

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

“Будівельна механіка”

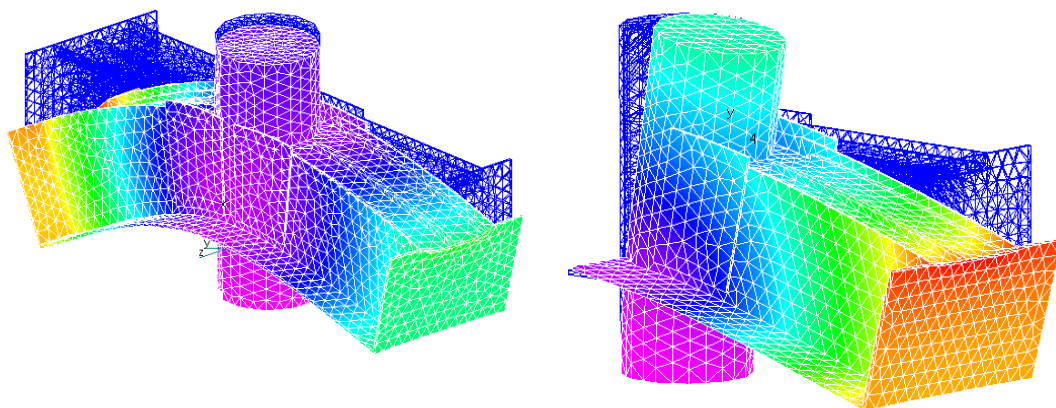
Методичні рекомендації

**до виконання розрахунково – проектувального завдання РПЗ№2
"Розрахунок плоскої статично визначеної ферми"**

для самостійної роботи

**здобувачів освіти освітнього рівня "бакалавр"
спеціальності**

**192 "Будівництво та цивільна інженерія"
усіх форм навчання**



Кропивницький 2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

“Будівельна механіка”

Методичні рекомендації

**до виконання розрахунково – проектувального завдання РПЗ№2
"Розрахунок плоскої статично визначеної ферми"**

здобувачів освіти освітнього рівня "бакалавр"
спеціальності
192 "Будівництво та цивільна інженерія"
усіх форм навчання

“Затверджено”
на засіданні кафедри “Будівельних,
дорожніх машин і будівництва”
Протокол № 1 від 18.08.2020 р.

Кропивницький 2020

Рецензент

кандидат технических наук, доцент В.В. Яцун

УДК 624.04: (075.8)

“Будівельна механіка”. Методичні рекомендації до виконання розрахунково – проектувального завдання РПЗ№2 "Розрахунок плоскої статично визначеної ферми" для здобувачів освіти освітнього рівня "бакалавр" спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" усіх форм навчання (російськ.).

/ Укл.: Портнов Г.Д., Пукалов В.В., Тихий А.А. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 30 с.

Введение

Методические указания составлены с целью облегчения самостоятельной работы соискателей высшего образования при выполнении расчетно-графического задания на тему: «Расчет плоской статически определимой фермы» по строительной механике.

Перед выполнением работы соискатель высшего образования должен изучить следующие теоретические вопросы:

- кинематический анализ фермы;
- определение опорных реакций аналитическим способом;
- нулевые стержни и их выявление в схеме фермы;
- аналитические способы определения внутренних усилий;
- определение усилий по линиям влияния.

При разработке методических указаний использовались материалы /4/, /5/, /8/.

1. Требования к выполнению задания

1. Исходные данные к выполнению задания принимаются, исходя из наименования группы (Таблица 1) и порядкового номера (см. рис. 1 ... 3) по указанию преподавателя.

2. Работы выполняются (варианты):

2.1 Вариант 1: на стандартных листах писчей бумаги (формата А4) на одной стороне листа (другая остается чистой для возможных исправлений) или в тетради; на обложке должны быть указаны: фамилия, имя и отчество соискателя высшего образования (полностью), название факультета, шифр группы. Задание следует выполнять чернилами (не красными) четким почерком с полями: слева – 20 мм, справа – 10 мм. Рисунки выполняются карандашом или чернилами.

2.2 Вариант 2: распечатка файла Word с использованием средств графики ПК на бумажном носителе.

3. Работа должна содержать тему задания, техническое задание с числовыми данными, расчетную схему в масштабе с числовым указанием величин, необходимых для расчета.

4. Решение должно сопровождаться краткими, без сокращения слов, объяснениями и чертежами, на которых все входящие в расчет величины должны быть показаны в числах.

5. При вычислениях в формулы подставляются значения входящих в них параметров в системе СИ, а затем приводятся окончательные результаты с указанием единиц измерения найденных величин.

6. Расчет выполнять с тремя значащими цифрами после запятой.

7. Эпюры, линии влияния и другой графический материал должны выполняться в соответствии с требованиями ЕСКД (единой системы конструкторской документации). На всех эпюрах и линиях влияния необходимо указывать масштаб, знаки и числовые значения характерных ординат. Штриховка эпюр и линий влияния выполняется перпендикулярно осям стержней.

8. После проверки преподавателем расчетного задания соискатель высшего образования исправит в нем все отмеченные ошибки.

2. Техническое задание

Для заданной статически определимой простейшей плоской фермы, схемы нагружения которой приведены на рис. 1 3, а исходные данные представлены в таблице требуется:

1. Произвести кинематический анализ.
2. Определить усилия в стержнях опорной и одной из средних панелей аналитически.
3. Построить линии влияния усилий для стержней одной из средних панелей.

4. По линиям влияния определить внутренние силовые факторы в заданных стержнях и сопоставить их со значениями на соответствующих эпюрах.

5. Выполнить расчет фермы на ПК с применением программы ЛИРА или SCAD. Результаты расчета представить в виде отчета (опция программы).

Таблица 1

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
к расчетно-проектировочному заданию
«Расчет статически определимой фермы»

Номер	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	a	h	α
1	20	20	20	20	30	2	-	-
2	20	20	20	40	-	2	-	45
3	10	20	20	20	-	2	6	-
4	10	30	50	-	-	2	-	-
5	20	20	20	20	-	2	-	30
6	10	20	10	10	20	2	-	30
7	20	10	20	-	-	2	-	30
8	10	20	30	-	-	2	6	-
9	10	20	30	-	-	2	-	-
1	20	10	10	20	-	2	-	45
1	10	20	40	-	-	2	-	45
1	10	20	30	30	-	2	6	-
1	10	10	10	20	-	2	-	45
1	10	10	10	10	-	2	-	-
1	10	20	10	-	-	2	1	-
1	10	20	20	30	-	2	-	-
1	10	20	20	-	-	2	5	-
1	10	40	20	20	-	2	2	-
1	10	10	40	20	-	2	4	-
2	10	40	20	-	-	2	-	-
2	10	20	10	40	-	2	4	-
2	10	10	20	30	-	2	-	-
2	5	10	10	40	20	2	-	-
2	10	20	20	20	-	2	2	-
2	10	20	20	-	-	2	4	-
2	10	20	20	-	-	2	4	-
2	10	20	10	-	-	2	4	-
2	20	20	10	-	-	2	-	-
2	10	20	20	40	-	2	4	-
3	10	10	20	30	30	2	-	-

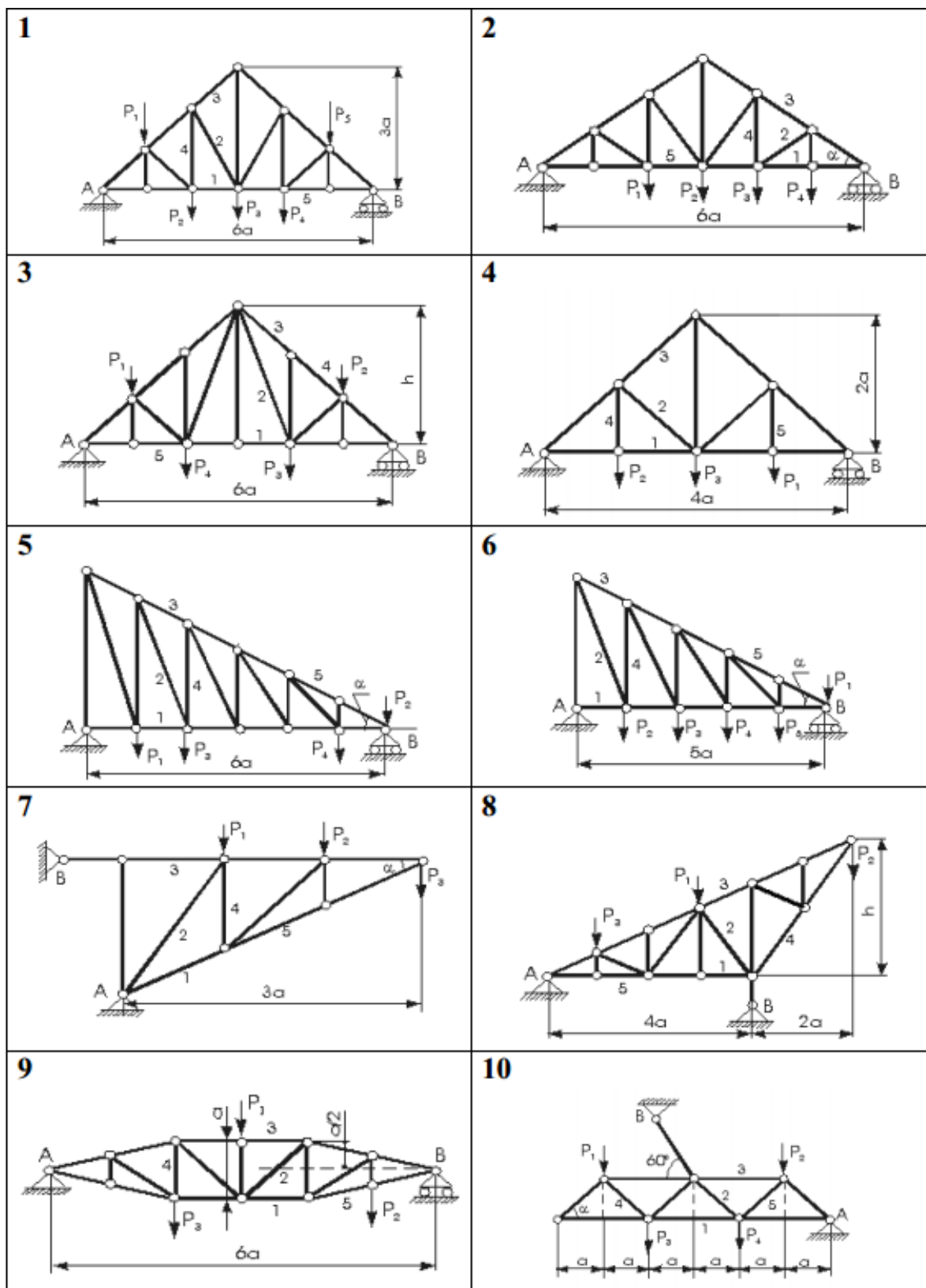


Рисунок 1

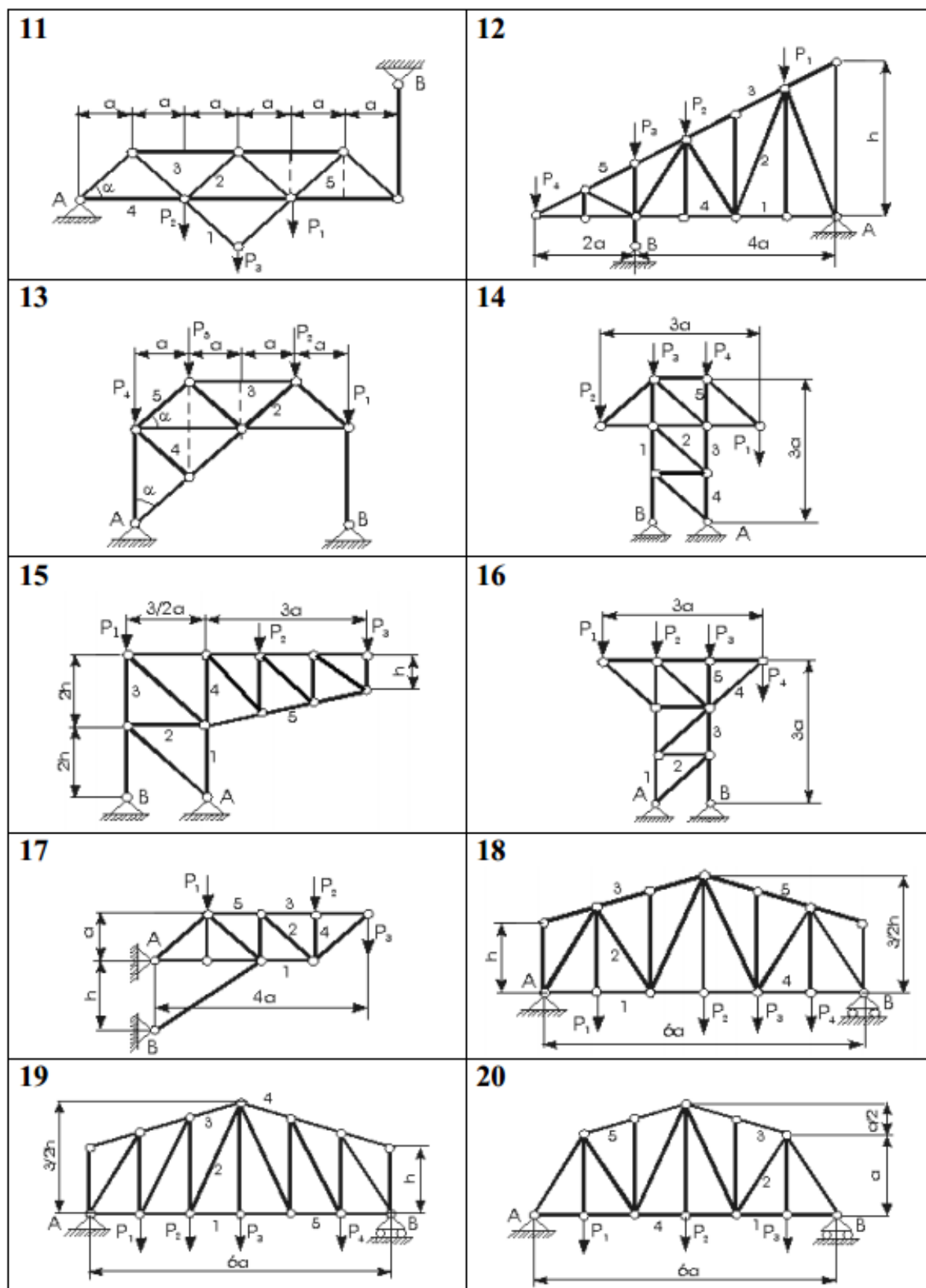


Рисунок 2

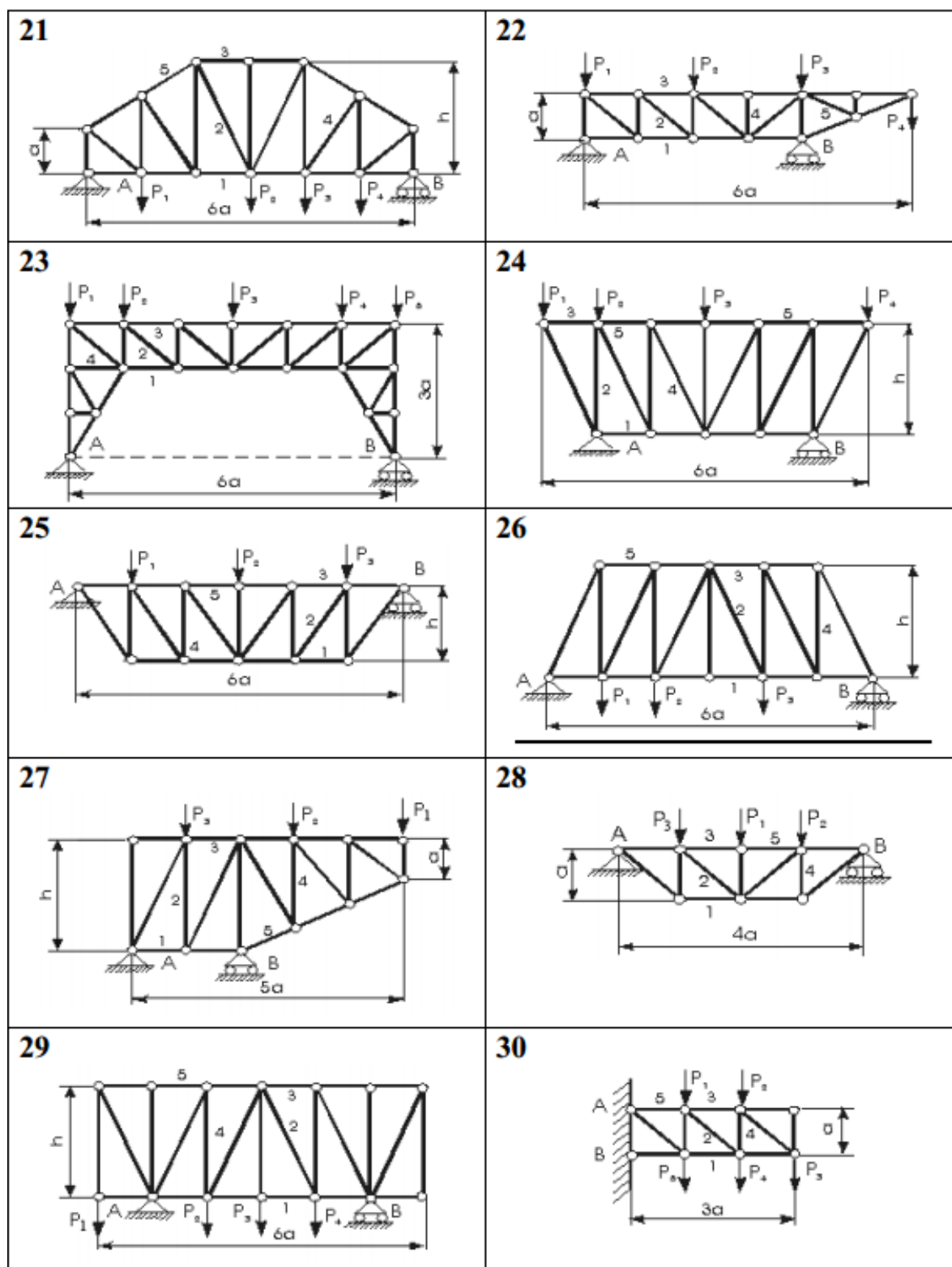


Рисунок 3

3. Теоретическая часть

Ферма – сквозная геометрически неизменяемая конструкция, составленная из стержней, соединяющихся между собой в узлах идеально гладкими шарнирами, оси стержней проходят через геометрические центры шарниров. При этом приложенная нагрузка собирается в узлы, вследствие которых в сечениях элементов ферм не возникают поперечные силы и изгибающие моменты, и стержень работает только на продольные усилия, т.е. растяжение или сжатие. На рисунке 4 показаны основные элементы ферм.

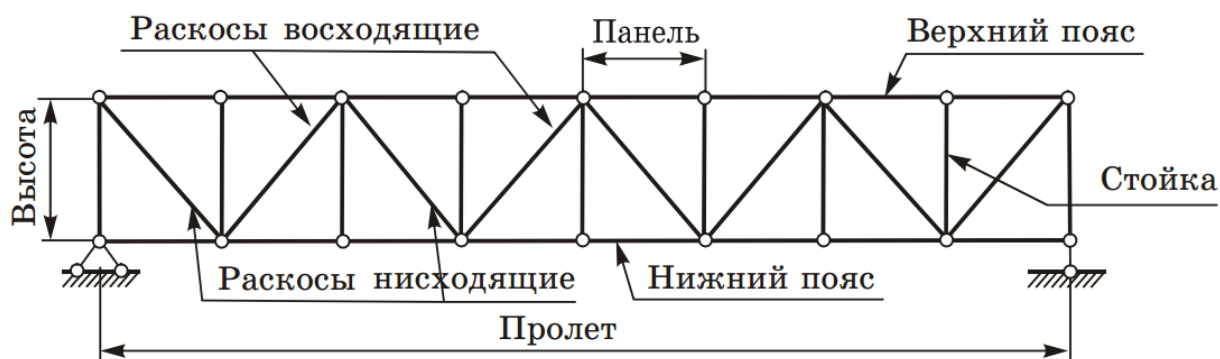


Рисунок 4

3.1 Кинематический анализ

Ферма, применяемая в строительстве, должна проектироваться так, чтобы быть геометрически неизменяемой и неподвижно прикрепленной к земле.

Чтобы убедиться в неизменяемости фермы, проводят кинематический анализ. При этом основными понятиями являются диск – неизменяемый элемент сооружения и число степеней свободы W – число независимых геометрических параметров, определяющих положение диска или сооружения на плоскости.

Кинематический анализ состоит из следующих этапов:

а) определение числа степеней свободы W системы и проверка необходимого аналитического условия неизменяемости;

б) структурный анализ сооружения и проверка достаточного условия неизменяемости.

3.1.1 Диски и способы их соединения.

Простейшим диском является шарнирный треугольник. Присоединяя к нему узлы с помощью двух стержней, оси которых не лежат на одной прямой, можно образовать новую более сложную геометрически неизменяемую систему (рис. 5, а).

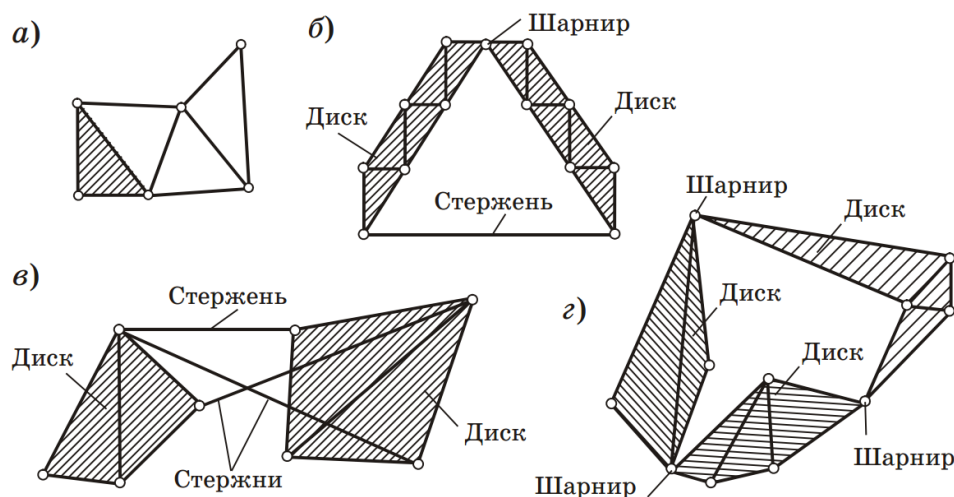


Рисунок 5

Фермы, образованные подобным образом, называются *простейшими*.

Другие типы ферм могут быть получены путем соединения простейших с учетом правил неизменяемого соединения дисков.

Два диска на плоскости образуют геометрически неизменяемую систему при помощи:

а) шарнира и стержня, ось которого не проходит через шарнир (рис. 5, б);

б) трех не параллельных и не пересекающихся в одной точке стержней (рис. 5, в).

Три диска на плоскости образуют геометрически неизменяемую систему при помощи:

- а) трех простых шарниров, не лежащих на одной прямой (рис. 5, г);
- б) шести стержней (трех пар), причем точки пересечения пар не должны лежать на одной прямой;
- в) соответствующего количества шарниров и стержней (один шарнир и четыре стержня; два шарнира и два стержня).

3.1.2 Число степеней свободы

Число степеней свободы ферм W удобно вычислять по следующей формуле:

$$W = 2U - C, \quad (1)$$

где U - число узлов фермы;

C - число всех стержней фермы, включая опорные.

Если число степеней свободы $W > 0$, то ферма не имеет достаточного для геометрической неизменяемости количества связей и является геометрически изменяемой (механизмом).

Аналитическое условие неизменяемости

$$W \leq 0.$$

При $W = 0$ ферма имеет минимально необходимое для геометрической неизменяемости количество связей и при правильной их расстановке является геометрически неизменяемой и статически определимой.

При $W < 0$ ферма имеет лишние связи и при правильной их расстановке является геометрически неизменяемой и статически неопределимой.

Если ферма рассчитывается без связи с основанием (без опорных стержней), то условие геометрической неизменяемости будет следующим:

$$C = 2U - 3, \quad (2)$$

где C - число стержней фермы.

Равенство нулю числа степеней свободы какой-либо стержневой системы является необходимым, но еще недостаточным условием ее неизменяемости, поэтому следующий этап проведения кинематического анализа - *структурный анализ*.

3.1.3 Структурный анализ

Структурный анализ можно проводить несколькими способами.

При первом в исследуемой ферме отбрасывают последовательно узлы с двумя стержнями, и если в результате останется треугольник, то система геометрически неизменяема.

При втором способе из фермы выделяют жесткие диски и рассматривают их соединение. Если они соединены по указанным выше правилам, то система геометрически неизменяема.

Например, ферма, изображенная на рис. 6, а, статически определима и, возможно, геометрически неизменяема.

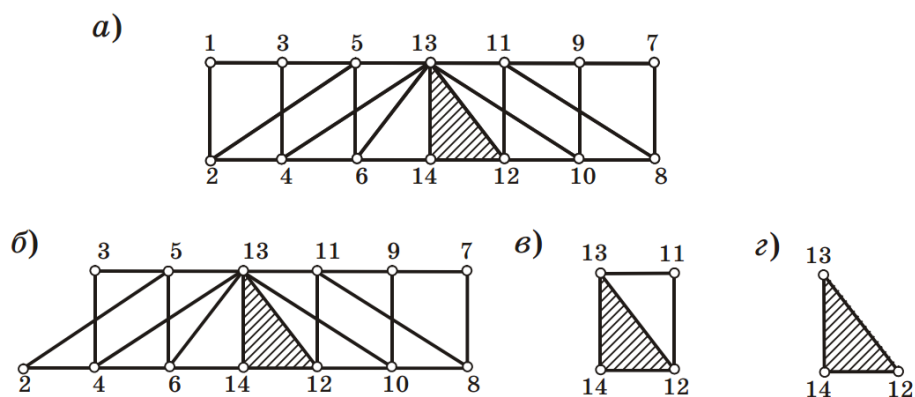


Рисунок 6

Число ее узлов $Y = 14$, число стержней $C = 25$.

Согласно (2) $2Y - 3 = 2 \cdot 14 - 3 = 25$,

$$C = 2Y - 3$$

Исследуем структуру данной фермы. Отбрасываем последовательно узлы 1, 2, ..., 11 (рис. 6, б, в) с двумя стержнями и убеждаемся, что, в конечном счете, остается треугольник 12-13-14 (рис. 6, г).

Вывод: система геометрически неизменяема.

3.2 Нулевые стержни фермы и их выявление

Ферма, находящаяся под действием внешних нагрузок, может иметь ненагруженные элементы, в которых усилия равны нулю. Такие стержни называются **нулевыми**, но это не означает что они не нужны, при других схемах загрузки они могут включаться в работу.

Нулевые стержни могут быть выявлены на этапе предварительного анализа, что упрощает последующие расчеты.

Признаки определения нулевых стержней:

1. Если к узлу с двумя стержнями, не лежащими, на одной прямой, не приложена внешняя нагрузка, то усилия в них равны нулю (рис. 7,а);

2. Если в узле сходятся три стержня, две из которых лежат на одной прямой и нагрузка в узле отсутствует, то в третьем стержне, расположенном под углом к этой прямой, усилие равно нулю (рис. 7,б);

3. Если в узле сходятся два стержня, а нагрузка направлена вдоль оси одного из них, то усилие на другой равен нулю (рис. 7,в).

4.

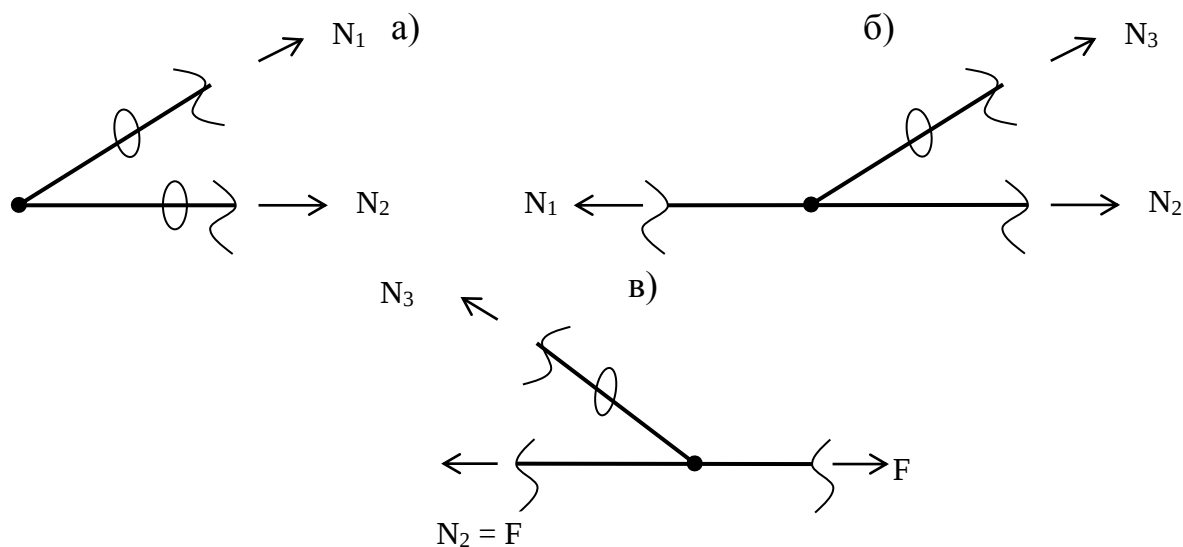


Рисунок 7.

3.3 Аналитическое определение продольных усилий в стержнях фермы

Аналитический расчет начинается с определения опорных реакций, перед расчетом для удобства наклонные силы можно разложить на вертикальные и горизонтальные составляющие, а распределенные нагрузки на узловые.

Имеется три основных способа расчета:

1. Вырезание узлов;
2. Моментных точек;
3. Проекций.

3.3.1 Способ вырезания узлов

Вокруг узла мысленно выполняется замкнутое сечение. Рассеченные стержни заменяются внутренними усилиями, после чего составляются уравнения равновесия узла.

Так как узел находится в равновесии под действием сходящейся системы сил, то для него можно составить только два уравнения равновесия:

$$\sum x=0; \sum y=0.$$

Поскольку для каждого узла можно составить два уравнения, нужно выявить такую последовательность вырезания узлов, при которой на каждом этапе определяются не более двух неизвестных усилий. Поэтому начинать расчет следует с узла, в котором сходится не более двух стержней. Усилия, найденные из расчета предыдущего узла, передаются на рассматриваемый узел как известные с учетом полученных знаков.

Правило знаков: если усилие направлено от узла, то оно положительно (со знаком «+»), если – к узлу, то отрицательно (со знаком «-»).

Положительные усилия вызывают растяжение стержней, отрицательные – сжатие.

3.3.2 Способ моментных точек

Способ моментных точек является одним из наиболее целесообразных способов определения усилий в отдельных стержнях ферм, так как он дает возможность определить их независимо от усилий в других стержнях. В наиболее простом виде этот способ применим к фермам, в которых возможно провести разрез только через три стержня.

Для определения усилий в стержнях ферма разрезается на две части, и для одной из частей составляется уравнение моментов сил относительно точки, лежащей на пересечении осей двух стержней, через которые проведено сечение. Точка пересечения осей двух стержней, относительно которой составляется уравнение моментов, называется *моментной*.

Например, для фермы, показанной на рис.8, проведем сечение 1-1 для определения усилий в стержнях 2-4, 3-4 и 3-5. Для определения усилия N_{35} находим *моментную точку* - точку пересечения осей стержней 2-4 и 3-4. Такой точкой является в данном случае узел 4.

Составляем сумму моментов всех сил, действующих на левую отсеченную часть фермы относительно узла 4 ($\sum M_4 = 0$). В уравнение войдут реакции R_{1x} и R_{1y} , внешняя сила P_2 и неизвестное продольное усилие N_{35} . Из полученного уравнения определяется величина продольного усилия N_{35} . Плечом усилия N_{35} является длина перпендикуляра h_{35} к направлению оси стержня 3-5.

Для определения усилия N_{34} находим *моментную точку*, точку пересечения осей стержней 2-4 и 3-5. Такой точкой является в данном случае точка В (рис.9).

Составляем сумму моментов всех сил, действующих на левую отсеченную часть фермы относительно точки В ($\sum M_B = 0$). В уравнение войдут реакции R_{1x} и R_{1y} , внешняя сила P_2 и неизвестное продольное усилие N_{34} . Из полученного уравнения определяется величина продольного усилия N_{34} . Плечом усилия N_{34} является длина перпендикуляра h_B к направлению оси стержня 3-4.

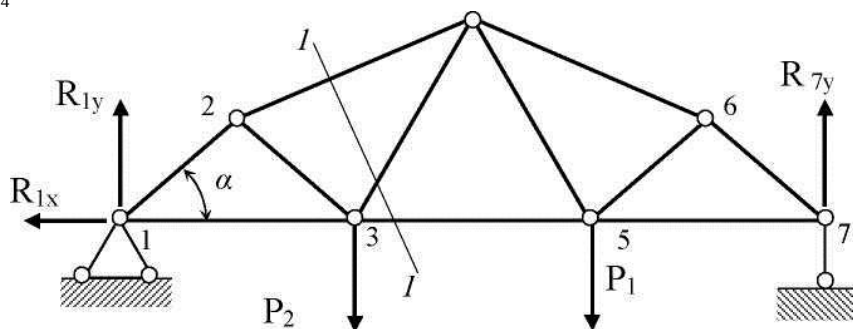


Рисунок 8

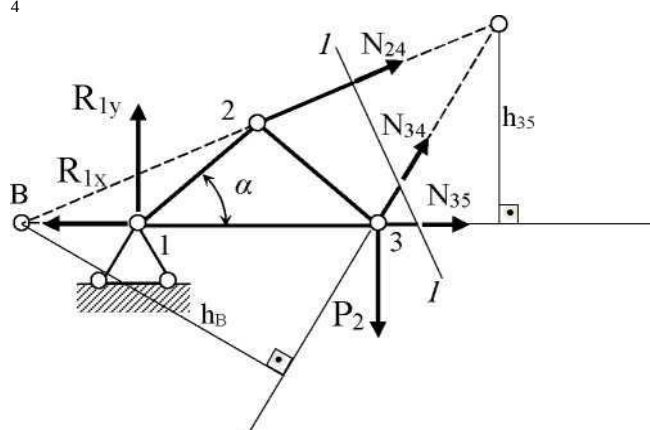


Рисунок 9

Для определения усилия N_{24} моментной точкой будет являться узел 3.

3.3.3 Метод проекций.

В тех случаях, когда моментная точка находится на бесконечности, то есть если два стержня из трех рассеченных параллельны, уравнения равновесия составляются из условия равенства нулю проекций всех сил, действующих на левый или правый диски, на ось, перпендикулярную к этим двум стержням. Из уравнения находится усилие в третьем стержне.

При расчете плоских ферм все эти способы применяются комбинированно, так как у каждого из них свои достоинства.

3.4 Расчет по линиям влияния

Для построения линии влияния усилия в каком-либо стержне фермы необходимо составить аналитическое выражение усилия как функции положения вертикальной силы $P=1$, движущейся по ферме. Затем аналитическое выражение усилия показывается в виде графика (линии влияния).

Для определения усилий в стержнях ферм используются способы сечений и вырезания узлов. При использовании способа сечений ферма после удаления стержней, пересекаемых сечением, расчленяется на два диска – левый (по отношению к разрезанной панели) и правый. Поэтому прямолинейные участки в пределах левого и правого дисков соответственно называются левой и правой ветвями линии влияния. Третий прямолинейный участок линии влияния (в пределах разрезанной панели) строится исходя из предположения, что единичный груз в этом случае перемещается по вспомогательной (передаточной) балке (узловая передача нагрузки), опирающейся на узлы фермы, ограничивающие разрезанную панель. Этот участок называется передаточной прямой.

Если для определения усилия используется способ вырезания узлов, то разрезанными оказываются одна-две панели одного пояса. Поэтому следует выделить три характерных участка линии влияния – вне вырезанного узла и вне разрезанных панелей; ординату линии влияния, соответствующую положению единичного груза в узле; срезки в пределах разрезанных панелей.

При построении линии влияния усилий следует рассматривать две возможности приложения единичной нагрузки к ферме – к нижнему поясу (езда понизу) и к верхнему поясу (езда поверху). Уравнения левой и правой ветвей не зависят от того, по какому поясу перемещается единичный груз. Линии влияния одного усилия при езде поверху и понизу могут иметь различное очертание в пределах разрезанных панелей. Аналогичное различие есть у линии влияния усилий при езде поверху и понизу, построенных с использованием способа вырезания узлов.

Примечание. Перед построением линии влияния усилий в стержнях балочных и консольно-балочных ферм строятся линии влияния реакций в опорах, которые полностью совпадают с линиями влияния опорных реакций в соответствующих шарнирно-консольных балках.

Усилие по линиям влияния определяются по формуле:

$$S_i = \sum_{j=0}^n P_j Y_j,$$

где P_j – узловые нагрузки;

Y_j – ординаты линии влияния под узловыми нагрузками;

n – количество сосредоточенных грузов.

4. Практическая часть

Задание. Для фермы, показанной на рис. 10, *a* требуется:

- 1) выполнить кинематический анализ конструкции
- 2) определить (аналитически) усилия в стержнях третьей панели;
- 3) построить линии влияния усилий в тех же стержнях;
- 4) по линиям влияния подсчитать значения усилий от заданной нагрузки и сравнить их со значениями, полученными аналитически.

4.1 Кинематический анализ

4.1.1 Расчет числа степеней свободы

Число узлов $U = 12$, число стержней, включая три опорных, $C = 24$.

Согласно (1), $W = 2U - C = 2 \cdot 12 - 24 = 0$,

Вывод: имеющиеся стержни и узлы могут образовать статически определимую конструкцию фермы.

Исследуем структуру данной фермы (ферма симметрична). Отбрасываем последовательно узлы 1, 2, 3, 4 с двумя стержнями и убеждаемся, что, в конечном счете, остается треугольник 5-6-7

Вывод: система геометрически неизменяема.

4.2 Определение усилий в стержнях фермы

Расчет начинаем с определения опорных реакций. Поскольку ферма и нагрузка симметричны, $R_A = R_B = 5 \cdot F / 2 = 5 \cdot 6 / 2 = 15 \text{ кН}$.

Для определения усилий в стержнях фермы применяем метод сечений. Желательно так вести вычисления, чтобы усилие в каждом стержне определялось независимо от усилий в других стержнях. Это избавляет от нарастания погрешности расчета и увеличивает его точность. Для этого надлежит придерживаться следующего порядка:

а) провести разрез фермы, который должен проходить не больше чем через три стержня, в том числе и через стержень, усилие в котором требуется определить;

б) отбросить левую или правую часть фермы (удобнее отбрасывать наиболее нагруженную часть фермы);

в) заменить действие отброшенной части фермы неизвестными усилиями в разрезанных стержнях; при этом усилия всегда следует направлять от разреза, предполагая их растягивающими (положительными);

г) составить такое уравнение статики, чтобы, по возможности, только искомое усилие входило в него как неизвестное;

д) решить уравнение и найти это усилие; если результат будет со знаком плюс, то стержень растянут; если со знаком минус, то стержень сжат.

Усилие N_{4-6} (нижний пояс). Проведем разрез $n-n$ и отбросим правую часть фермы (рис. 10, б). Для того чтобы в уравнение для N_{4-6} не вошли усилия N_{5-6} и N_{5-7} , следует записать сумму моментов всех сил, приложенных к оставшейся части фермы, относительно узла 5, в котором пересекаются линии действия этих усилий. Такая точка называется моментной. Эта точка всегда находится на пересечении линии действия усилий в двух других стержнях, попавших в разрез:

$$\sum M_5 = 0; \quad N_{4-6} \cdot r_{4-6} - R_A \cdot 2d + F \cdot d = 0.$$

Отсюда $N_{4-6} = (R_A \cdot 2 - F \cdot 1)d / r_{4-6} = (15 \cdot 2 - 6 \cdot 1) \cdot 4 / 3,33 = 28,80 \text{ кН}$.

Усилие N_{5-7} (верхний пояс). Для нахождения N_{5-7} воспользуемся тем же разрезом $n-n$ (рис.10, б), но теперь моментная точка будет на пересечении линий действия N_{5-6} и N_{4-6} в узле 6:

$$\sum M_6 = 0; \quad -N_{5-7} \cdot r_{5-7} - R_A \cdot 3d + F \cdot 2d + F \cdot d = 0.$$

Откуда

$$N_{5-7} = d(-R_A \cdot 3 + F \cdot 2 + F) / r_{5-7} = 4 \cdot (-15 \cdot 3 + 6 \cdot 2 + 6) / 4,62 = -23,40 \text{ кН}.$$

Усилие N_{5-6} (раскос). Для определения N_{5-6} вновь воспользуемся разрезом $n-n$ (рис.10, б). Моментная точка находится на пересечении линий действия усилий N_{5-7} и N_{4-6} в узле А. Проводя из этого узла перпендикуляр на линию действия искомого усилия (рис.10, г), получим плечо усилия N_{5-6} относительно узла 1.

$$\sum M_1 = 0; \quad -N_{5-6} \cdot r_{5-6} - F \cdot d - F \cdot 2d = 0.$$

$$\text{Тогда } N_{5-6} = -3F \cdot d / r_{5-6} = -3 \cdot 6 \cdot 4 / 7,68 = -9,375 \text{ кН}.$$

Усилие N_{6-7} (правая стойка). Для нахождения N_{6-7} воспользуемся разрезом $m-m$ (рис.10, в). Рассмотрим равновесие узла 7.

$$\sum X = 0; \quad -N_{5-7} \cos \alpha + N_{7-9} \cos \alpha = 0; \text{ следовательно, } N_{7-9} = N_{5-7};$$

$$\sum Y = 0; \quad -N_{6-7} - F - 2 \cdot N_{5-7} \sin \alpha = 0.$$

$$\text{Откуда } N_{6-7} = -2 \cdot \sin \alpha \cdot N_{5-7} - F = -2 \cdot 0,385 \cdot (-23,40) - 6 = +12,00 \text{ кН}.$$

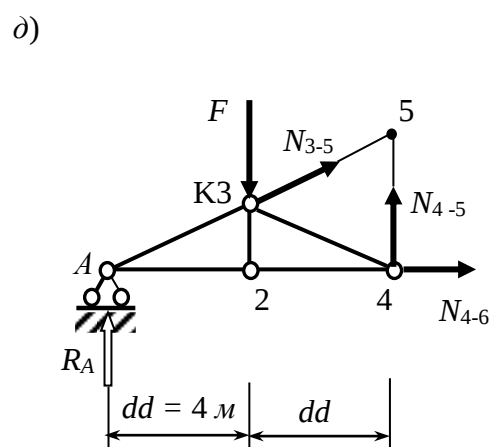
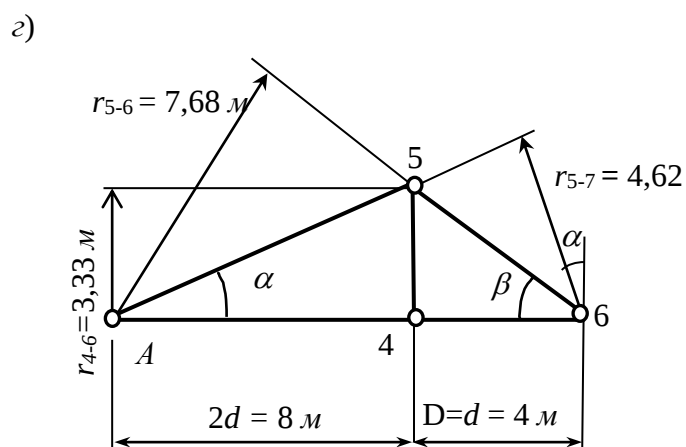
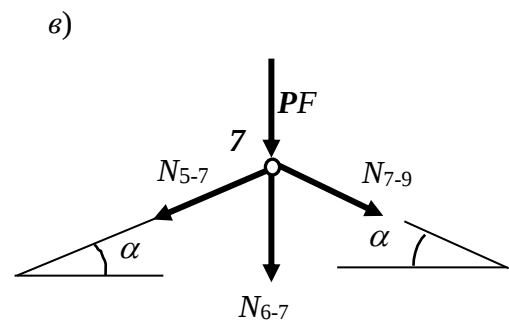
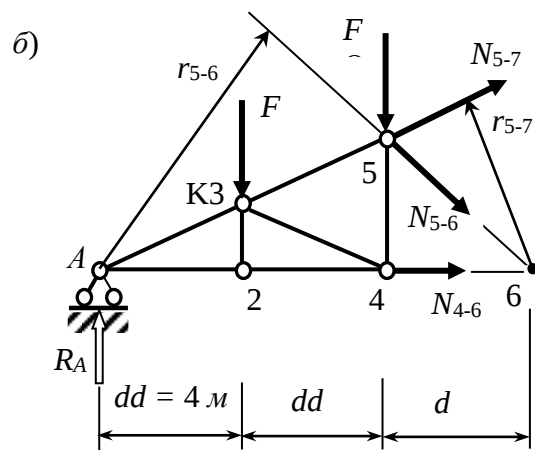
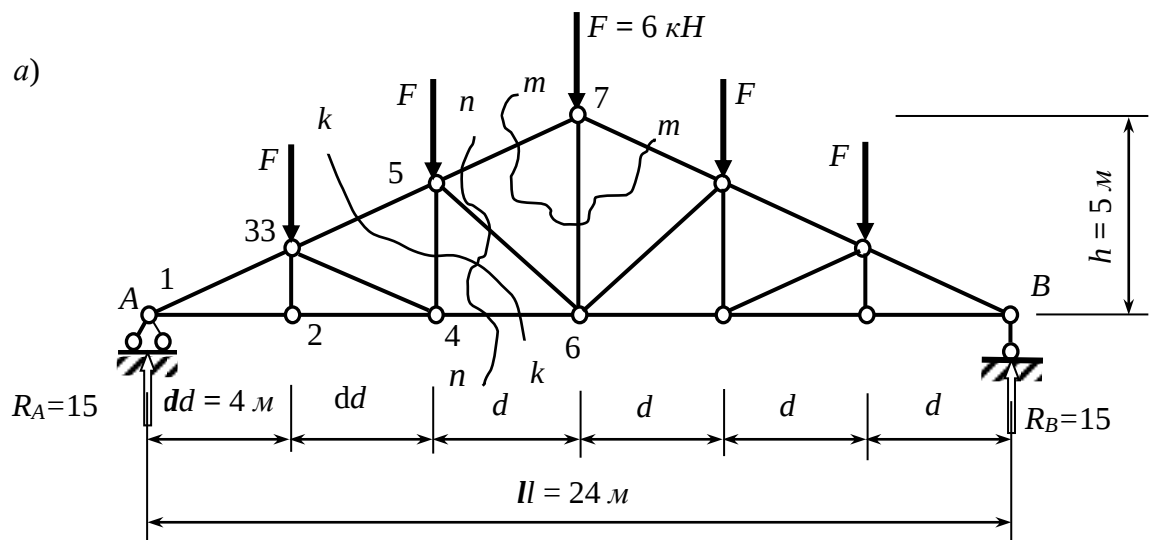


Рисунок 10. Определение усилий в стержнях простой фермы:
 а – расчетная схема фермы; б – разрез $n-n$; в – разрез $m-m$; г – к определению плеч усилий; д – разрез $k-k$

Усилие N_{4-5} (левая стойка). Для нахождения N_{4-5} воспользуемся разрезом $k-k$ (рис.10, ∂). Теперь моментная точка будет на пересечении линий действия усилий N_{3-5} и N_{4-6} в узле A , а плечо усилия N_{4-5} относительно узла A равно $2d$.

$$\sum M_1 = 0; N_{4-5} \cdot 2d - F \cdot d = 0, \text{ откуда } N_{4-5} = 0,5 \cdot F = 0,5 \cdot 6 = 3.0 \text{ кН.}$$

Примечание: при данном нагружении стержень 3-2 и расположенный симметрично ему являются нулевыми.

4.3 Построение линий влияния

4.3.1 Линии влияния опорных реакций

Линии влияния опорных реакций в балочной ферме (рис.11, a) определяются так же, как для однопролетной балки. Поэтому линии влияния этих реакций не отличаются от линий влияния опорных реакций балок (рис.12, $b, в$).

4.3.2 Линия влияния усилия N_{4-6}

Воспользуемся разрезом $n-n$ (рис.11, a). Рассмотрим два положения единичного груза: справа и слева от разрезанной панели. При положении груза $\bar{F} = 1$ справа от разреза рассматриваем равновесие левой отсеченной части фермы (рис.11, $в$) и составляем сумму моментов относительно моментной точки – узла 5:

$$\sum M_5^{лев} = 0; N_{46} \cdot r_{46} - R_A \cdot 2d = 0.$$

$$\text{Откуда } N_{4-6} = (2d / r_{46}) \cdot R_A = (2 \cdot 4 / 3,33) R_A = 2,4 \cdot R_A,$$

т. е. правый участок л.в. N_{4-6} отличается от л.в. R_A лишь постоянным множителем 2,4.

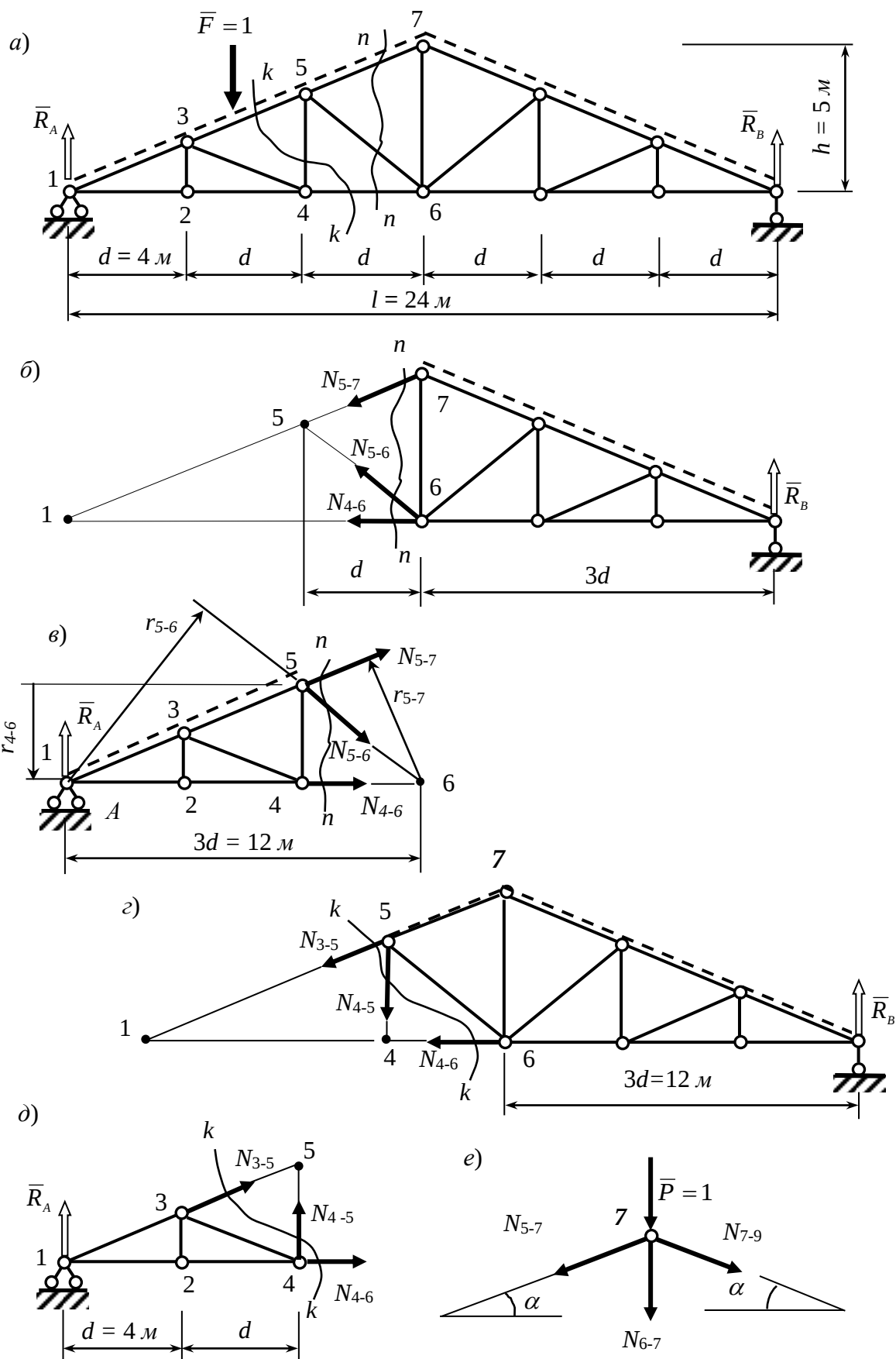


Рисунок 11. К построению линий влияния усилий в стержнях фермы

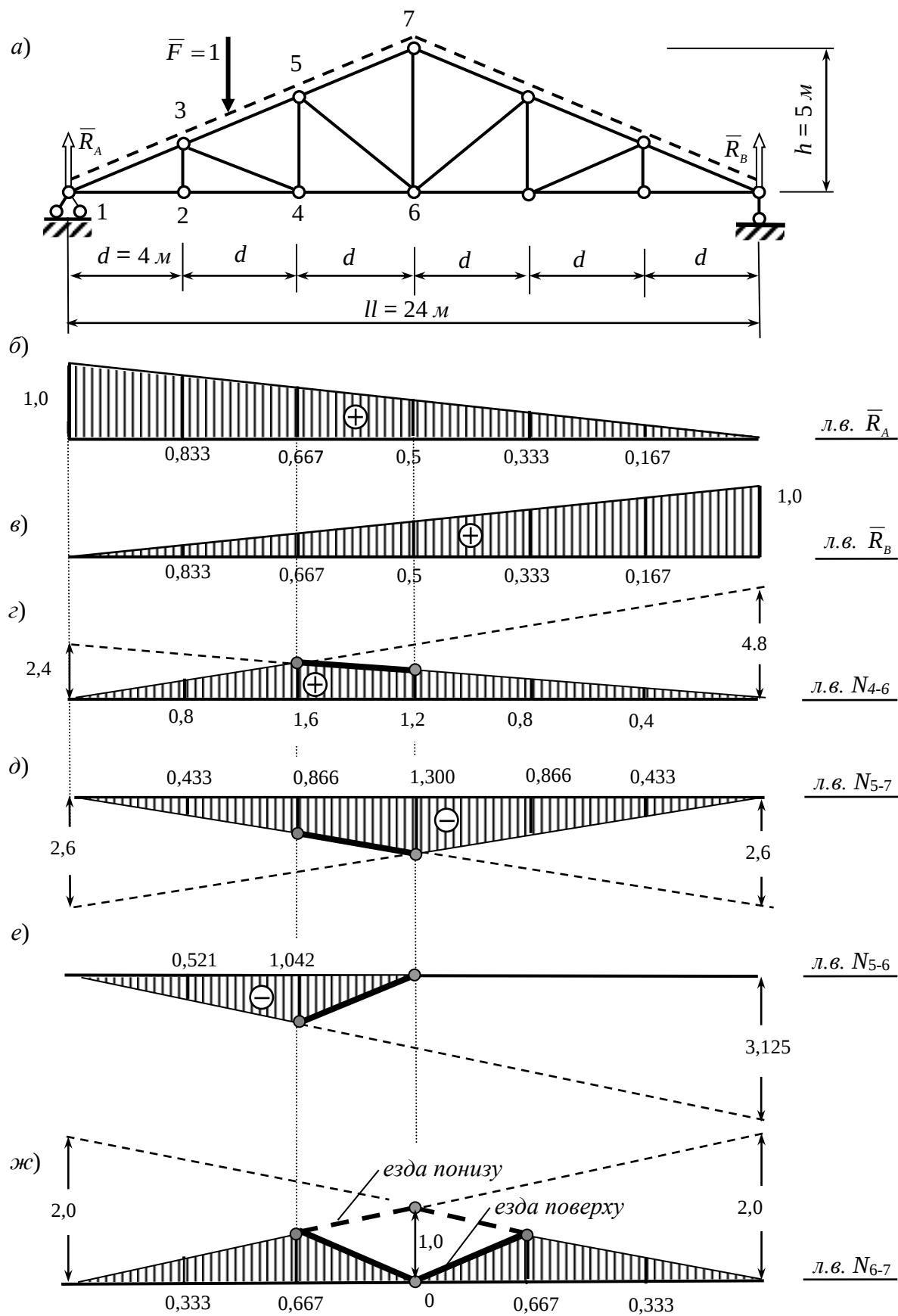


Рисунок 12. Построение линий влияния усилий в простой ферме

Строим правую прямую линии влияния N_{4-6} , откладывая на левой опорной вертикали ординату 2.4 и соединяя ее с нулевой точкой на правой опорной вертикали (рис.12, з). Полученную правую прямую используем на участке движения груза справа от разрезанной панели.

При положении груза слева от сечения $n-n$ составляем условие равновесие правой отсеченной части фермы (рис.11, б):

$$\sum M_5^{прав} = 0; \quad -N_{4-6} \cdot r_{4-6} + R_B \cdot 4d = 0.$$

$$\text{Откуда } N_{4-6} = (4d / r_{4-6}) R_B = (4 \cdot 4 / 3,33) R_B = 4,8 R_B,$$

т. е. левый участок *л.в.* N_{4-6} имеет такой же вид, как *л.в.* R_B . Умножая ординаты *л.в.* R_B на множитель 4,8, получаем левую прямую *л.в.* N_{4-6} (рис.12, з).

При положении груза $\bar{F} = 1$ в пределах разрезанной панели линией влияния будет передаточная прямая, соединяющая крайние ординаты (передаточные прямые на рис.12 показаны жирными линиями).

4.3.3 Линия влияния усилия N_{5-7}

Вновь воспользуемся разрезом $n-n$ (рис.11, а). Рассмотрим два положения единичного груза: справа и слева от разрезанной панели. При нахождении груза $\bar{F} = 1$ справа от разреза

рассматриваем равновесие левой отсеченной части фермы (рис.11, в) и составляем сумму моментов относительно моментной точки – узла 6:

$$\sum M_6^{лев} = 0; \quad -N_{5-7} \cdot r_{57} - R_A \cdot 3d = 0.$$

Откуда $N_{5-7} = -(3d / r_{57}) R_A = -(3 \cdot 4 / 4,62) R_A = -2,6 \cdot R_A$, т. е. правый участок *л.в.* N_{5-7} отличается от *л.в.* R_A лишь постоянным множителем 2.6 и знаком минус. Все ординаты *л.в.* R_A изменяются в 2,6 раз и откладываются от оси в отрицательном направлении, т. е. вниз (рис.12, д). Построенную таким образом правую прямую используем на участке движения груза справа от разрезанной панели.

При положении груза слева от разрезанной панели составляем условие равновесия правой отсеченной части (рис.11, б):

$$\sum M_6^{прав} = 0, \text{ или } + N_{5-7} \cdot r_{57} + R_B \cdot 3d = 0.$$

$$\text{Откуда } N_{57} = -(3d / r_{57}) R_B = -(3 \cdot 4 / 4,62) R_B = -2,6 \cdot R_B.$$

Т. е. левый участок *л.в.* N_{5-7} отличается от *л.в.* R_A лишь постоянным множителем 2,6 и знаком минус. Все ординаты *л.в.* R_A изменяются в 2,6 раз и откладываются от оси в отрицательном направлении т.е. вниз (рис.12, д). Полученную левую прямую используем на участке движения груза $\bar{F} = 1$ слева от разрезанной панели. В пределах разрезанной панели соединяем крайние ординаты прямой линией.

Отметим, что в рассмотренных линиях влияния правая и левая ветви линии влияния пересеклись под моментными точками. Это не случайно и вытекает из их построения. Эту зависимость будем использовать в дальнейшем для проверки правильности построения линий влияния.

4.3.4 Линия влияния усилия N_{5-6}

Воспользуемся разрезом *n-n* (рис.11, а). При положении груза $\bar{F} = 1$ справа от разреза рассматриваем равновесие левой отсеченной части фермы (рис.11,б) и составляем сумму моментов относительно моментной точки – узла 1:

$$\sum M_1^{лев} = 0; \quad - N_{5-6} \cdot r_{56} = 0.$$

Откуда $N_{5-6} = 0$, т. е. при грузе $\bar{F} = 1$, расположенном справа от разреза, усилие N_{5-6} равно нулю. Правая прямая линии влияния в этом случае сливается с осью линии влияния (рис.12, е).

Для построения левой прямой линии влияния рассмотрим условие равновесия правой отсеченной части фермы (рис.11, б):

$$\sum M_1^{прав} = 0, \text{ или } N_{56} \cdot r_{56} + R_B \cdot l = 0.$$

$$\text{Откуда } N_{5-6} = -(l / r_{56}) R_B = -(24 / 4,62) \cdot R_B = -3,125 \cdot R_B.$$

Это означает, что усилие N_{5-6} равно опорной реакции R_B , умноженной на $(-3,125)$.

Для построения графика этой зависимости откладываем на правой опорной вертикали вниз отрезок 3,125 и соединяем его конец с нулевой точкой на левой опорной вертикали. В пределах разрезанной панели соединяем крайние точки левой и правой ветвей передаточной прямой. Построенная таким образом линия влияния N_{5-6} изображена на рис.12, *е*. Отметим, что вновь правая и левая ветви линии влияния пересеклись под моментной точкой – узлом 1.

4.3.5 Линия влияния усилия N_{6-7}

Вырежем узел 7 (рис.11, *е*) и спроектируем действующие на этот узел силы на горизонтальную ось:

$$\sum F_x = 0; -N_{5-7} \cos \alpha + N_{7-9} \cos \alpha = 0,$$

следовательно, $N_{7-9} = N_{5-7}$.

Спроектируем те же силы на вертикальную ось:

$$\sum F_y = 0; -N_{6-7} - 2 \cdot N_{5-7} \sin \alpha = 0,$$

откуда $N_{6-7} = -2 \cdot N_{5-7} \sin \alpha$.

Таким образом, линия влияния N_{6-7} может быть получена умножением всех ординат линии влияния N_{5-7} на коэффициент $(-2 \cdot \sin \alpha)$. Линия влияния N_{6-7} имеет вид треугольника (рис.12, *ж*) с наибольшей ординатой (под узлом 7), равной $1,300(2 \cdot 0,3846) = 1,000$.

Если же груз $\bar{F} = 1$ перемещается по верхнему поясу фермы («езда поверху»), то в тот момент, когда он окажется в узле 7, уравнение $\sum F_y = 0$ примет вид

$$-P - N_{6-7} - 2 \cdot N_{5-7} \sin \alpha = 0,$$

откуда $N_{6-7} = -2 \cdot N_{5-7} \sin \alpha - P = -2 \cdot N_{5-7} \sin \alpha - 1$.

Следовательно, в этом случае ордината на линии влияния N_{6-7} под узлом 7 меньше на единицу, чем ордината на этой же линии влияния при езде по нижнему поясу, и равна нулю (сплошная линия на рис.12, жс).

4.3.6 Вычисление по линиям влияния усилия от заданной постоянной нагрузки

При вычислении усилий в стержнях от сосредоточенных сил $P = 6 \text{ кН}$

$$N = \sum_1^n F_i y_i = P \sum y_i .$$

Тогда

$$N_{4-6} = 6(0,8 + 1,6 + 1,2 + 0,8 + 0,4) = 6 \cdot 4,8 = 28,80 \text{ кН};$$

$$N_{5-7} = 6(0,433 + 0,866 + 1,300 + 0,866 + 0,433) = 6 \cdot 3,898 = 23,39 \text{ кН};$$

$$N_{5-6} = 6(-0,521 - 1,042) = 6(-1,563) = -9,376 \text{ кН};$$

$$N_{6-7} = 6(0,333 + 0,667 + 0 + 0,667 + 0,333) = 6 \cdot 2 = 12,00 \text{ кН}.$$

Найденные с помощью линий влияния усилия в стержнях фермы совпадают с полученными аналитически значениями.

4.4 Выполнение расчета на ПК

Расчет выполняется в соответствии с инструкцией, представленной в /6/ или /7/ в зависимости от используемой программы расчета.

Библиографический список

1. Дарков, А. В. Строительная механика / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. - М.: Высш. шк., 1986. - 607 с.
2. Снитко, Н. К. Строительная механика / Н. К. Снитко. - М.: Высш. шк., 1989.- 187 с.
3. Клейн, Г. К. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики / Г. К. Клейн, В. Г. Рекач, Г. И. Розенблат. - М. : Высш. шк., 1978. -318 с.
4. Леоненко, Д. В. Расчет плоских ферм: учебно-метод. пособие для студентов строительных специальностей / Д. В. Леоненко. - Гомель: УО «БелГУТ», 2006. - 57 с.
5. Манжосов, В. К. Расчетно-проектировочные и контрольные задания по строительной механике (для студентов ЗВФ) : методические указания / В. К. Манжосов. - Ульяновск: УлГТУ, 2006. - 28 с.
6. “Метод скінчених елементів і автоматизовані системи розрахунків на міцність”. Методичні вказівки до вивчення теми "Розрахунок зусиль в елементах ферми в програмному комплексі "Лира" за вимогами кредитно-модульної системи навчання для магістрів спеціальності 8.06010101 – “Промислове і цивільне будівництво”/ Укл.: Г.Д. Портнов, А.А. Тихий – Кіровоград: КНТУ, 2014. – 32 с.
7. “Метод скінчених елементів і автоматизовані системи розрахунків на міцність”. Методичні вказівки до вивчення теми ««Проектування металеві ферми в ПОК «SCAD» за вимогами кредитно-модульної системи навчання для магістрів спеціальності 8.06010101 –“Промислове і цивільне будівництво”/ Укл.: Г.Д. Портнов, А.А. Тихий – Кіровоград: КНТУ, 2015. –46 с.
8. Строительная механика. Часть II. Примеры выполнения контрольных работ для студентов строительных специальностей заочной и дистанционной форм обучения/ Сост. А. А. Вайсфельд, В. Е. Киселев, А. Д. Ловцов. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2009. – 68 с.

Содержание

Введение	3
1. Требования к выполнению задания	3
2. Техническое задание	4
3. Теоретическая часть	9
3.1 Кинематический анализ	9
3.2 Нулевые стержни фермы и их выявление	13
3.3 Аналитическое определение продольных усилий в стержнях фермы	14
3.4 Расчет по линиям влияния	17
4. Практическая часть	18
4.1 Кинематический анализ	18
4.2 Определение усилий в стержнях фермы	19
4.3 Построение линий влияния	22
4.4 Выполнение расчета на ПК	28
Библиографический список	29