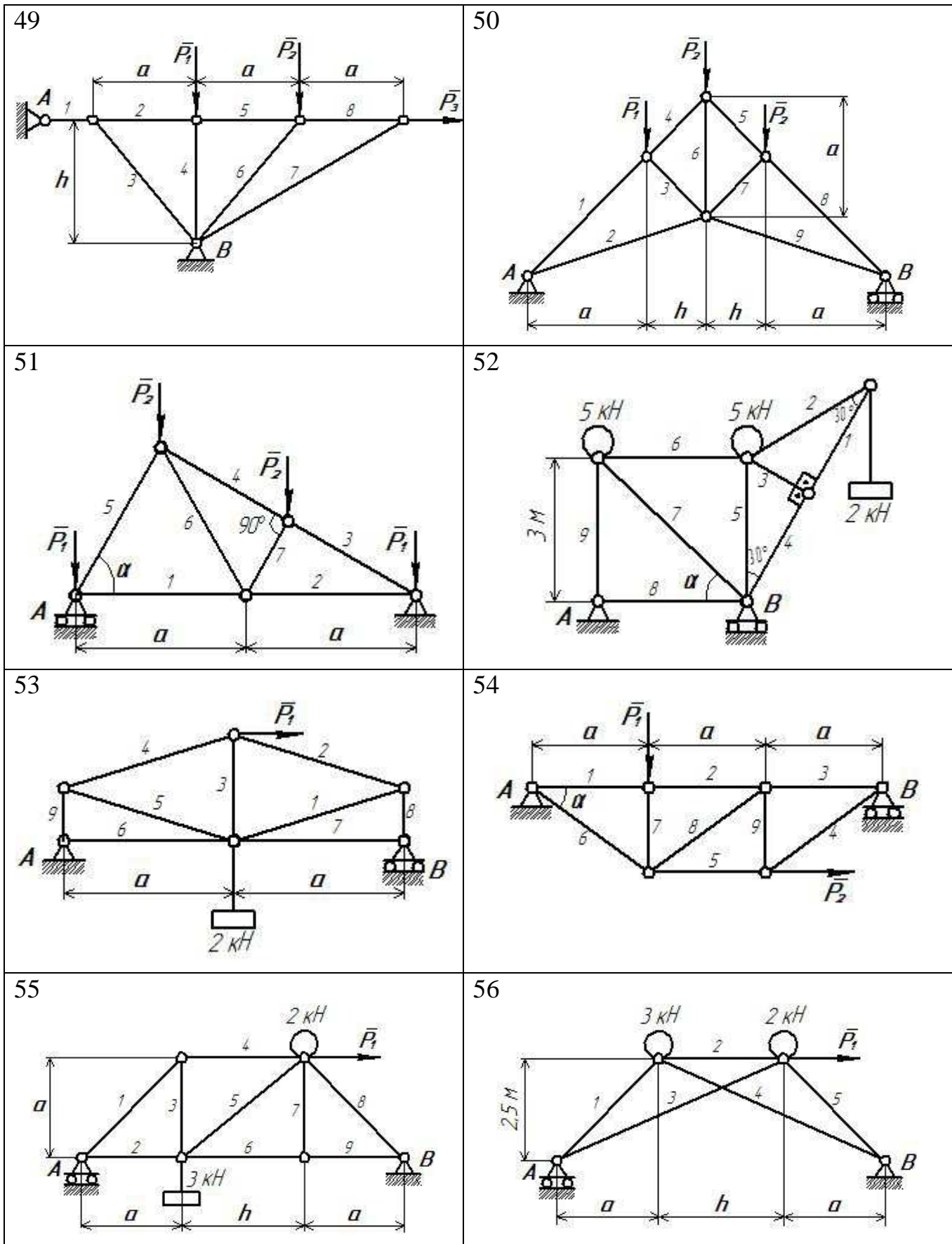


Рисунок 7

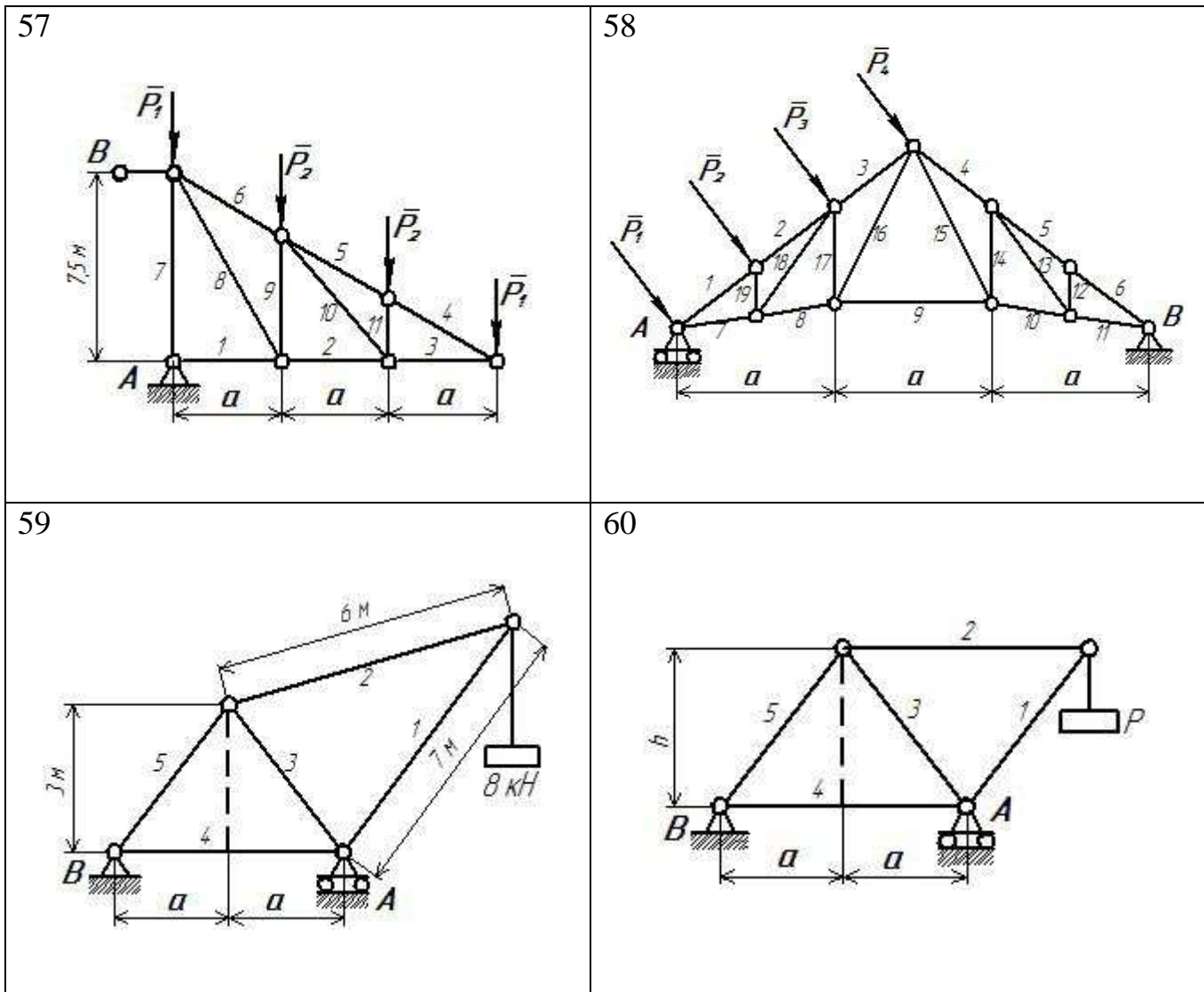


Рисунок 8

3.2 Порядок решения задач

1. Проверить условие статической определимости фермы.
2. Определить, реакции опор фермы.
3. Определить усилия в стержнях фермы способом вырезания узлов.
4. Определить усилия в трёх указанных стержнях фермы способом Риттера.

4 Пример расчета

С2. Определение реакций опор и сил в стержнях плоской фермы

Определить реакции опор фермы (рисунок 9) от заданной нагрузки, а также усилия во всех её стержнях способом вырезания узлов. Дополнительно определить в стержнях фермы № 4, 5, 10 усилия от той же нагрузки способом Риттера.

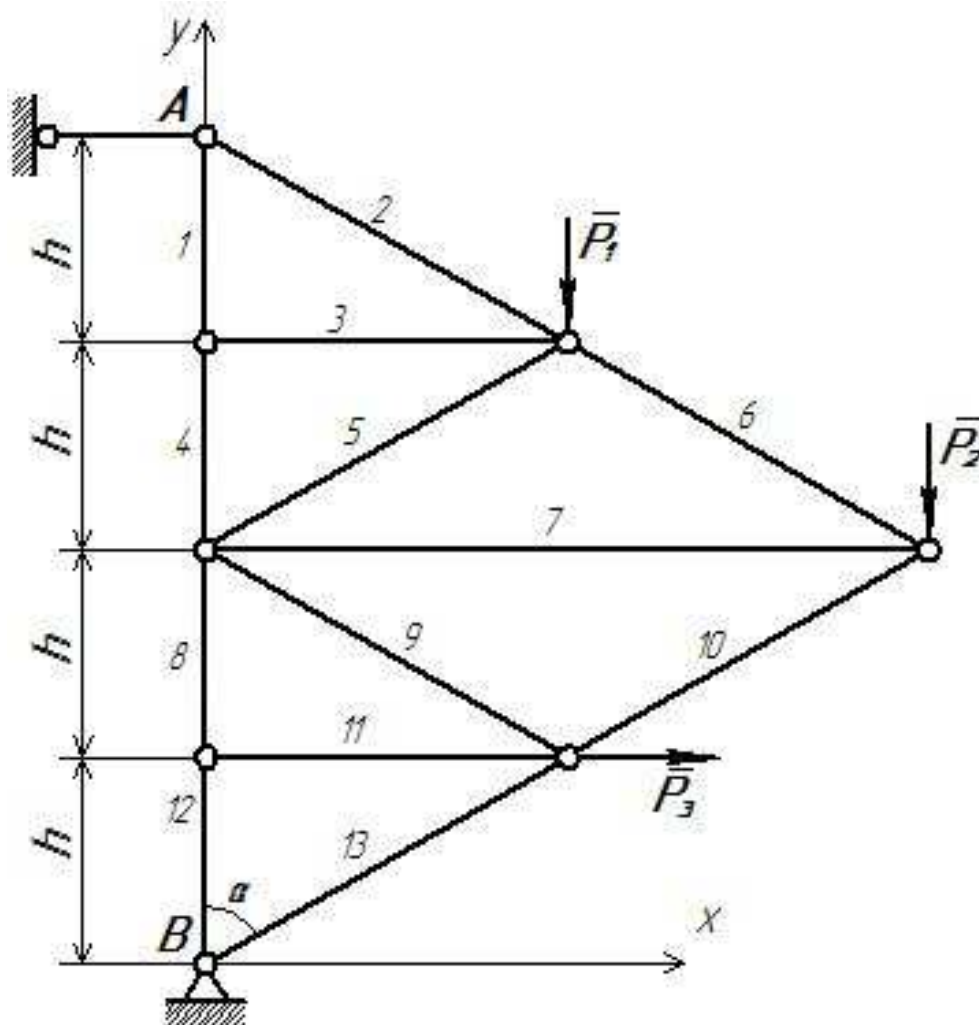


Рисунок 9

Дано: $P_1 = 2$ кН, $P_2 = 4$ кН, $P_3 = 2$ кН, $h = 2$ м, $\alpha = 60^\circ$, № 4, 5, 10

Определить: реакции опор R_A , X_B , Y_B , усилия в стержнях $S_1 \dots S_{13}$.

Решение.

1. Определение реакций опор.

Освобождаем ферму от внешних связей. Действие опор заменяем их реакциями: неподвижную шарнирную опору В заменяем двумя составляющими реакции \bar{X}_B, \bar{Y}_B , стержневую опору А – реакцией \bar{R}_A (рисунок 10).

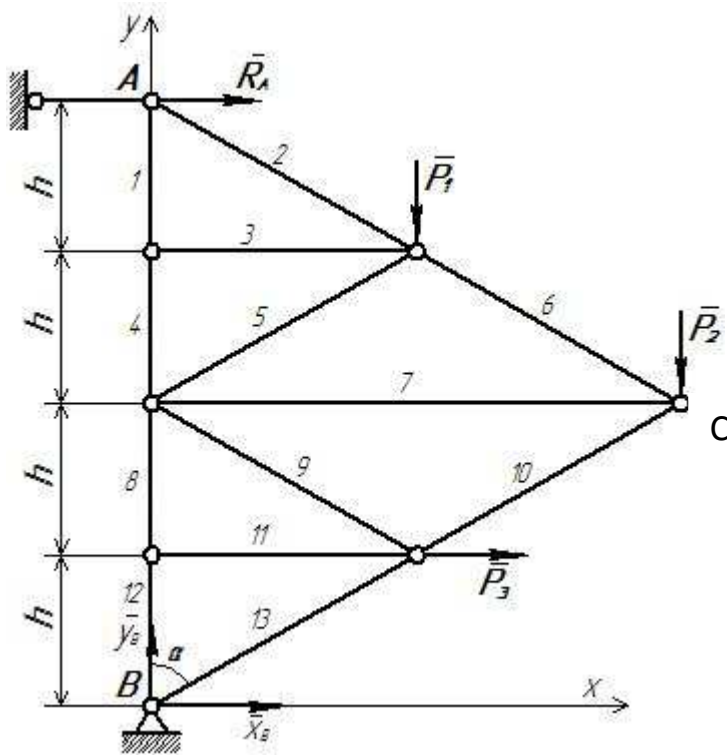


Рисунок 10

Для определения реакций опор составляем три уравнения равновесия произвольной плоской системы сил:

$$\sum F_{kx} = 0, \quad R_A + P_3 + X_B = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_{ky} = 0, \quad Y_B - P_1 - P_2 = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_B(\bar{F}_k) = 0, \quad -R_A \cdot 4h - P_3 \cdot h - P_1 \cdot h\sqrt{3} - P_2 \cdot h \cdot 2\sqrt{3} = 0 \quad (3),$$

где плечи сил P_1, P_2

$$l_7 = \sqrt{(4h)^2 - (2h)^2} = 2h\sqrt{3} \text{ (м)}$$

$$l_3 = h\sqrt{3} \text{ (м)}$$

Из уравнения (3)

$$R_A = \frac{-P_3 \cdot h - P_1 \cdot h\sqrt{3} - P_2 \cdot h \cdot 2\sqrt{3}}{4h} = \frac{-2 \cdot 2 - 2 \cdot 2\sqrt{3} - 4 \cdot 2 \cdot 2\sqrt{3}}{4h} = -4,83 \text{ кН}$$

Из уравнения (2)

$$Y_B = P_1 + P_2 = 2 + 4 = 6 \text{ кН}$$

Из уравнения (1)

$$X_B = -R_A - P_3 = 4,83 - 2 = 2,83 \text{ кН}$$

Проверка (рисунок 8):

$$\begin{aligned} \sum M_C(\bar{F}_k) &= P_3 \cdot h + P_1 \cdot \frac{2h\sqrt{3}}{2} - R_A \cdot 2h - Y_B \cdot 2h\sqrt{3} + X_B \cdot 2h = \\ &= 2 \cdot 2 + 2 \cdot \frac{2 \cdot 2\sqrt{3}}{2} + 4,83 \cdot 2 \cdot 2 - 6 \cdot 2 \cdot 2\sqrt{3} + 2,83 \cdot 2 \cdot 2 = \\ &= 41,57 - 41,57 = 0, \end{aligned}$$

следовательно, реакции опор найдены верно.

2. Определение сил в стержнях фермы способом вырезания узлов.

Стержни, сходящиеся в узле фермы, являются для узлового соединения связями. Отбросим мысленно связи и заменим их действие на узлы реакциями (рисунок 11).

Для каждого узла составим два уравнения равновесия плоской системы сходящихся сил:

Узел I:

$$\sum F_{kx} = 0, \quad R_A + S_2 \cdot \cos 30^\circ = 0 \quad (4)$$

$$\sum F_{ky} = 0, \quad -S_1 - S_2 \cdot \cos 60^\circ = 0 \quad (5)$$

Из уравнения (4)

$$S_2 = -\frac{R_A}{\cos 30^\circ} = \frac{4,83}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = 5,55 \text{ кН}$$

Из уравнения (5)

$$S_1 = -S_2 \cdot \cos 60^\circ = -5,55 \cdot \frac{1}{2} = -2,78 \text{ кН}$$

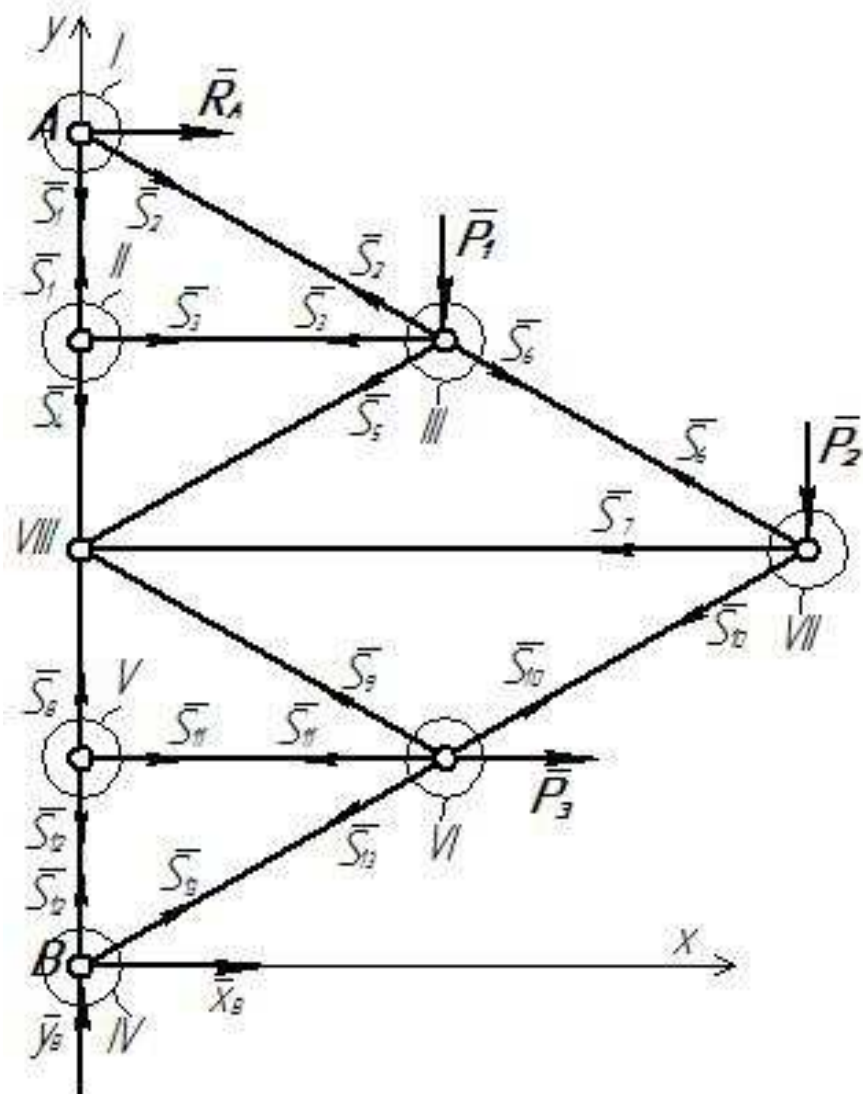


Рисунок 11

Узел II:

$$\sum F_{kx} = 0, \quad S_3 = 0 \tag{6}$$

$$\sum F_{ky} = 0, \quad S_1 - S_4 = 0 \tag{7}$$

Из уравнения (7)

$$S_4 = S_1 = -2,78 \text{ кН}$$

Из уравнения (6)

$$S_3 = 0$$

Узел III:

$$\sum F_{kx} = 0, \quad S_6 \cdot \cos 30^\circ - S_5 \cdot \cos 30^\circ - S_3 - S_2 \cdot \cos 30^\circ = 0 \quad (8)$$

$$\sum F_{ky} = 0, \quad -P_1 - S_6 \cdot \cos 60^\circ - S_5 \cdot \cos 60^\circ + S_2 \cdot \cos 60^\circ = 0 \quad (9)$$

Из уравнения (8)

$$S_6 - S_5 - S_2 = 0 \quad \Rightarrow$$

$$S_5 = S_6 - S_2 \quad (10)$$

Из уравнения (9)

$$-P_1 - S_6 \cdot \cos 60^\circ - S_5 \cdot \cos 60^\circ + S_2 \cdot \cos 60^\circ + S_2 \cdot \cos 60^\circ = 0$$

$$-P_1 - 2 \cdot S_6 \cdot \frac{1}{2} + 2S_2 \cdot \frac{1}{2} = 0$$

$$S_6 = S_2 - P_1 = 5,55 - 2 = 3,55 \text{ кН} \quad \Rightarrow$$

Из уравнения (10)

$$S_5 = S_6 - S_2 = 3,55 - 5,55 = -2 \text{ кН}$$

Узел IV:

$$\sum F_{kx} = 0, \quad X_B + S_{13} \cdot \cos 30^\circ = 0 \quad (11)$$

$$\sum F_{ky} = 0, \quad S_{12} + Y_B + S_{13} \cdot \cos 60^\circ = 0 \quad (12)$$

Из уравнения (11)

$$S_{13} = -\frac{X_B}{\cos 30^\circ} = -\frac{2,83}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = -3,25 \text{ кН}$$

Из уравнения (12)

$$S_{12} = -S_{13} \cdot \cos 60^\circ - Y_B = 3,25 \cdot \frac{1}{2} - 6 = -4,37 \text{ кН}$$

Узел V:

$$\sum F_{kx} = 0, \quad S_{11} = 0 \quad (13)$$

$$\sum F_{ky} = 0, \quad S_8 - S_{12} = 0 \quad (14)$$

Из уравнения (14)

$$S_8 = S_{12} = -4,37 \text{ кН}$$

Из уравнения (13)

$$S_{11} = 0$$

Узел VI:

$$\sum F_{kx} = 0, \quad P_3 + S_{10} \cdot \cos 30^\circ - S_9 \cdot \cos 30^\circ - S_{11} - S_{13} \cdot \cos 30^\circ = 0 \quad (15)$$

$$\sum F_{ky} = 0, \quad S_{10} \cdot \cos 60^\circ + S_9 \cdot \cos 60^\circ - S_{13} \cdot \cos 60^\circ = 0 \quad (16)$$

Из уравнения (16)

$$S_{10} = S_{13} - S_9 \quad (17)$$

Из уравнения (15)

$$P_3 + S_{13} \cdot \cos 30^\circ - S_9 \cdot \cos 30^\circ - S_9 \cdot \cos 30^\circ - S_{11} - S_{13} \cdot \cos 30^\circ = 0$$

$$P_3 - 2 \cdot S_9 \cdot \cos 30^\circ = 0$$

$$S_9 = \frac{P_3}{2 \cdot \cos 30^\circ} = \frac{2}{2 \cdot 0,87} = 1,15 \text{ кН} \quad \Rightarrow$$

Из уравнения (17)

$$S_{10} = -3,25 - 1,15 = -4,4 \text{ кН}$$

Узел VII:

$$\sum F_{kx} = 0, \quad -S_7 - S_6 \cdot \cos 30^\circ - S_{10} \cdot \cos 30^\circ = 0 \quad (18)$$

$$\sum F_{ky} = 0, \quad -P_2 + S_6 \cdot \cos 60^\circ - S_{10} \cdot \cos 60^\circ = 0 \quad (19)$$

Из уравнения (18)

$$S_7 = -\cos 30^\circ \cdot (S_6 + S_{10}) = -\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (3,55 - 4,4) = 0,74 \text{ кН}$$

Из уравнения (19)

$$-P_2 + S_6 \cdot \cos 60^\circ - S_{10} \cdot \cos 60^\circ = -4 + (3,55 + 4,4) \cdot \frac{1}{2} = 4,4 - 4,4 = 0$$

3. Определение сил в стержнях способом сечений (способом Риттера)

По способу Риттера каждая сила должна быть определена из отдельного уравнения и не должна выражаться через силы в других стержнях.

Для определения сил S_4 и S_5 мысленно разрежем ферму сечением I-I (рисунок 12).

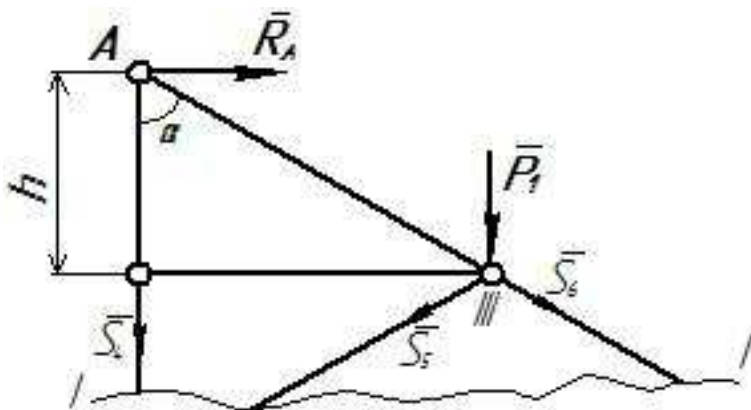


Рисунок 12

Рассматриваем равновесие сил, приложенных к верхней части фермы. Для определения S_4 составим уравнение моментов сил относительно точки III, где пересекаются линии действия сил S_5 и S_6 (точки Риттера для стержня 4):

$$\sum M_{III}(\bar{F}_k) = 0, \quad S_4 \cdot 2\sqrt{3} - R_A \cdot 2 = 0$$

$$S_4 = -\frac{4,89}{\sqrt{3}} = -2,78 \text{ кН}$$

Для определения S_5 , чтобы исключить из уравнения усилия S_4 и S_6 , составим уравнение моментов сил относительно точки А:

$$\sum M_A(\bar{F}_k) = 0, \quad -S_5 \cdot 2\sqrt{3} - P_1 \cdot 2\sqrt{3} = 0$$

$$S_5 = -P_1 = -2 \text{ кН.}$$

Для определения силы S_{10} проведем сечение II-II. Рассмотрим равновесие сил, приложенных к нижней части фермы (рисунок 13).

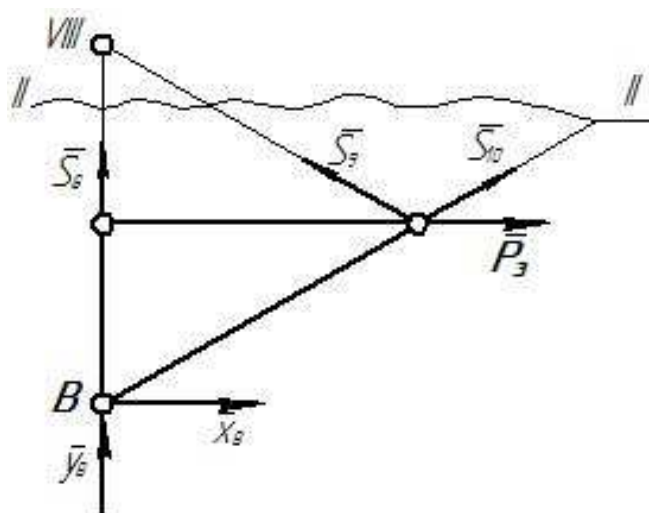


Рисунок 13

Точкой Риттера для стержня 10 является узел VIII, где пересекаются линии действия сил S_9 и S_8 , исключаемых из уравнения:

$$\sum M_{VIII}(\bar{F}_k) = 0, \quad S_{10} \cdot 2\sqrt{3} + P_3 \cdot 2 + X_B \cdot 4 = 0$$

$$S_{10} = \frac{-4 - 11,32}{2\sqrt{3}} = -4,4 \text{ кН.}$$

Результаты расчета приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2.

Реакция связи	R_A	Y_B	X_B
Сила, кН	-4,83	6	2,83

Таблица 3.

№ стержня	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Сила, кН	-2,78	5,55	0	-2,78	-2	3,55	0,74	-4,37	1,15	-4,4	0	-4,37	-3,25
Сила, определенная по способу Риттера, кН	-	-	-	-2,78	-2	-	-	-	-	-4,4	-	-	-

Знаки указывают, что стержни 1, 4, 5, 8, 10, 12, 13 сжаты, стержни 2, 6, 7, 9 растянуты, стержни 3, 11 не нагружены (*нулевые стержни*).

5 Литература, рекомендуемая для изучения дисциплины

1 Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике: учебное пособие для студ. вузов /А.А. Яблонский [и др.]; под общ. ред. А.А. Яблонского. - 11-е изд., стер.-М.;Интеграл-Пресс, 2010.-382 с.

2 Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики: учеб. для вузов/С.М.Тарг.-15-е изд., стер.-М.:Высш. шк.,2010.- 416 с.

3 Бутенин, Н.В. Курс теоретической механики: учебное пособие для студ. вузов по техн. спец. В 2 т. / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. 5-ое изд.,–испр. СПб.:Лань, 1998. - Т.2 - 729 с.

4 Бать, М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах: учеб. пособие для вузов: в 2 т. /М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон.-9-е изд., перераб.- М.:Наука, 1990. - Т.2 - 670 с.

Помимо указанных в списке, могут быть использованы любые учебники и пособия по теоретической механике.

Список использованных источников

1 Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике: учебное пособие для студ. вузов /А.А. Яблонский [и др.]; под общ. ред. А.А. Яблонского. - 11-е изд., стер.-М.;Интеграл-Пресс, 2010.-382 с.

2 Бать, М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах: учеб. пособие для вузов: в 2 т. /М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон.-9-е изд., перераб.-М.:Наука, 1990. - Т.1 - 670 с.

3 Сборник коротких задач по теоретической механике: учебное пособие для вузов / О.Э. Кепе [и др]; под ред. О.Э.Кепе. – М.: Высш. шк., 1989. – 368 с.

4 Попов, М.В. Теоретическая механика: Краткий курс: учебник для вузов / М.В. Попов. – М.: Наука, 1986. – 336 с.

5 Дырдина, Е.В. Теоретическая механика в таблицах и схемах: учебное пособие для студ.: в 2 ч. /Е.В. Дырдина, Т.И. Коршунова. – Оренбург: ОГУ, 2001. – Ч.1 – 40 с.