

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

\_\_\_\_\_

(институт)

\_\_\_\_\_

(кафедра)

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № \_\_\_\_**

по учебному курсу «\_\_\_\_\_»

Вариант \_\_\_\_ (*при наличии*)

Студент

\_\_\_\_\_

(И.О. Фамилия)

Группа

\_\_\_\_\_

(И.О. Фамилия)

Ассистент

\_\_\_\_\_

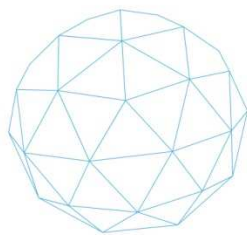
(И.О. Фамилия)

Преподаватель

\_\_\_\_\_

(И.О. Фамилия)

Тольятти 20\_\_



## СОДЕРЖАНИЕ

Задание для выполнения практической работы. Исходные данные по варианту.....	3
Решение задачи.....	4
Библиографический список.....	10

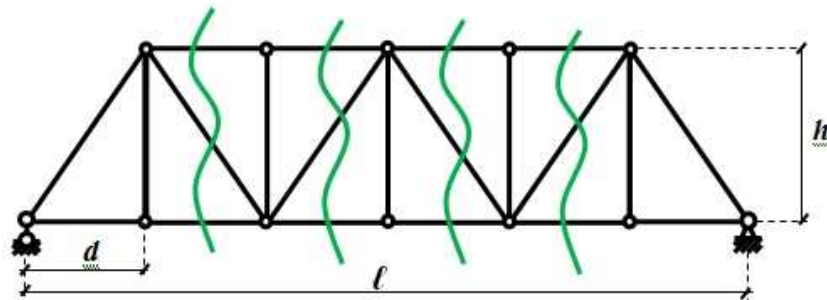
## Задание для выполнения практической работы

1. Вычертить в масштабе заданную схему фермы.
2. Проверить геометрическую неизменяемость фермы
3. Загрузить ферму в узлах от ветровой или от снеговой нагрузки.
4. Определить аналитически усилия во всех стержнях фермы. Составить таблицу значений.
5. Определить графически усилия во всех стержнях фермы. Составить таблицу (Диаграмма Максвелла-Кремоны).
6. Построить линии влияния опорных реакций и усилий в элементах указанного сечения, а также в стойке (выбирается студентом самостоятельно).
7. По линиям влияния определить опорные реакции и усилия в стержнях указанного сечения и стойке. Сравнить результаты с аналитическим расчетом.

### Исходные данные

1. Схема по варианту:

Схема № 5



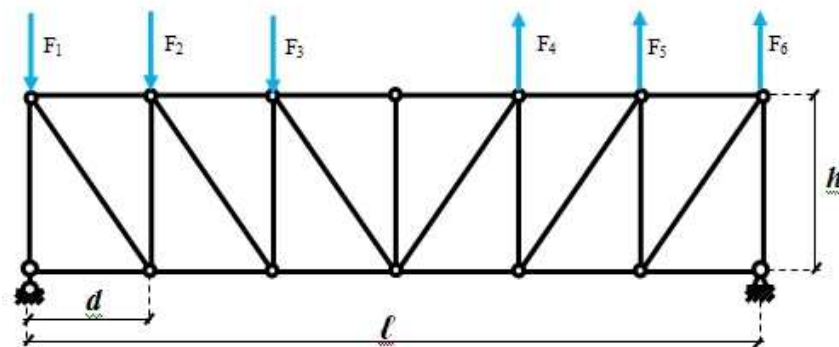
2. Числовые значения размеров и нагрузки, тип нагрузки, № сечения по варианту:

№ варианта	$l$ (м)	$h$ (м)	$q$ (кг/см)	№ сечения	Тип нагрузки
2	18	$0,3l$			
6			280	1	ветер

$$d = \frac{l}{6} = \frac{18}{6} = 3\text{ м}; \quad h = 0,3 \cdot l = 0,3 \cdot 18 = 5,4\text{ м}; \quad q = 280\text{ кг/см} = 28\text{ т/м}.$$

3. Схема нагружения ветровой нагрузкой:

$$F_1 = F_6 = q \cdot \frac{d}{2} = 28 \cdot \frac{3}{2} = 42\text{ т}; \quad F_2 = F_3 = F_4 = F_5 = q \cdot d = 28 \cdot 3 = 84\text{ т}.$$



## Решение задачи

**1. Изображаем в масштабе расчетную схему фермы в соответствии с данными, с указанием размеров и нагрузки в числах (Рис.1,а).**

**2. Проверяем геометрическую неизменяемость и статическую определимость фермы:**

→  $n = C - 2 \cdot U \Rightarrow n = 24 - 2 \cdot 12 = 0 \Rightarrow$  заданная ферма статически определима, причем выполняется необходимый признак геометрической неизменяемости  $C = 2U$ , где:

$C = 24$  – количество стержней фермы, включая опорные;

$U = 12$  – количество узлов фермы.

→ Достаточность условия  $C = 2U$  установим путем анализа структуры образования заданной стержневой системы: заданная ферма состоит из шарнирных треугольников, а шарнирный треугольник, в свою очередь, является геометрически неизменяемой фигурой  $\Rightarrow$  система образована в соответствии с правилами образования неизменяемых систем.

Вывод: Заданная ферма геометрически неизменяемая и статически определимая.

**4. Определяем значения опорных реакций (Рис.1а):**

$$\Sigma M_1 = V_{12} \cdot 18 - 42 \cdot 18 + 84 \cdot (3 + 6) - 84 \cdot (12 + 15) = 0 \Rightarrow V_{12} = 126 \text{ т,}$$

$$\Sigma M_{12} = V_1 \cdot 18 - 42 \cdot 18 + 84 \cdot (3 + 6) - 84 \cdot (12 + 15) = 0 \Rightarrow V_1 = 126 \text{ т.}$$

$$\text{Проверка: } \Sigma Y = 126 - 126 + 2 \cdot 84 - 2 \cdot 84 + 42 - 42 = 0 \Rightarrow \text{Реакции определены верно.}$$

**5. Аналитически определяем усилия во всех стержнях фермы:**

Так как заданная ферма симметричная, а нагрузка кососимметричная, относительно собственной вертикальной оси симметрии фермы, то и усилия в симметричных стержнях будут кососимметричными  $\Rightarrow$  рассмотрим только половину фермы, а остальные усилия запишем с учетом вышесказанного.

а) Определяем необходимые для расчета геометрические параметры фермы (Рис.1,а):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{5,4}{3} \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg} \frac{5,4}{3} = 61^\circ.$$

б) Проводим сечение I-I и рассматриваем левую отсеченную часть (Рис.1,б):

$$\rightarrow \Sigma Y^{\text{ЛОЧ}} = N_{1-2} \cdot \sin 61^\circ + 126 - 42 = 0$$

$$N_{1-2} = -96,04 \text{ т (сжатие)} \Rightarrow N_{12-10} = 96,04 \text{ т (растяжение).}$$

$$\rightarrow \Sigma X^{\text{ЛОЧ}} = N_{1-3} + N_{1-2} \cdot \cos 61^\circ = N_{1-3} + (-96,04) \cdot \cos 61^\circ = 0$$

$$N_{1-3} = 46,6 \text{ т (растяжение)} \Rightarrow N_{12-11} = -46,6 \text{ т (сжатие).}$$

в) Проводим сечение II-II и рассматриваем левую отсеченную часть (Рис.1,в):

$$\rightarrow \Sigma Y^{\text{ЛОЧ}} = N_{2-5} \cdot \sin 61^\circ + 84 + 42 - 126 = 0 \Rightarrow N_{2-5} = 0 \Rightarrow N_{10-9} = 0.$$

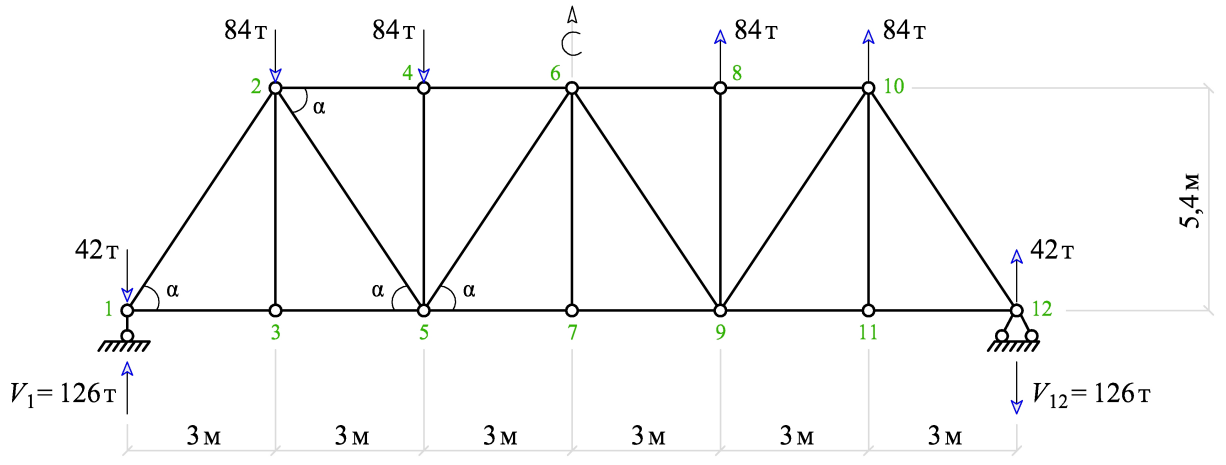
$$\rightarrow \Sigma M_5^{\text{ЛОЧ}} = N_{2-4} \cdot 5,4 + 126 \cdot 6 - 42 \cdot 6 - 84 \cdot 3 = 0$$

$$N_{2-4} = -46,6 \text{ т (сжатие)} \Rightarrow N_{10-8} = 46,6 \text{ т (растяжение).}$$

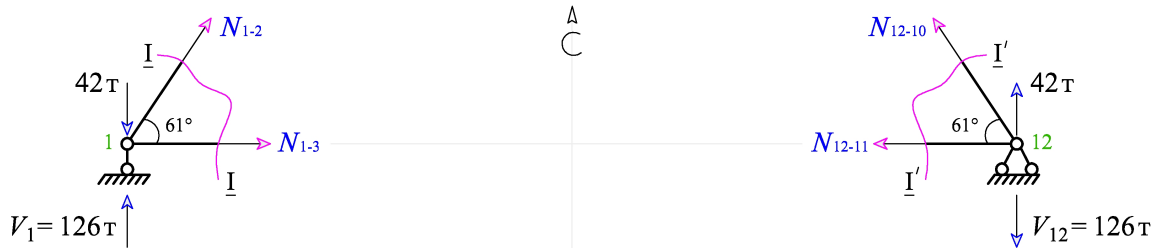
$$\rightarrow \Sigma M_2^{\text{ЛОЧ}} = N_{3-5} \cdot 5,4 - 126 \cdot 3 + 42 \cdot 3 = 0$$

$$N_{3-5} = 46,6 \text{ т (растяжение)} \Rightarrow N_{11-9} = -46,6 \text{ т (сжатие).}$$

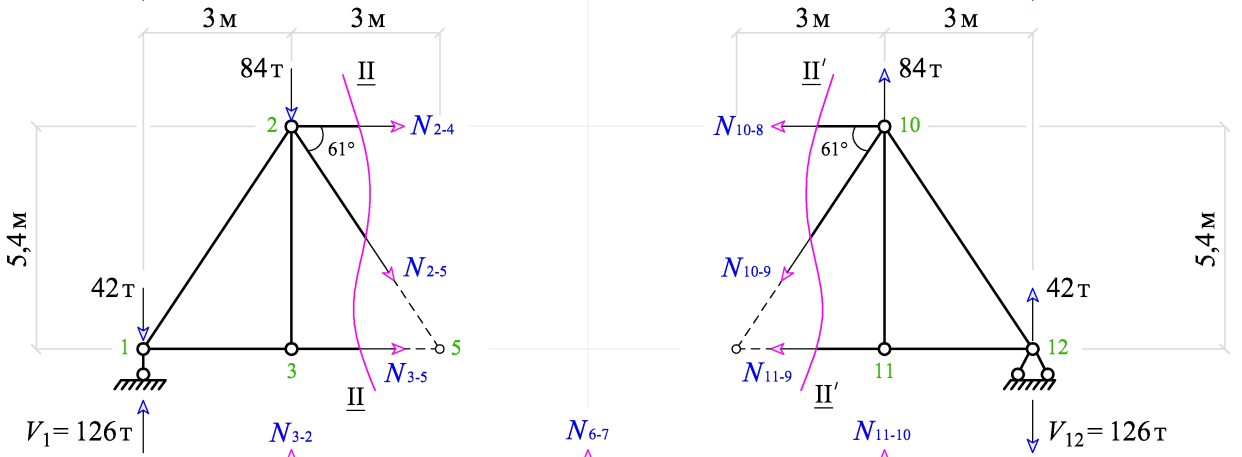
а



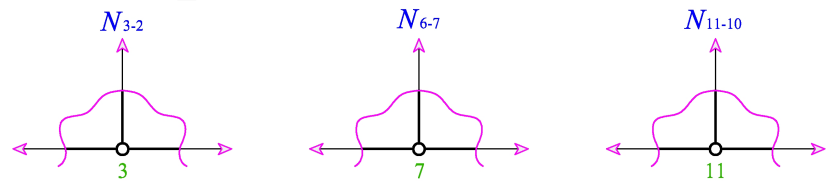
б



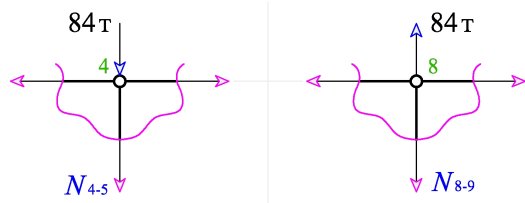
в



г



д



е

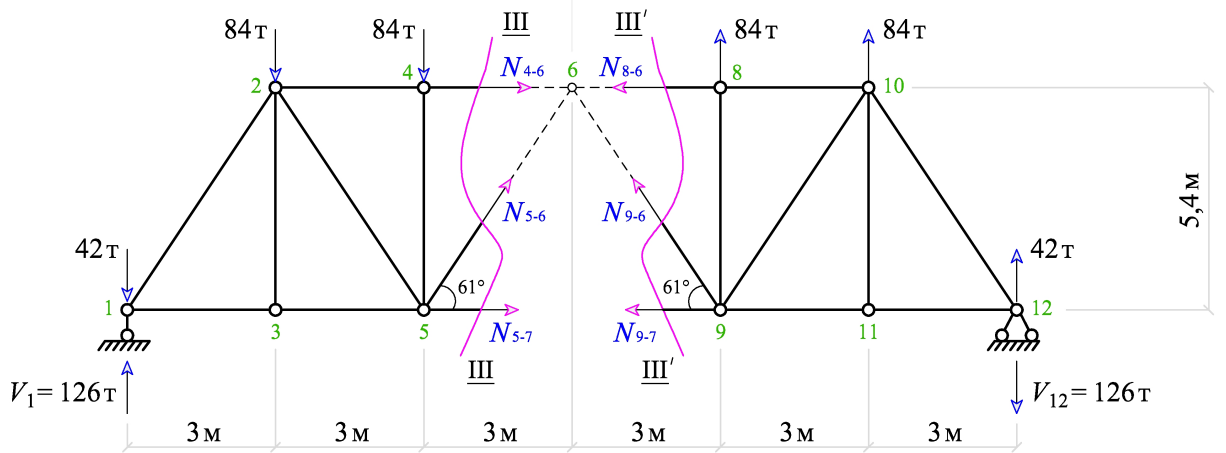


Рисунок 1

з) Вырезаем узлы 3, 7 (Рис.1,з), 4 (Рис.1,д) и рассматриваем их равновесие (Рис.1,з):

$$\rightarrow \text{Узел 3: } \Sigma Y = N_{3-2} = 0 \Rightarrow N_{3-2} = 0 \Rightarrow N_{11-10} = 0.$$

$$\rightarrow \text{Узел 7: } \Sigma Y = N_{6-7} = 0 \Rightarrow N_{6-7} = 0.$$

$$\rightarrow \text{Узел 4: } \Sigma Y = N_{4-5} + 84 = 0 \Rightarrow N_{4-5} = -84 \text{ т (сжатие)} \Rightarrow N_{8-9} = 84 \text{ т (растяжение)}.$$

д) Проводим сечение III-III и рассматриваем левую отсеченную часть (Рис.1,е):

$$\rightarrow \Sigma Y^{ЛОЧ} = N_{5-6} \cdot \sin 61^\circ + 126 - 42 - 2 \cdot 84 = 0$$

$$N_{5-6} = 96,04 \text{ т (растяжение)} \Rightarrow N_{9-6} = -96,04 \text{ т (сжатие)}.$$

$$\rightarrow \Sigma M_5^{ЛОЧ} = N_{4-6} \cdot 5,4 + 126 \cdot 6 - 42 \cdot 6 - 84 \cdot 3 = 0$$

$$N_{4-6} = -46,6 \text{ т (сжатие)} \Rightarrow N_{8-6} = 46,6 \text{ т (растяжение)}.$$

$$\rightarrow \Sigma M_6^{ЛОЧ} = N_{5-7} \cdot 5,4 - 126 \cdot 9 + 42 \cdot 9 + 84 \cdot 6 + 84 \cdot 3 = 0 \Rightarrow N_{5-7} = 0 \Rightarrow N_{9-7} = 0.$$

**6. Строим линии влияния опорных реакций и усилий в элементах фермы для заданного сечения (вторая панель фермы, считая слева), а так же в стойке 4-5:**

Считаем, что единичный груз  $\bar{P} = 1$  перемещается по нижнему поясу фермы (Рис.2,а).

а) Строим линии влияния опорных реакций  $V_1$  (Рис.2,б) и  $V_{12}$  (Рис.2,в):

Устанавливаем груз  $\bar{P} = 1$  в произвольное сечение на расстоянии  $x$  от опоры 1 (Рис.2,а), тогда:

$$\Sigma M_{12} = V_1 \cdot 18 - 1 \cdot (18 - x) = 0 \Rightarrow V_1 = 1 - \frac{x}{18} \Rightarrow \begin{cases} x = 0 \Rightarrow V_1 = 1, \\ x = 18 \text{ м} \Rightarrow V_1 = 0. \end{cases}$$

$$\Sigma M_1 = V_{12} \cdot 18 - 1 \cdot x = 0 \Rightarrow V_{12} = \frac{x}{18} \Rightarrow \begin{cases} x = 0 \Rightarrow V_{12} = 0, \\ x = 18 \text{ м} \Rightarrow V_{12} = 1. \end{cases}$$

б) Строим линию влияния усилия  $N_{2-4}$  (Рис.2,з):

$\rightarrow$  Груз  $\bar{P} = 1$  слева от сечения (левее узла 3):

$$\Sigma M_5^{ПОЧ} = N_{2-4} \cdot 5,4 + V_{12} \cdot 12 = 0 \Rightarrow N_{2-4} = -2,222 \cdot V_{12} \text{ (левая прямая)}.$$

$\rightarrow$  Груз  $\bar{P} = 1$  справа от сечения (правее узла 5):

$$\Sigma M_5^{ЛОЧ} = N_{2-4} \cdot 5,4 + V_1 \cdot 6 = 0 \Rightarrow N_{2-4} = -1,111 \cdot V_1 \text{ (правая прямая)}.$$

$\rightarrow$  Между узлами 3-5 – *передаточная прямая*.

в) Строим линию влияния усилия  $N_{2-5}$  (Рис.2,д):

$\rightarrow$  Груз  $\bar{P} = 1$  слева от сечения (левее узла 3):

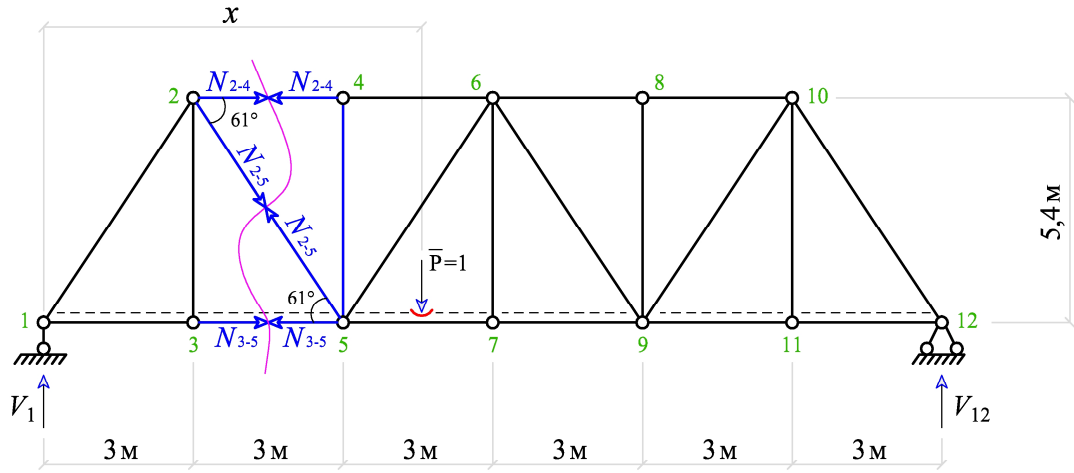
$$\Sigma Y^{ПОЧ} = N_{2-5} \cdot \sin 61^\circ + V_{12} = 0 \Rightarrow N_{2-5} = -1,14335 \cdot V_{12} \text{ (левая прямая)}.$$

$\rightarrow$  Груз  $\bar{P} = 1$  справа от сечения (правее узла 5):

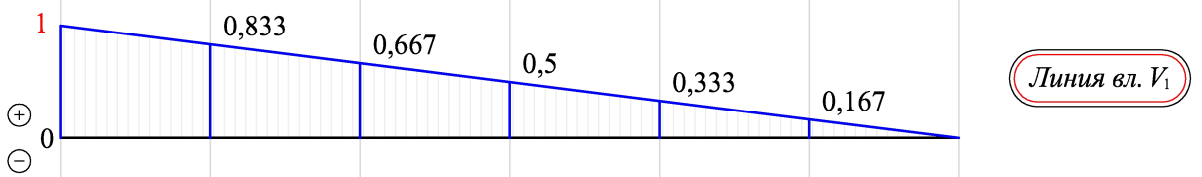
$$\Sigma Y^{ЛОЧ} = N_{2-5} \cdot \sin 61^\circ - V_1 = 0 \Rightarrow N_{2-5} = 1,14335 \cdot V_1 \text{ (правая прямая)}.$$

$\rightarrow$  Между узлами 3-5 – *передаточная прямая*.

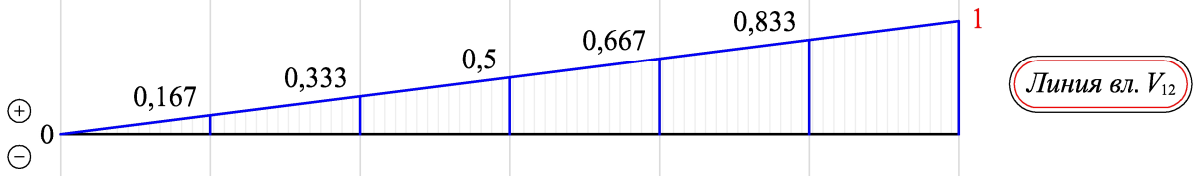
а



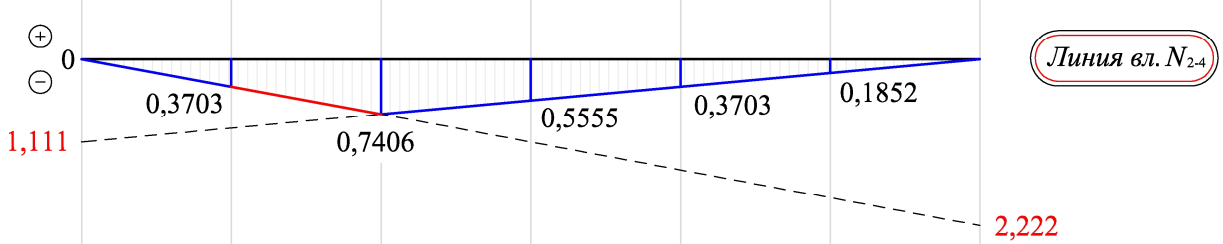
б



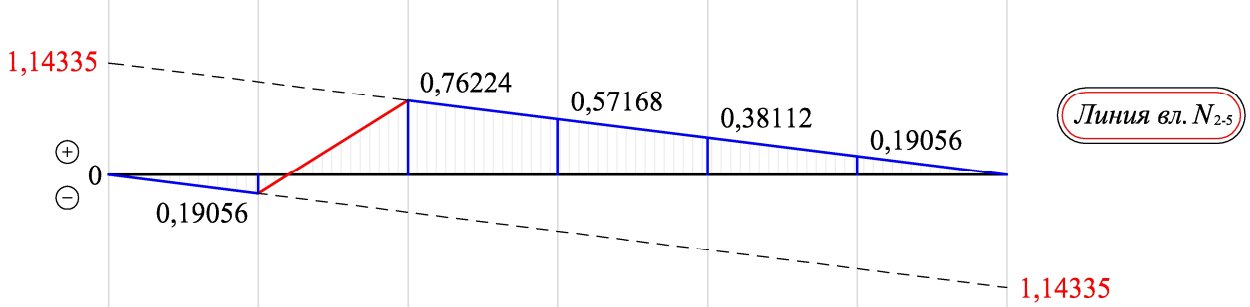
в



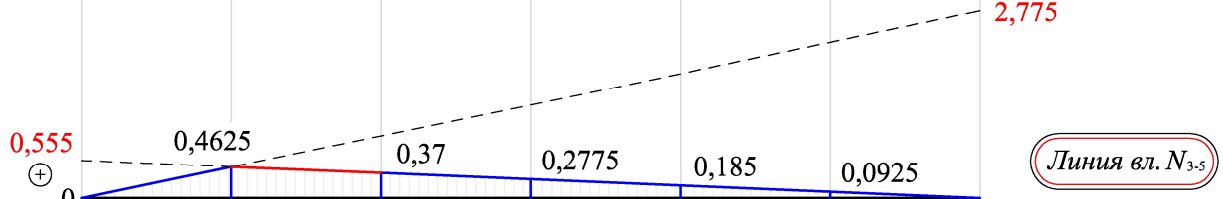
г



д



е



ж



Рисунок 2

з) Строим линию влияния усилия  $N_{3-5}$  (Рис.2,е):

→ Груз  $\bar{P} = 1$  слева от сечения (левее узла 3):

$$\Sigma M_2^{Поч} = N_{3-5} \cdot 5,4 - V_{12} \cdot 15 = 0 \Rightarrow N_{3-5} = 2,778 \cdot V_{12} \text{ (левая прямая).}$$

→ Груз  $\bar{P} = 1$  справа от сечения (правее узла 5):

$$\Sigma M_2^{Поч} = N_{3-5} \cdot 5,4 - V_1 \cdot 3 = 0 \Rightarrow N_{3-5} = 0,555 \cdot V_1 \text{ (правая прямая).}$$

→ Между узлами 3-5 – *передаточная прямая*.

д) Строим линию влияния усилия  $N_{4-5}$  (Рис.2,ж):

Очевидно, что при любом положении единичного груза  $\bar{P} = 1$  (в пределах нижнего пояса фермы) продольное усилие в стойке 4-5 будет нулевым.

**7. Определяем по линиям влияния значения соответствующих им усилий:**

$$S_k^{Л.В.} = \Sigma P_i \cdot y_i$$

$$V_1^{Л.В.} = 42 \cdot 1 + 84 \cdot (0,833 + 0,667 - 0,333 - 0,167) = 126 \text{ т,}$$

$$V_{12}^{Л.В.} = -42 \cdot 1 + 84 \cdot (-0,833 - 0,667 + 0,333 + 0,167) = -126 \text{ т,}$$

$$N_{2-4}^{Л.В.} = 84 \cdot (-0,3703 - 0,7406 + 0,3703 + 0,1852) = -46,6 \text{ т,}$$

$$N_{2-5}^{Л.В.} = 84 \cdot (-0,19056 + 0,76224 - 0,38112 - 0,19056) = 0,$$

$$N_{3-5}^{Л.В.} = 84 \cdot (0,4625 + 0,37 - 0,185 - 0,0925) = 46,6 \text{ т,}$$

$$N_{4-5}^{Л.В.} = 0.$$

**8. Графически определяем усилия во всех стержнях фермы – строим диаграмму Максвелла-Кремоны (Рис.3):**

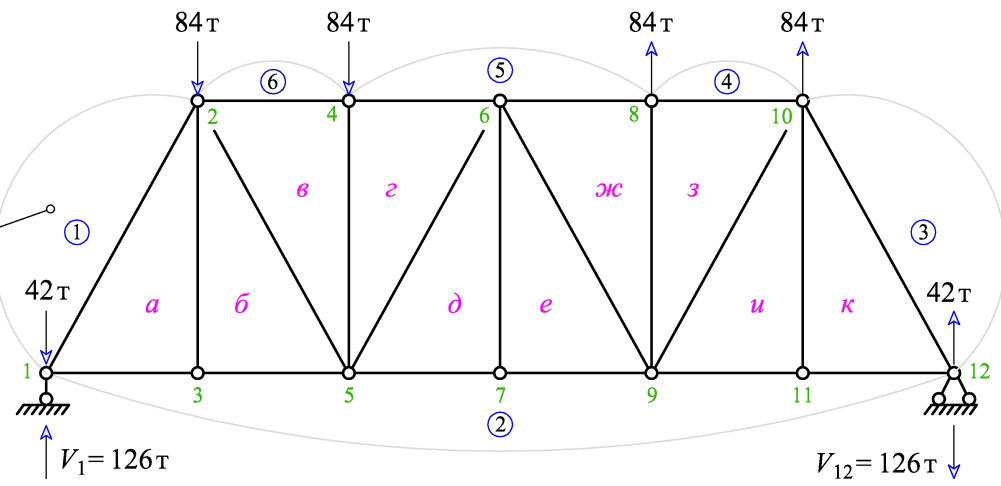
Построение диаграммы Максвелла-Кремоны выполняем в программе AutoCad.

**9. Вывод:**

Полученные результаты аналитического, графического расчета и определение усилий по линиям влияния совпадают с точностью допустимой погрешности.



Начало и направление обхода внешних полей и узлов



Масштаб 1:1  
(1T = 1мм)

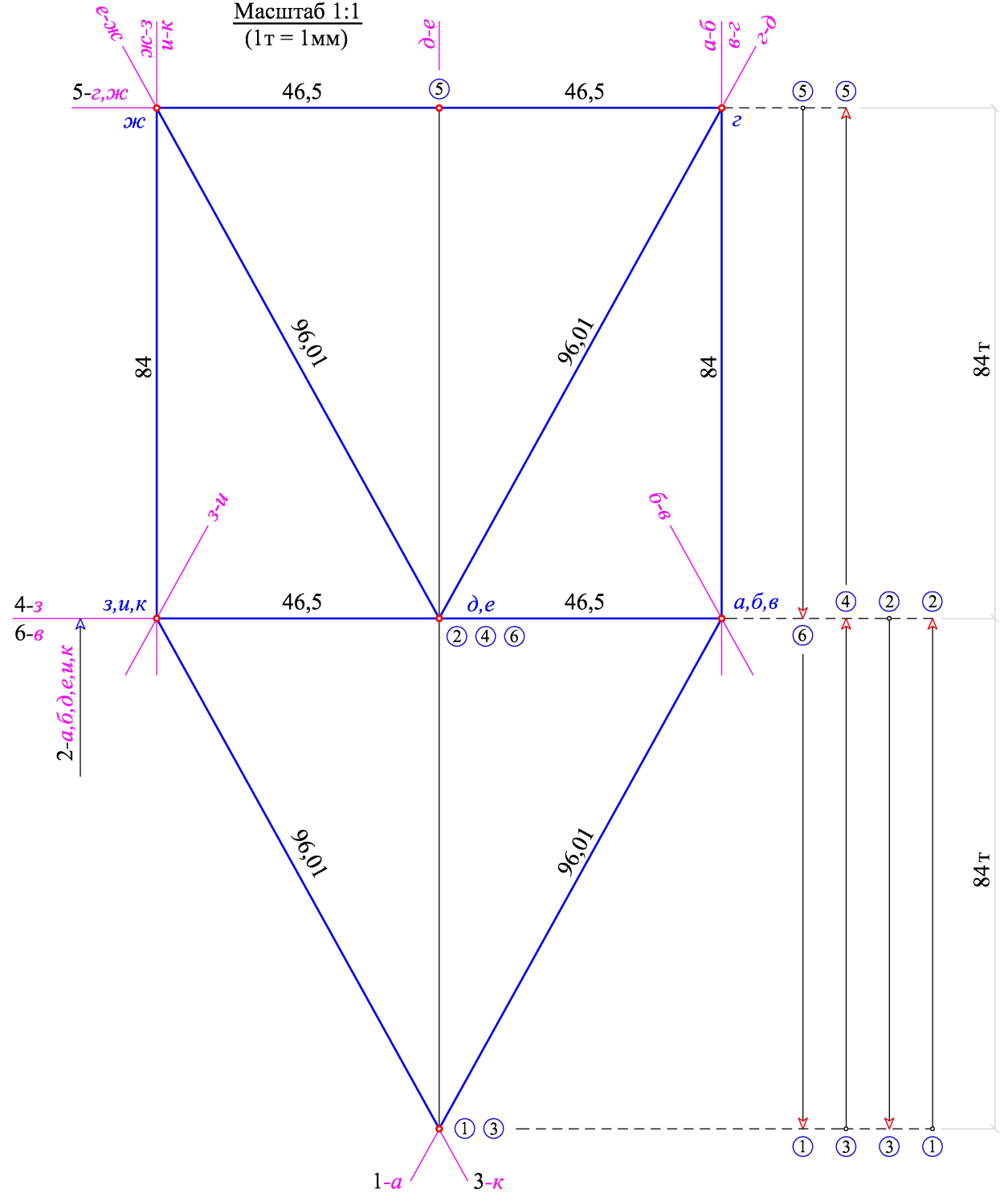


Рисунок 3

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет статически определимой фермы: Метод. указания / Сост. Э.Р. Ефименко. Тольятти: ТГУ, 2013. 21 с.
2. Анохин Н.Н. Строительная механика в примерах и задачах. Ч. I. Статически определимые системы: Учеб. пос. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 335 с.
3. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика: Учеб. для строит. спец. вузов – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 607 с.: ил.