

**ОПД.Р.03 СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА
РАСЧЕТ ШПРЕНГЕЛЬНОЙ ФЕРМЫ НА
НЕПОДВИЖНУЮ И ПОДВИЖНУЮ НАГРУЗКУ**

Методические указания и задания к
расчетно-проектировочной работе

Настоящие материалы содержат методические указания и задания к расчетно-проектировочной работе № 4.

Предназначено для студентов III курса специальности «Промышленное и гражданское строительство».

ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с программой по строительной механике студенты строительных специальностей должны выполнить расчетно-проектировочную работу (РПР) по теме «Расчет шпренгельной фермы». Ограниченный тираж «Руководства к практическим занятиям» [4], а также отсутствие методических указаний по выполнению расчета шпренгельных ферм с применением персональных ЭВМ затрудняют выполнение этой работы.

Настоящие методические указания имеют цель:

- а) показать объем задания и порядок решения задач;
- б) дать пример оформления задания;
- в) привести дополнительные примеры решения характерных задач строительной механики;
- г) дать пример решения задачи на ЭВМ с использованием программы «LIRA-Windows» версии 9.4.

Помимо этого, методические указания содержат комплект вариантов задач с текстом задания и таблицами исходных данных.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНЫХ РАБОТ

Каждая расчетно-проектировочная работа должна содержать графическую часть с необходимыми вычислениями и объяснениями, которые приводятся в пояснительной записке.

Схемы, содержащие эпюры усилий, должны быть выполнены четко, аккуратно, в них необходимо указать масштабы длин и сил. В характерных сечениях на эпюрах усилий проставляются числовые значения последних. На эпюрах продольных и поперечных сил проставляются знаки (+) или (-). Ординаты эпюр изгибающих моментов откладываются со стороны растянутых волокон. Знак не указывается.

На титульном листе пояснительной записки необходимо привести следующие данные:

- 1) наименование вуза и кафедры;
- 2) название и номер работы;

3) факультет, курс, группу, фамилии студента и ведущего преподавателя.

С примерами оформления РПР можно ознакомиться на кафедре прикладной механики. Для получения зачета нужно выполнить все работы и защитить их. Принимая зачет, преподаватель проводит опрос по каждой теме: студенту предлагается решить ряд задач по той или иной расчетно-проектировочной работе.

Вариант задания для каждого студента определяется преподавателем в соответствии с номерами схем и строк, приводимых в табл. 1, 2.

ПОРЯДОК ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАНИЙ

Для заданной фермы, загруженной равномерно распределенной постоянной нагрузкой и испытывающей воздействие подвижной системы грузов, требуется:

1. Определить аналитически усилия от воздействия постоянной нагрузки в указанной панели фермы для следующих стержней:
 - 1 элемент нижнего пояса;
 - 1 элемент верхнего пояса;
 - 1 стойка;
 - 2 раскоса;
2. Построить линии влияния в указанных стержнях.
3. Установить наиболее опасное положение подвижной нагрузки для получения максимального и минимального значения усилия для любых (кроме 2-й категории) двух из заданных стержней фермы.
4. Определить максимальные и минимальные расчетные усилия в этих стержнях фермы (с учетом постоянной и временной нагрузок).
5. Определить с помощью ЭВМ усилия во всех стержнях фермы от воздействия постоянной нагрузки.

Размеры, нагрузки, схема подвижной конструкции даны в таблицах 1, 2. Шифр составлен из двух последних цифр номера зачетной книжки.

Таблица 1

| ПЕРВАЯ ЦИФРА ШИФРА | РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ФЕРМАМИ c , м | ДЛИНА ПАНЕЛИ d , м | ВТОРАЯ ЦИФРА ШИФРА | НОМЕР ФЕРМЫ | НОМЕР ПАНЕЛИ | ПОСТОЯННАЯ НАГРУЗКА q , кН/м ² |
|--------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------|--------------|---|
| 1 | 3 | 1,5 | 1 | 10 | 2 | 250 |
| 2 | 4 | 2,0 | 2 | 9 | 3 | 225 |
| 3 | 5 | 2,5 | 3 | 8 | 4 | 200 |
| 4 | 6 | 3,0 | 4 | 7 | 5 | 175 |
| 5 | 7 | 3,5 | 5 | 6 | 2 | 180 |
| 6 | 8 | 4,0 | 6 | 5 | 3 | 160 |
| 7 | 9 | 2,0 | 7 | 4 | 4 | 150 |
| 8 | 4 | 2,5 | 8 | 3 | 5 | 280 |
| 9 | 5 | 3,5 | 9 | 2 | 2 | 300 |
| 0 | 6 | 4,0 | 0 | 1 | 3 | 225 |

Таблица 2

| ВРЕМЕННАЯ НАГРУЗКА (рис. 1) | | | | | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|---------|---------|
| ВТОРАЯ ЦИФРА ШИФРА | P_1 , кН | P_2 , кН | P_3 , кН | P_4 , кН | a , м | b , м |
| 1 | 15 | 20 | 10 | 10 | 0,2 | 2,0 |
| 2 | 10 | 15 | 8 | 10 | 0,2 | 1,8 |
| 3 | 8 | 7 | 15 | 10 | 0,3 | 1,6 |
| 4 | 10 | 15 | 15 | 7 | 0,4 | 1,4 |
| 5 | 5 | 7 | 7 | 10 | 0,5 | 1,2 |
| 6 | 12 | 6 | 7 | 10 | 0,6 | 1,0 |
| 7 | 6 | 10 | 10 | 8 | 0,7 | 0,8 |
| 8 | 10 | 8 | 10 | 8 | 0,8 | 0,6 |
| 9 | 15 | 10 | 20 | 10 | 0,9 | 0,4 |
| 0 | 8 | 10 | 20 | 10 | 1 | 0,2 |

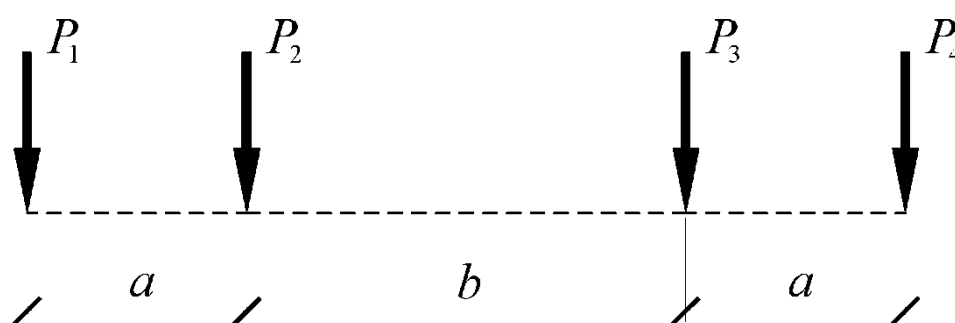
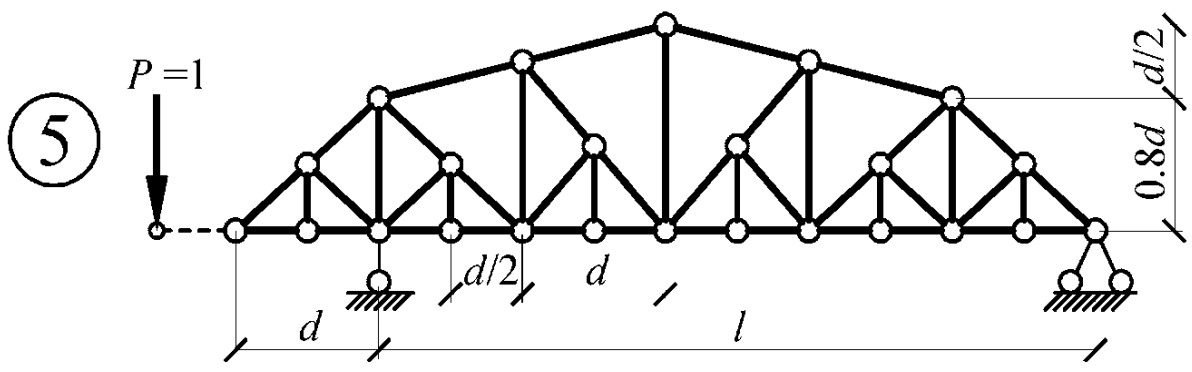
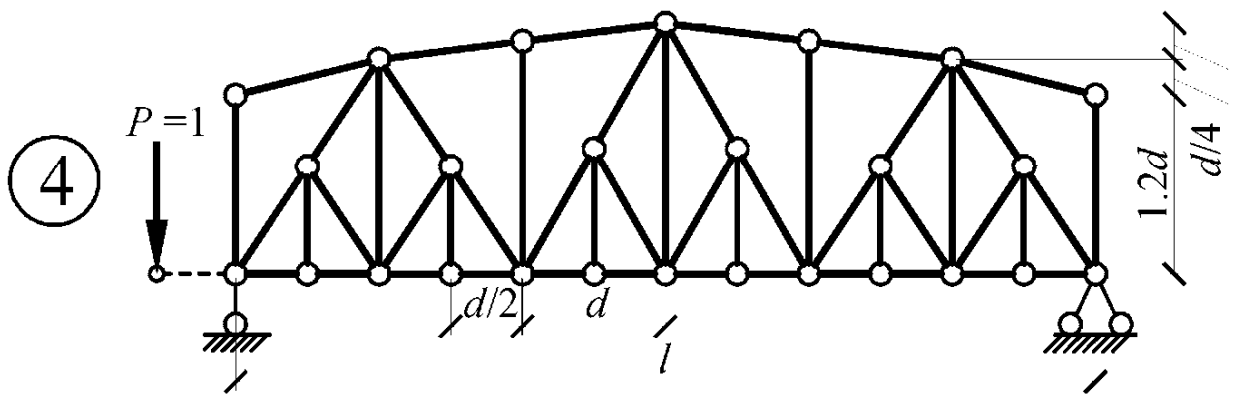
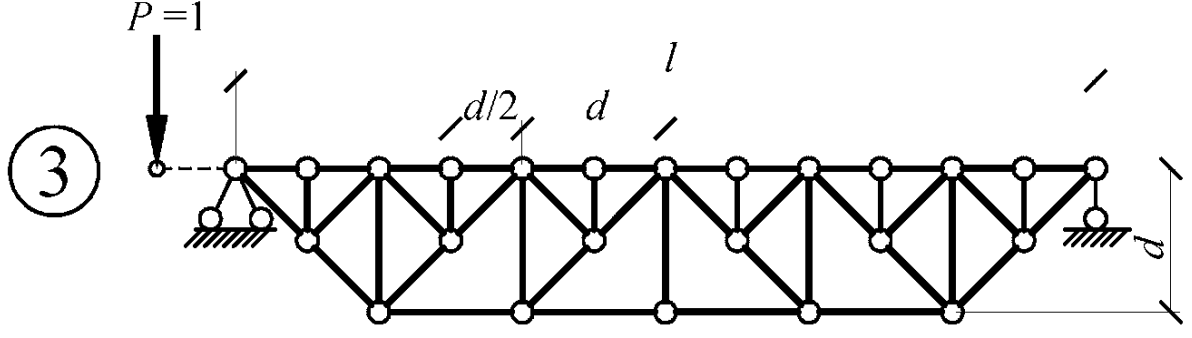
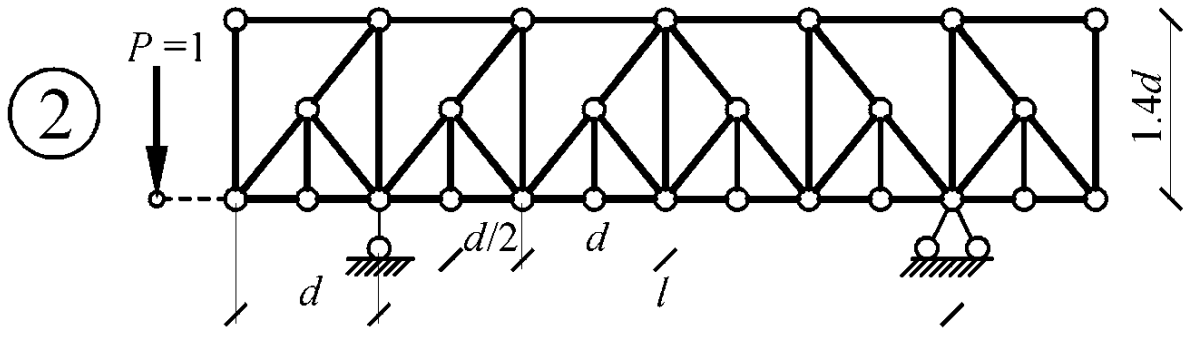
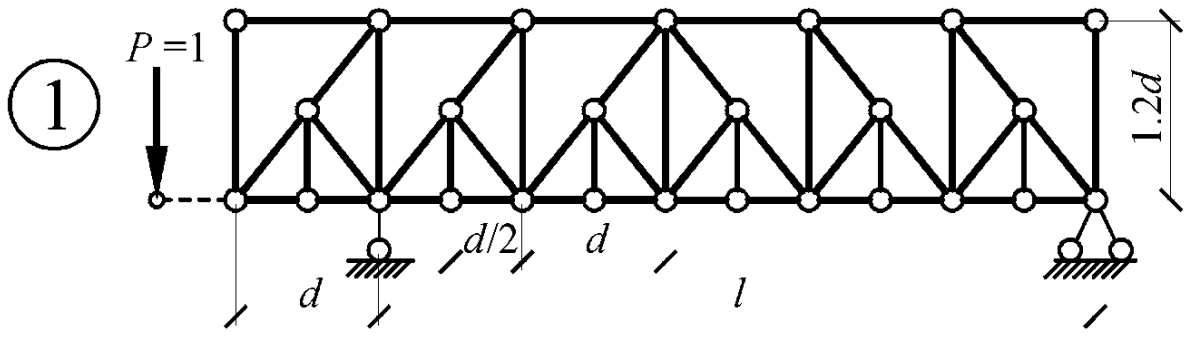
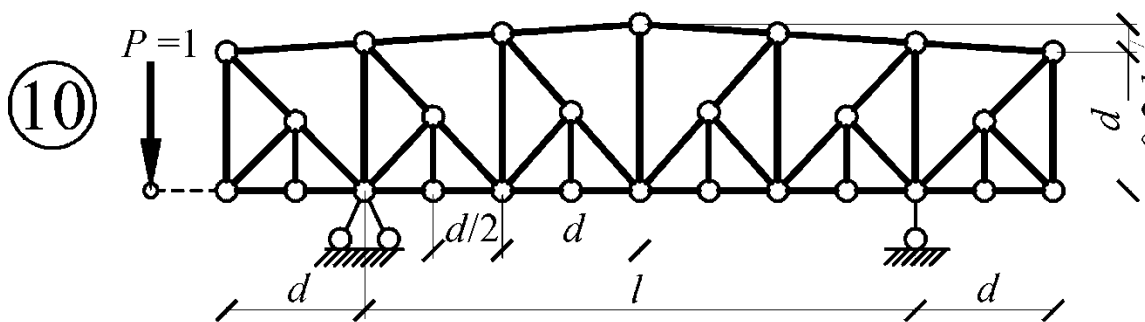
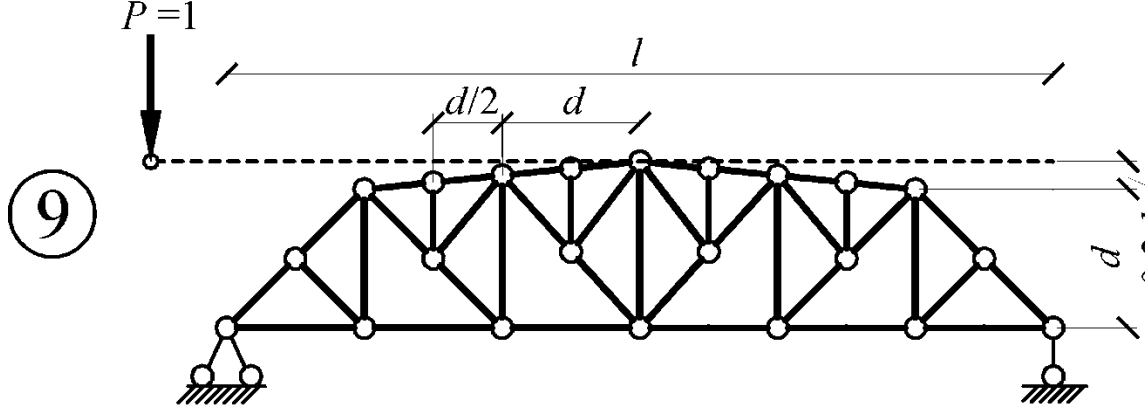
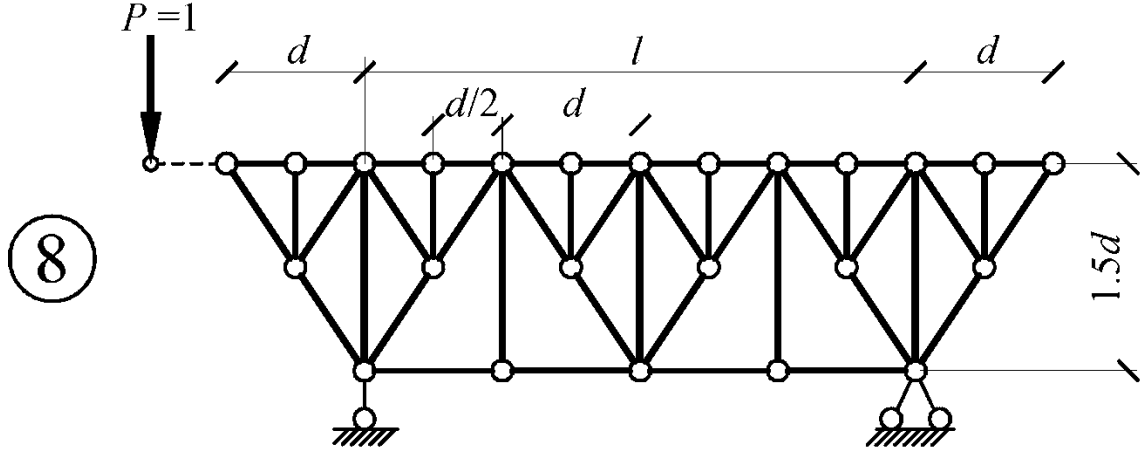
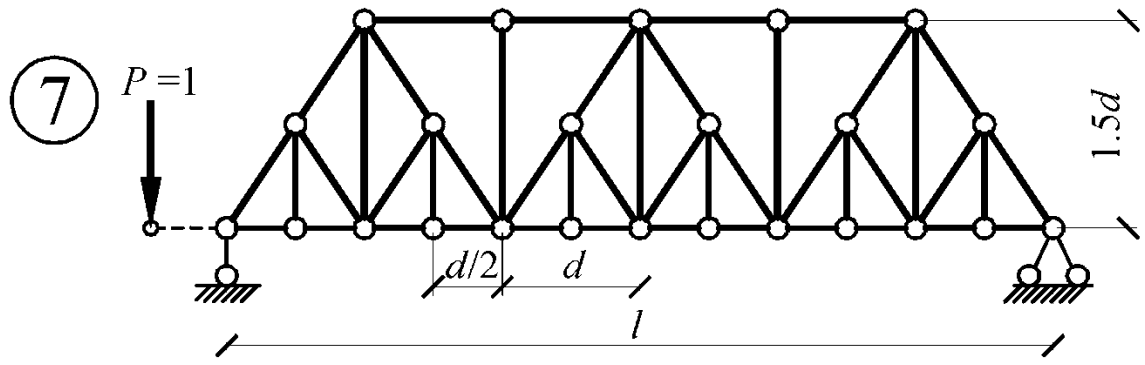
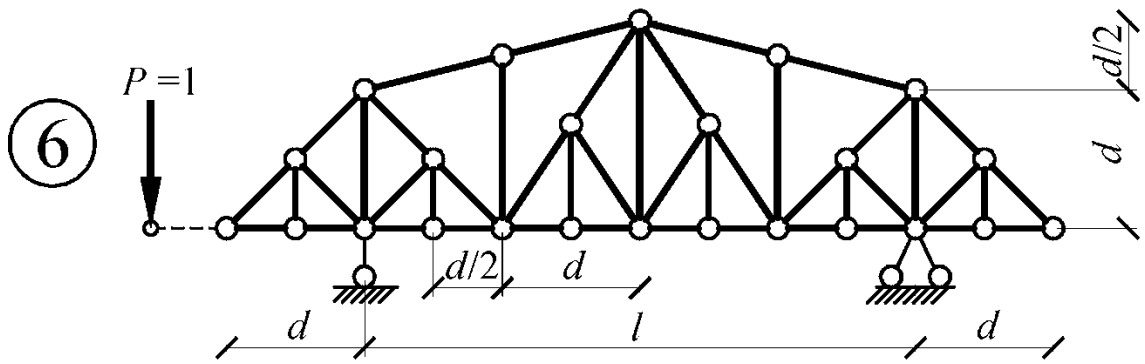


Рис. 1. Схема подвижной нагрузки

СХЕМЫ ФЕРМ





ПРИМЕР РАСЧЕТА ФЕРМЫ НА НЕПОДВИЖНУЮ НАГРУЗКУ

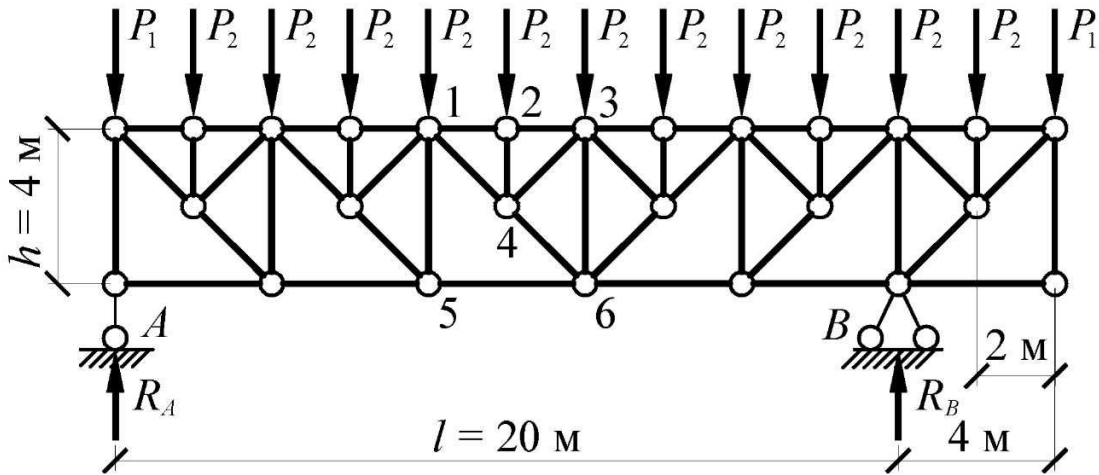


Рис. 2. Заданная ферма

Определение опорных реакций от заданной нагрузки

Проведем расчет фермы, изображенной на рис. 2

Определим линейную нагрузку, при $c = 6$ м, $q = 100$ кН/м²:

$$q_1 = q \cdot \left(\frac{c}{2} + \frac{c}{2} \right) = 100 \cdot \left(\frac{6}{2} + \frac{6}{2} \right) = 600 \text{ кН/м.}$$

При действии на ферму вертикальной нагрузки $q_1 = 600$ кН/м возникают две опорные реакции R_A и R_B , определяемые из следующих уравнений статики.

1. Равенство нулю суммы моментов всех сил относительно шарнира B , из которого определяется опорная реакция R_A .

2. Равенство нулю суммы моментов всех сил относительно шарнира A , из которого определяется опорная реакция R_B .

$$\sum M_A = 0: R_B \cdot 20 - q_1 \cdot 24 \cdot \frac{24}{2} = 0; \text{ откуда } R_B = 8640 \text{ кН.}$$

$$\sum M_B = 0: -R_A \cdot 20 - q_1 \cdot 20 \cdot \frac{20}{2} - q_1 \cdot 4 \cdot \frac{4}{2} = 0; \text{ откуда } R_A = 5760 \text{ кН.}$$

Проверка правильности вычисления опорных реакций осуществляется по формуле

$$\sum Y = 0: R_A + R_B - q_1 \cdot 24 = 5760 + 8640 - 14400 = 0.$$

Реакции вычислены верно.

Определение продольных усилий в стержнях шпренгельной решетки

Для определения продольных усилий перераспределим внешнюю нагрузку q_1 в узлы шпренгельной фермы:

$$P_1 = q_1 \cdot \frac{d}{4} = 600 \cdot 1 = 600 \text{ кН};$$

$$P_2 = q_1 \cdot \left(\frac{d}{4} + \frac{d}{4}\right) = 600 \cdot \frac{4}{2} = 1200 \text{ кН},$$

где P_1 – силы в крайних узлах фермы;

P_2 – силы во всех остальных узлах фермы.

Снимаем шпренгельную фермочку и известными способами определим усилия в стержнях (рис. 3).

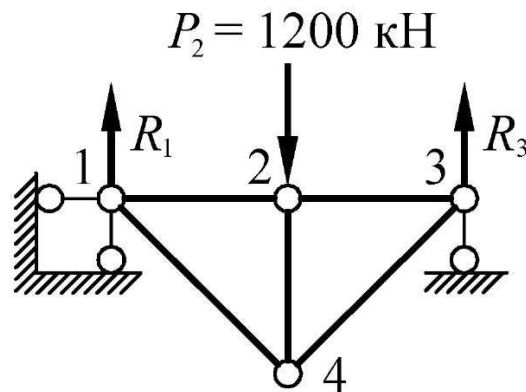


Рис. 3. Расчетная схема шпренгеля.

$$\sum M_3 = 0: R_1 \cdot 4 - P_2 \cdot 2 = 0; \text{ отсюда } R_1 = 600 \text{ кН.}$$

$$\sum M_1 = 0: -R_3 \cdot 4 + P_2 \cdot 2 = 0; \text{ отсюда } R_3 = 600 \text{ кН.}$$

Проверку осуществим по формуле

$$\sum Y = 0: R_1 + R_3 - P_2 = 600 + 600 - 1200 = 0.$$

Реакции вычислены верно.

Усилия в стержнях 1-го узла определим методом вырезания узлов (рис. 4).

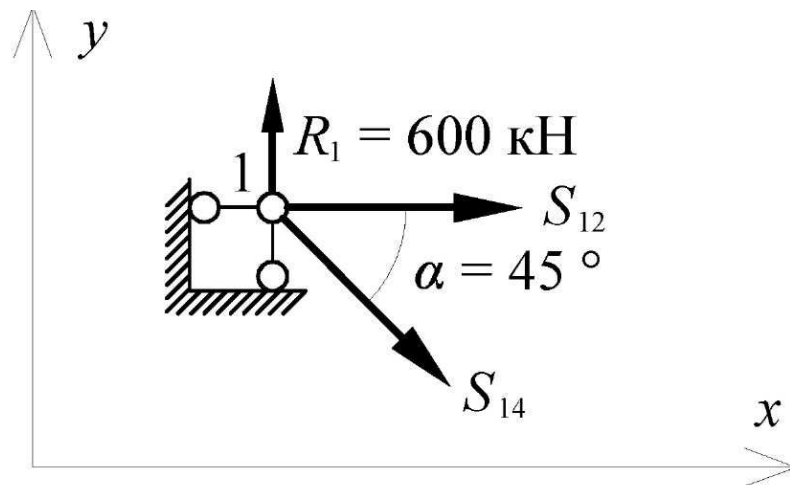


Рис. 4. Расчетная схема для определения усилий S_{12} и S_{14}

Узел 1.

$$\sum Y = 0: -S_{14} \cdot \sin \alpha + R_1 = 0; \text{ отсюда } S_{14} = \frac{R_1}{\sin \alpha} = 845 \text{ кН.}$$

$$\sum X = 0: S_{12} + S_{14} \cdot \cos \alpha = 0; \text{ отсюда } S_{12} = -S_{14} \cdot \cos \alpha = -600 \text{ кН.}$$

Поскольку шпренгельная фермочка симметрична, то

$$S_{34} = S_{14} = 845 \text{ кН;}$$

$$S_{32} = S_{12} = -600 \text{ кН.}$$

Вырезаем узел 2 и определяем усилия в стержне 2-4 (рис. 5).

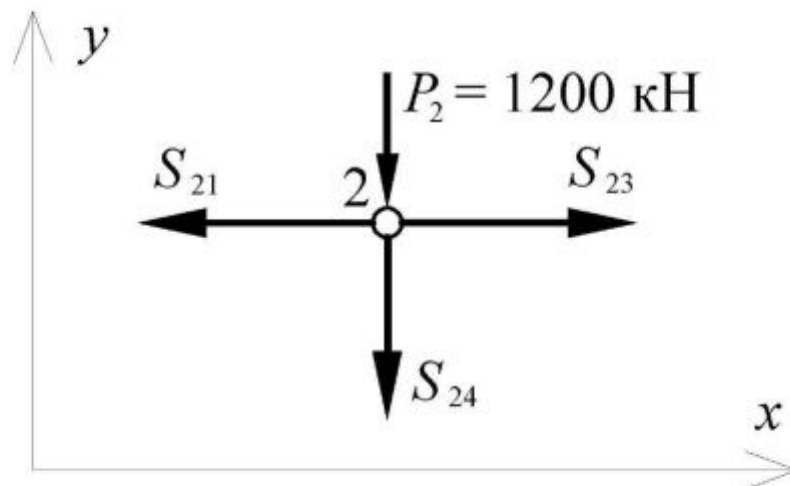


Рис. 5. Расчетная схема для определения усилий S_{24}

Узел 2.

$$\sum Y = 0: -S_{24} - P_2 = 0; \text{ отсюда } S_{24} = -1200 \text{ кН.}$$

Определение усилий в стержнях основной фермы

Перераспределим внешнюю нагрузку в узлы основной фермы. Определим узловую нагрузку основной фермы P_3 и P_4 (рис. 6).

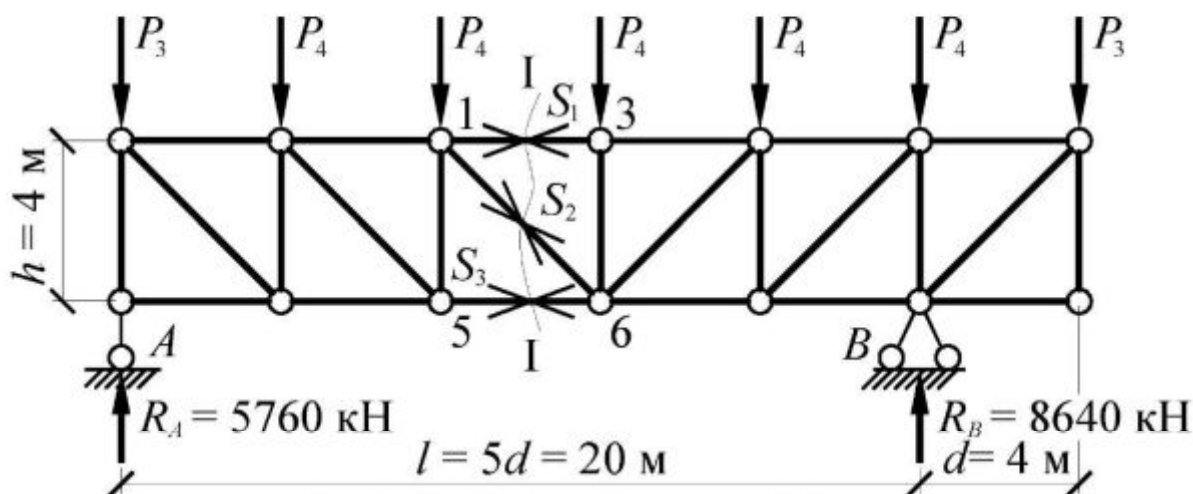


Рис. 6. Расчетная схема основной фермы

$$P_3 = q_1 \cdot \frac{d}{2} = 600 \cdot 2 = 1200 \text{ кН или } P_3 = P_1 + \frac{P_2}{2} = 600 + 600 = 1200 \text{ кН};$$

$$P_4 = q_1 \cdot \left(\frac{d}{2} + \frac{d}{2}\right) = 600 \cdot 4 = 2400 \text{ кН или } P_4 = \frac{P_2}{2} + P_1 + \frac{P_2}{2} = 2400 \text{ кН}.$$

Опорные реакции основной фермы равны опорным реакциям шпренгельной фермы.

Определим усилия S_1 в стержне 1-3 методом моментных точек. Для этого разрежем панель сечением I-I. При определении усилия S_1 моментной точкой является узел 6.

$$\sum M_6^{\text{пр.ч.}} = 0: -S_1 \cdot h - R_B \cdot 2d + P_3 \cdot 3d + P_4 \cdot d + P_4 \cdot 2d = 0;$$

$$S_1 = \frac{d}{h} \cdot (-R_B \cdot 2 + P_3 \cdot 3 + 3 \cdot P_4); S_1 = -6480 \text{ кН}.$$

Так как усилие S_1 имеет отрицательный знак, то стержень 1-3 сжат.

Усилие S_2 определяем методом проекций:

$$\sum Y^{\text{пр.ч.}} = 0: S_2 \cdot \sin \alpha + R_B - P_3 - 3P_4 = 0;$$

$$S_2 = \frac{(-R_B + P_3 + 2P_4)}{\sin \alpha}; S_2 = -338 \text{ кН}.$$

Усилие S_2 отрицательно, следовательно, стержень 1-6 сжат.

Усилие S_3 определяем методом моментных точек. Моментной точкой является узел 1.

$$\sum M^{л.ч.} = 0: -S_3 \cdot h - P_3 \cdot 2d + R_A \cdot 2d - P_4 \cdot d = 0;$$

$$S_3 = \frac{d}{h} \cdot (-P_3 \cdot 2 + R_A \cdot 2 - P_4); S_3 = 6720 \text{ кН (стержень растянут)}.$$

Усилие S_4 в стержне 3-6 определим методом вырезания узлов (рис. 7).

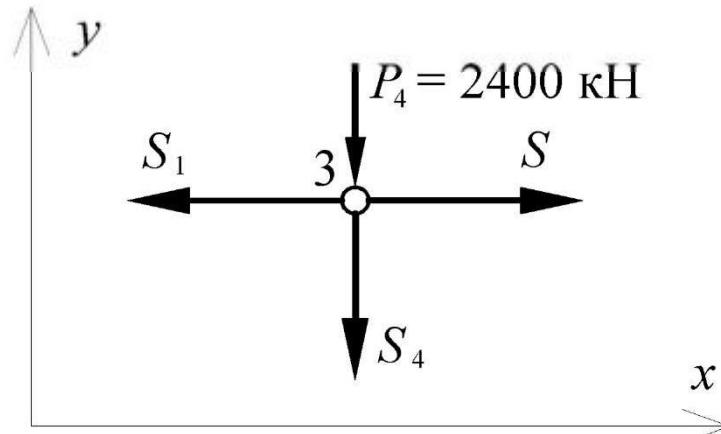


Рис. 7. Расчетная схема для определения усилия S_4

Узел 3.

$$\sum Y = 0: -S_4 - P_4 = 0; S_4 = -2400 \text{ кН (стержень сжат)}.$$

Усилие S_5 в стержне 1-5 определяем методом проекций, после рассечения фермы сечением II-II (рис. 8).

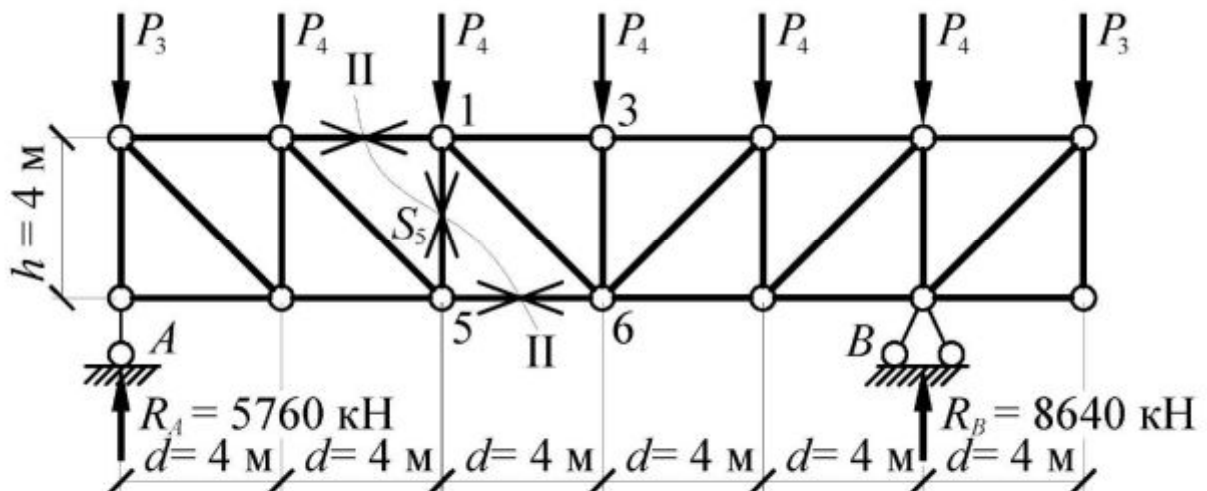


Рис. 8. Расчетная схема для определения усилия S_5 в стержне 1-5

$$\sum Y^{л.ч.} = 0: R_A - P_3 - P_4 + S_5 = 0; S_5 = -2160 \text{ кН (стержень сжат)}.$$

Определение усилий в стержнях шпренгельной фермы

У данной на рис. 2 фермы имеются стержни трех категорий:

- 1 – все стержни верхнего пояса, все длинные стойки и все стержни типа 4-6;
- 2 – принадлежащие только шпренгелю – все короткие стойки и раскосы типа 3-4;
- 3 – принадлежащие и основной ферме и шпренгельной фермочке, стержни типа 1-4, 1-2, 2-3.

Продольные усилия в стержнях шпренгельной фермы обозначим через N .

$$N_{36} = S_4 = -2400 \text{ кН (стержень 1-й категории).}$$

$$N_{46} = S_2 = -338 \text{ кН (стержень 1-й категории).}$$

$$N_{56} = S_3 = 6720 \text{ кН (стержень 1-й категории).}$$

$$N_{24} = S_{34} = 845 \text{ кН (стержень 2-й категории).}$$

$$N_{24} = S_{24} = -1200 \text{ кН (стержень 2-й категории).}$$

$$N_{12} = N_{32} = S_1 + S_{12} = -6480 - 600 = -7080 \text{ кН (стержень 3-й категории).}$$

$$N_{14} = S_2 + S_{14} = -338 + 845 = 507 \text{ кН (стержень 3-й категории).}$$

Построение линий влияния в стержнях шпренгельных ферм

Линии влияния опорных реакций

Приведем формулы вертикальных опорных реакций, которые будут необходимы для вывода аналитических выражений усилий в стержнях фермы и построения их линий влияния. При принятой системе координат с началом на опоре B аналитическое выражение R_A и R_B найдем соответственно из выражений

$$\sum M_A = -R_B \cdot l + P \cdot (l - x) = 0;$$

$$\sum M_B = R_A \cdot l - P \cdot x = 0,$$

откуда при $P = 1$

$$R_A = \frac{x}{l}; \quad R_B = \frac{l - x}{l}.$$

Вычисляем численные значения R_A и R_B :

при $x = 0$ $R_A = 0$, $R_B = 1$;

при $x = l$ $R_A = 1$, $R_B = 0$.

Линии влияния опорных реакций показаны на рис. 9 а, б.

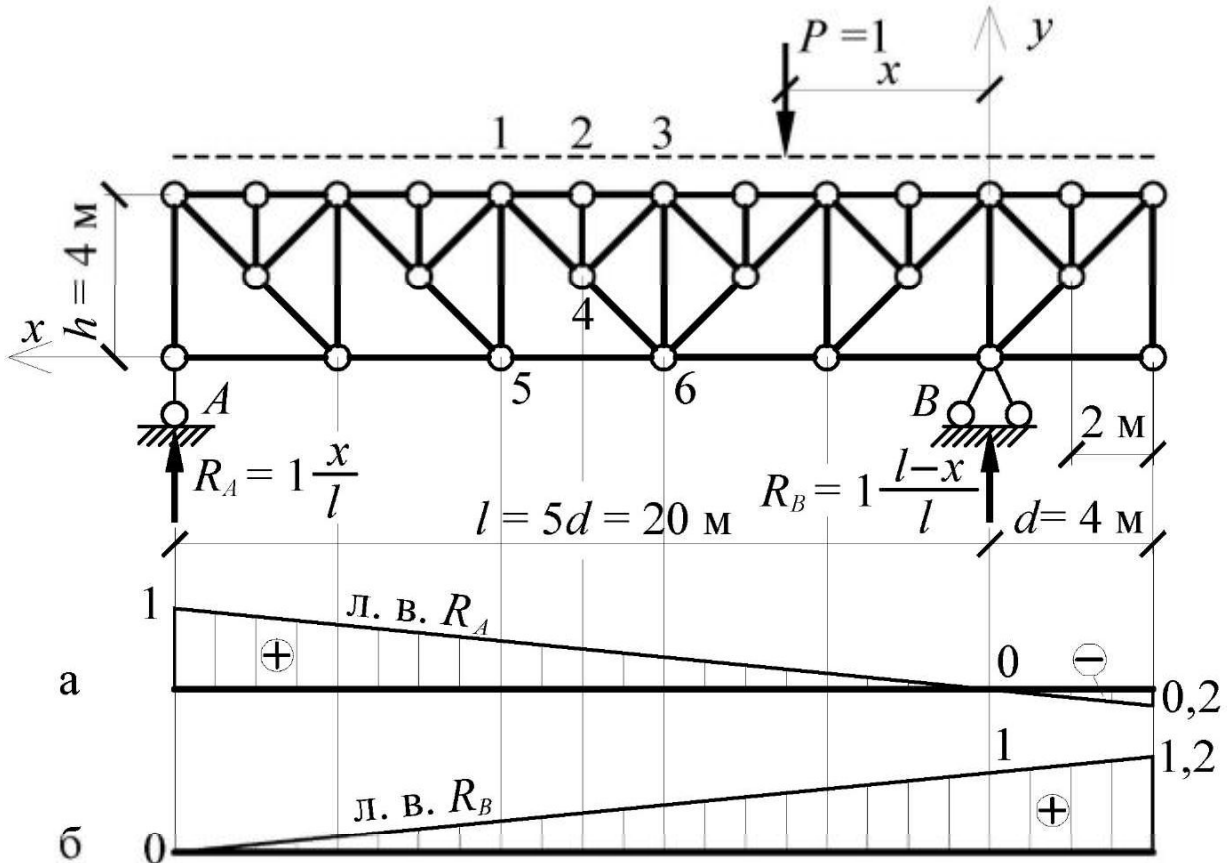


Рис. 9. Линии влияния опорных реакций

Построение линий влияния продольных сил в стержнях указанной панели

Линии влияния усилий в стержнях шпренгельной фермочки

1. Примем $P = 1$ в узлах 1 или 3. Стержни шпренгеля не работают, поэтому

$$S_{14} = S_{34} = S_{12} = S_{32} = S_{24} = 0.$$

2. Примем $P = 1$ в узле 2, в этом случае $R_1 = 0,5$, $R_3 = 0,5$; методом вырезания узлов определяем усилия во всех стержнях шпренгеля (рис. 10).

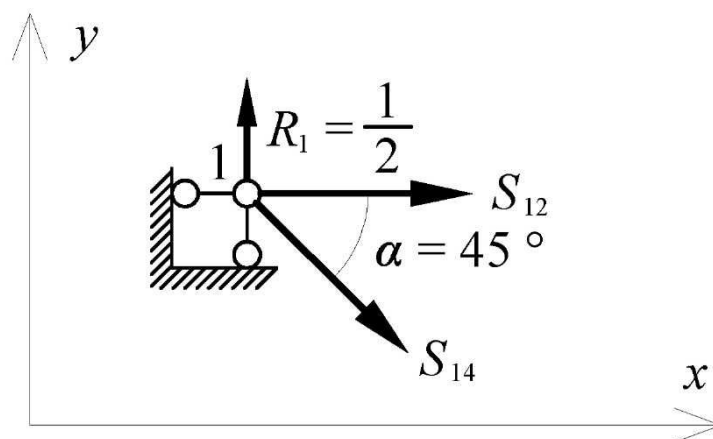


Рис. 10. Расчетная схема для определения усилия S_{12} и S_{14} от $P = 1$ в узле 1

$$\sum Y = 0; S_{14} \cdot \sin \alpha + R_1 = 0; S_{14} = \frac{-R_1}{\sin \alpha} = -0,7;$$

$$\sum X = 0; S_{12} + S_{14} \cdot \cos \alpha = 0; S_{12} = -S_{14} \cdot \cos \alpha = 0,5.$$

Поскольку шпренгель симметричный, то

$$S_{34} = S_{14} = -0,7;$$

$$S_{32} = S_{12} = 0,5.$$

Вырезаем узел 2 (рис. 11).

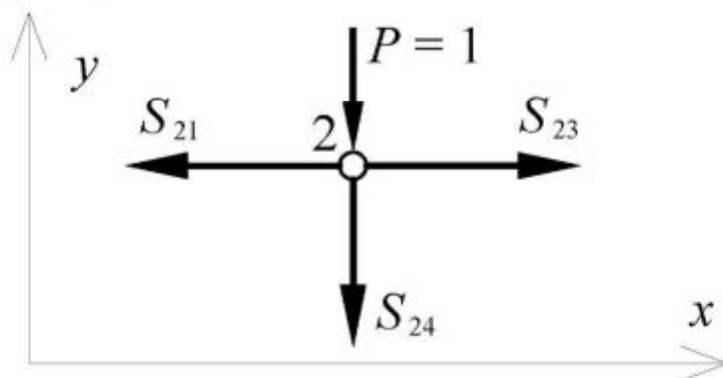
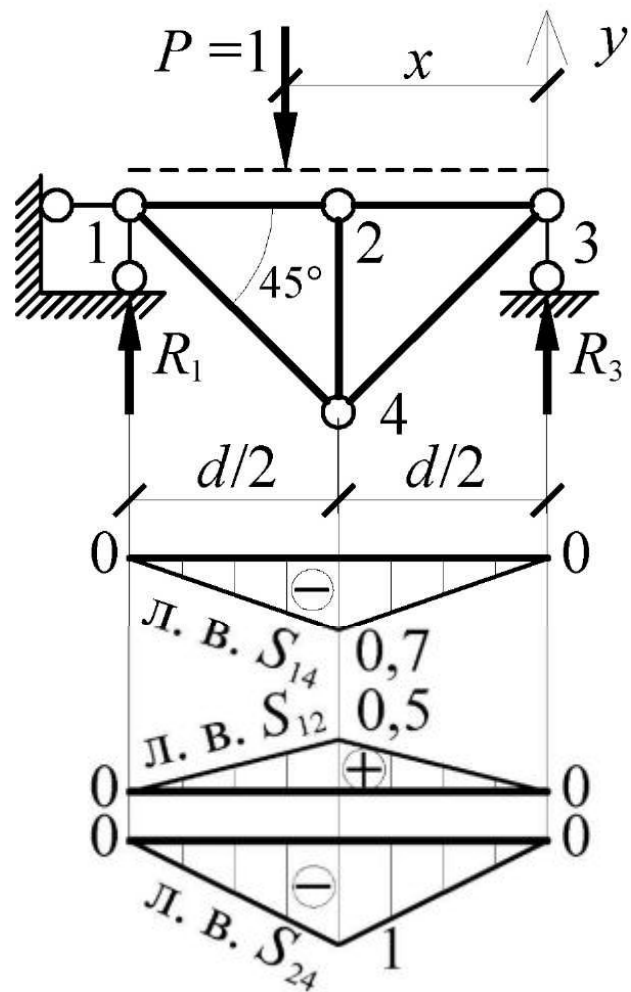


Рис. 11. Расчетная схема для определения усилия S_{24} от $P = 1$ в узле 2

$$\sum Y = 0: -S_{24} - P = 0; \text{откуда } S_{24} = -1.$$

По найденным значениям ординат строятся л. в. S_{14} , л. в. S_{12} , л. в. S_{24} , рис. 12.



Линии влияния усилий в стержнях основной фермы

Для построения линий влияния разрежем панель сечением I-I (рис. 13).

Построение л. в. S_1 в стержне 1-3.

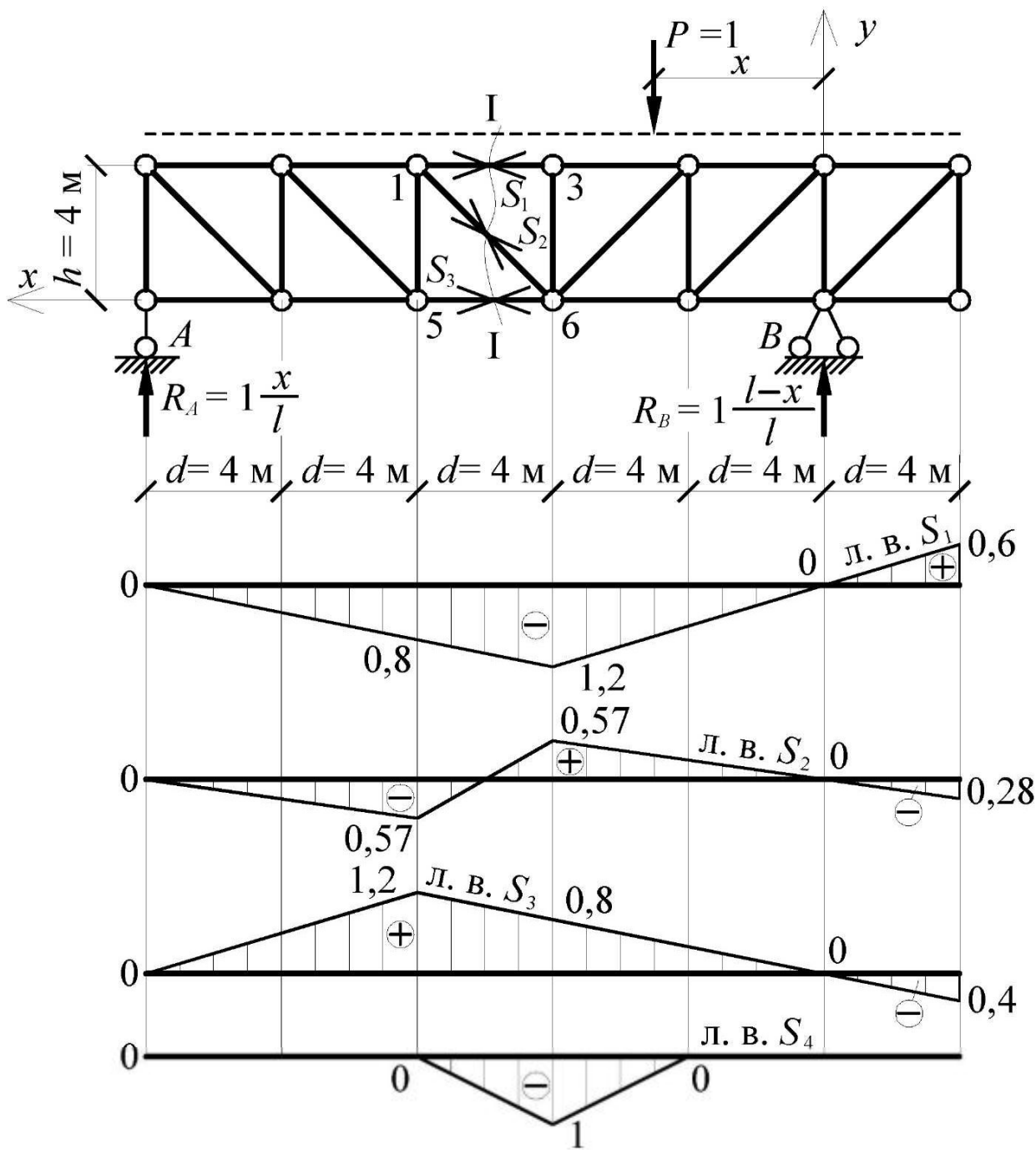


Рис. 13. Схема для построения л. в. усилий S_1, S_2, S_3, S_4 в стержнях основной фермы

1. Примем $P = 1$ левее сечения I-I, $3d \leq x \leq 5d$, $R_B = \frac{l-x}{l}$.

Рассмотрим равновесие правой отсеченной части

$$\sum M_6^{\text{пр.ч.}} = 0: -S_1 \cdot h - R_B \cdot 2d = 0; S_1 = \frac{2d}{h} \cdot (-R_B) = -2 \cdot \frac{l-x}{l}.$$

Характерные ординаты продольной силы равны:

$$\text{при } x = 3d \quad S_1 = -0,8;$$

при $x = l$ $S_1 = 0$.

2. Примем $P = 1$ правее сечения I-I, $-d \leq x \leq 2d$, $R_A = \frac{x}{l}$.

Рассмотрим равновесие левой отсеченной части.

$$\sum M_6^{л.ч.} = 0; S_1 \cdot h + R_A \cdot 3d = 0; S_1 = \frac{d}{h} \cdot (-3R_A) = -3 \cdot \frac{x}{l}.$$

при $x = 0$ $S_1 = 0$;

при $x = 2d$ $S_1 = -1,2$;

при $x = -d$ $S_1 = 0,6$.

Линия влияния S_1 показана на рис. 13.

Построение л. в. S_2 в стержне 1-6.

1. Примем $P = 1$ левее сечения I-I, $3d \leq x \leq 5d$, $R_B = \frac{l-x}{l}$.

$$\sum Y^{пр.ч.} = 0; S_2 \cdot \sin \alpha + R_B = 0; S_2 = -\frac{l-x}{l} \cdot \frac{1}{\sin \alpha};$$

при $x = 3d$ $S_2 = -0,57$;

при $x = l$ $S_2 = 0$.

2. Примем $P = 1$ правее сечения I-I, $-d \leq x \leq 2d$, $R_A = \frac{x}{l}$.

$$\sum Y^{л.ч.} = 0; -S_2 \cdot \sin \alpha + R_A = 0; S_2 = \frac{x}{l} \cdot \frac{1}{\sin \alpha};$$

при $x = 0$ $S_2 = 0$;

при $x = 2d$ $S_2 = 0,57$;

при $x = -d$ $S_2 = -0,5$.

Линия влияния S_2 показана на рис. 13.

Построение л. в. S_3 в стержне 5-6.

1. Примем $P = 1$ левее сечения I-I, $3d \leq x \leq 5d$, $R_B = \frac{l-x}{l}$.

$$\sum M_5^{пр.ч.} = 0; S_3 \cdot h - R_B \cdot 3d = 0; S_3 = 3R_B \cdot \frac{d}{h} = 4 \cdot \frac{l-x}{l};$$

при $x = 3d$ $S_3 = 1,2$;

при $x = l$ $S_3 = 0$.

2. Примем $P = 1$ правее сечения I-I, $-d \leq x \leq 2d$, $R_A = \frac{x}{l}$.

$$\sum M_5^{л.ч.} = 0; -S_3 \cdot h + R_A \cdot 2d = 0; S_3 = 2R_A = 2 \cdot \frac{x}{l};$$

$$\text{при } x = 0 \quad S_3 = 0;$$

$$\text{при } x = 2d \quad S_3 = 0,8;$$

$$\text{при } x = -d \quad S_3 = -0,4.$$

Линия влияния S_3 показана на рис. 13.

Построение л. в. S_4 в стержне 3-6.

Усилие S_4 от действия единичной силы определяем, вырезав узел 2 (рис. 14).

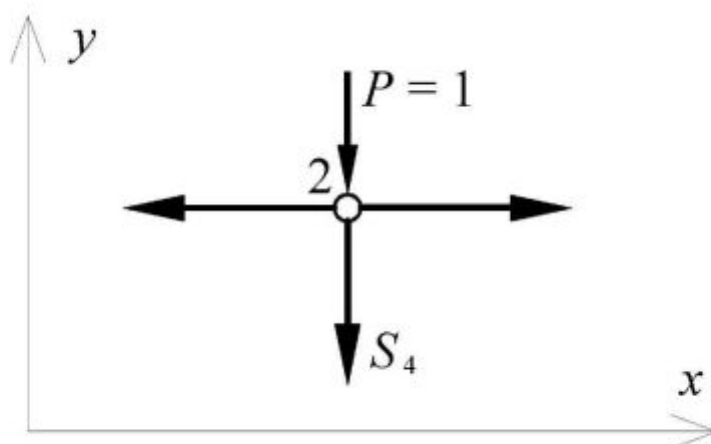


Рис. 14. Определение усилия S_4 от $P = 1$ в узле 2

1. Пусть $P = 1$ в узле 2.

$$\sum Y = 0; -S_4 - P = 0; S_4 = -P = -1.$$

2. Пусть $P = 1$ в остальных узлах основной фермы.

$$\sum Y = 0; S_4 = 0.$$

Построение л. в. S_5 в стержне 1-5 основной фермы.

Рассекаем основную ферму сечением II-II на две части, так чтобы сечение проходило через три стержня (рис. 15).

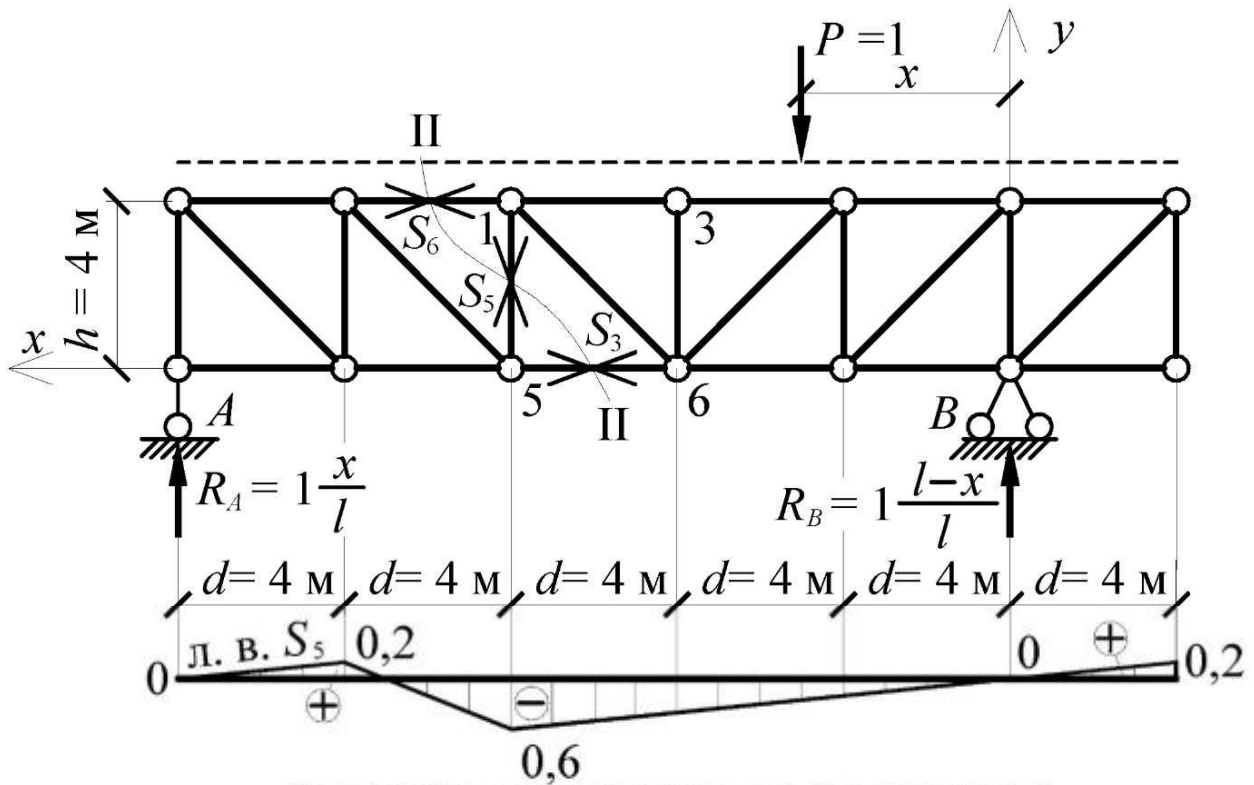


Рис. 15. Схема к построению л. в. S_5 в стержне 1-5

1.Примем $P = 1$ левее сечения II – II, $4d \leq x \leq 5d$, $R_B = \frac{l-x}{l}$.

Рассмотрим равновесие правой части.

$$\sum Y^{\text{пр.ч.}} = 0; -S_5 + R_B = 0; S_5 = R_B = \frac{l-x}{l};$$

при $x = 5d$ $S_5 = 0$;

при $x = 4d$ $S_5 = 0,2$.

2.Примем $P = 1$ правее сечения II – II, $-d \leq x \leq 3d$, $R_A = \frac{x}{l}$.

Рассмотрим равновесие левой части.

$$\sum Y^{\text{л.ч.}} = 0; S_5 + R_A = 0; S_5 = -R_A = \frac{x}{l};$$

при $x = -d$ $S_5 = 0,2$;

при $x = 0$ $S_5 = 0$;

при $x = 3d$ $S_5 = -0,6$.

По вычисленным значениям ординат строим линию влияния усилия S_5 (рис. 15).

Построение линий влияния усилий в стержнях шпренгельной фермы

Линии влияния продольных усилий в стержнях шпренгельной фермы построены методом наложения.

В стержнях 1-й категории шпренгельной фермы л. в. совпадают с л. в. соответствующих стержней основной фермы (рис. 16 а, б, в, г).

В стержнях 2-й категории шпренгельной фермы л. в. совпадают с л. в. соответствующих стержней шпренгельной решетки (рис. 16 д, е).

В стержнях 3-й категории шпренгельной фермы л. в. получают алгебраическим суммированием соответственно л. в. стержней 1-й и 2-й категории (рис. 16 ж, з).

ЛВ $N_{56} = \text{ЛВ } S_3$ (стержень 1-й категории).

ЛВ $N_{64} = \text{ЛВ } S_2$ (стержень 1-й категории).

ЛВ $N_{26} = \text{ЛВ } S_4$ (стержень 1-й категории).

ЛВ $N_{15} = \text{ЛВ } S_5$ (стержень 1-й категории).

ЛВ $N_{24} = \text{ЛВ } S_{24}$ (стержень 2-й категории).

ЛВ $N_{34} = \text{ЛВ } S_{34}$ (стержень 2-й категории).

ЛВ $N_{13} = \text{ЛВ } S_2 + \text{ЛВ } S_{14}$ (стержень 3-й категории).

ЛВ $N_{12} = \text{ЛВ } N_{23} = \text{ЛВ } S_1 + \text{ЛВ } S_{12}$ (стержень 3-й категории).

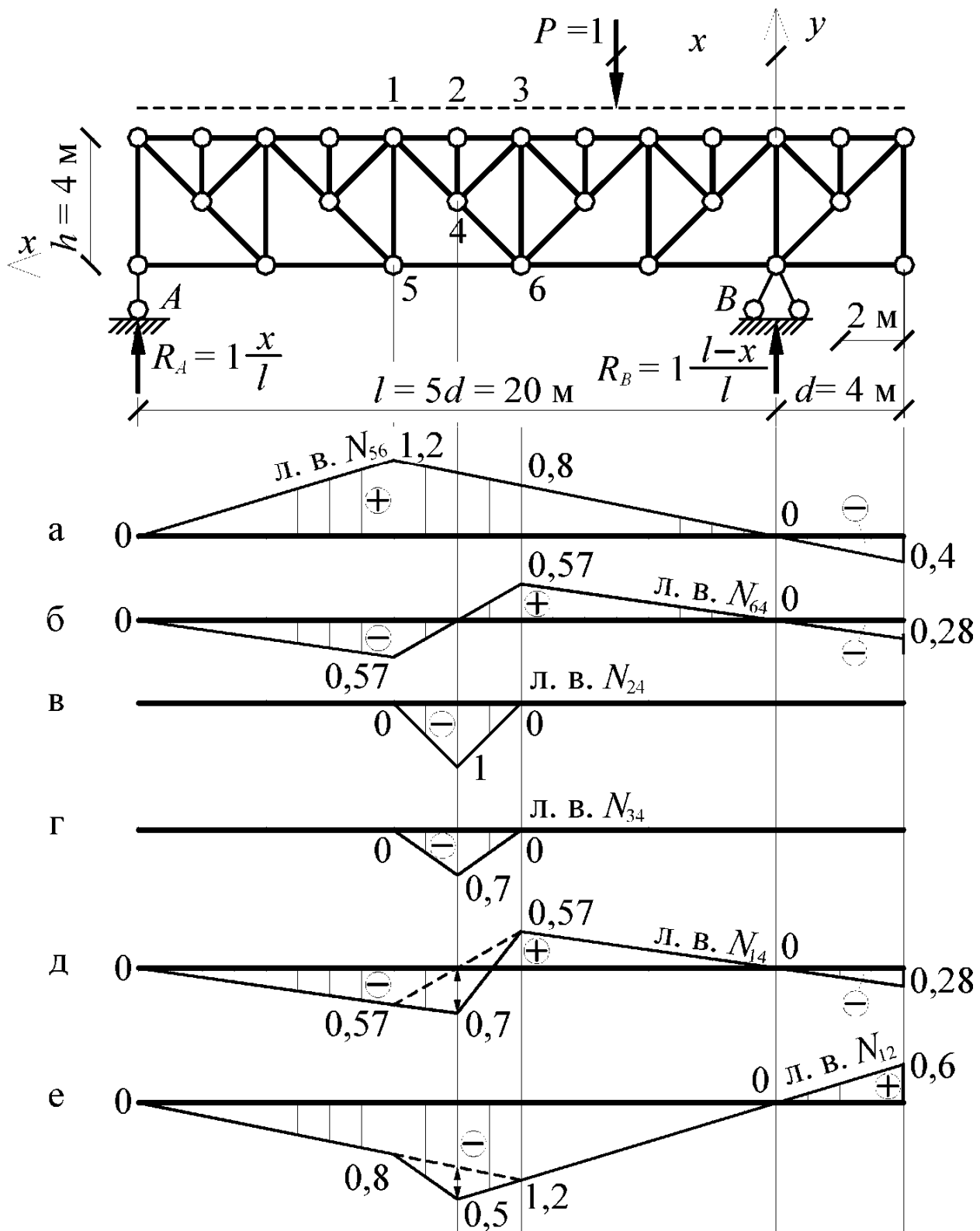
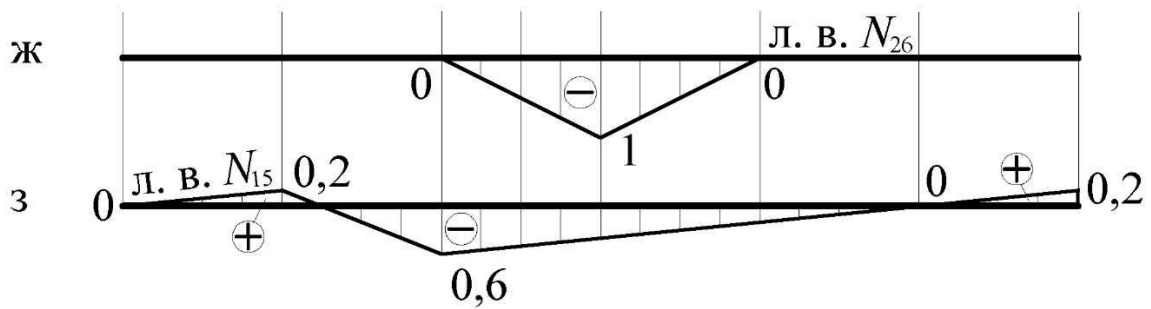


Рис. 16. Линии влияния продольных усилий в стержнях
 1 категории а, б, в, г; 2 категории д, е; 3 категории ж, з



**Определение $\max N$ и $\min N$ в стержнях шпренгельной фермы
от совместного действия постоянной и временной нагрузки**

Величины максимальных и минимальных продольных усилий от совместного действия постоянной и временной нагрузки определяются следующим образом:

$$\max N = N^{\text{пост}} + \max N^{\text{вп}};$$

$$\min N = N^{\text{пост}} + \min N^{\text{вп}},$$

где $\max N$ – продольная сила в стержне от действия постоянной $N^{\text{пост}}$ и положительной временной нагрузки $\max N^{\text{вп}}$;

$\min N$ – продольная сила в стержне от действия постоянной $N^{\text{пост}}$ и отрицательной временной нагрузки $\min N^{\text{вп}}$.

Усилие $N_{56}^{\text{пост}}$ по линии влияния от заданной нагрузки $q_1 = 600 \text{ кН/м}$ определится по формуле

$$N_{56}^{\text{пост}} = q_1 \cdot \omega;$$

где ω – площадь участка линии влияния усилия N_{56} под нагрузкой q_1 .

$$N_{56}^{\text{пост}} = 600 \cdot (-0,4 \cdot 4 \cdot 0,5 + 1,2 \cdot 8 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 1,2 \cdot 12) = 6720 \text{ кН.}$$

Усилие $N_{56}^{\text{пост}}$, определенное другим способом, стр. 12: $N_{56}^{\text{пост}} = 6720 \text{ кН.}$

Определение $\max N_{56}^{\text{вп}}$ от временной нагрузки в стержне 5-6.

Используется ранее построенная линия влияния продольной силы N_{56} (рис. 16 а) и вновь показанная на рис. 17.

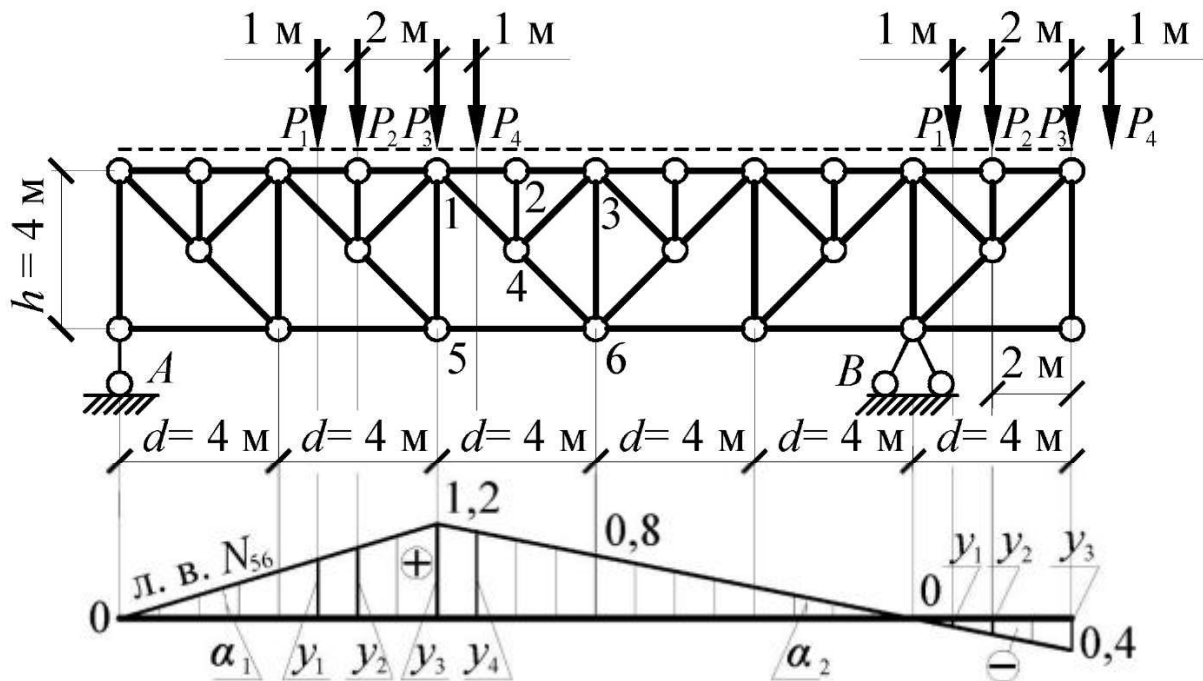


Рис. 17. Схема к определению опасного положения

Для определения временной нагрузки для стержня 56 в наиболее опасном положении временной нагрузки, нужно проверить выполнение условия

$$\sum \operatorname{tg} \alpha_i \cdot P_i \leq 0.$$

Найдем тангенсы угла наклона линии влияния под нагрузкой по рис. 17.

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{1,2}{8} = 0,15;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = -\frac{1,2}{12} = -0,1.$$

1. Пусть сила P_1 является критической.

а) Примем $P_1^{\text{кр}}$ левее положительной вершины K линии влияния N_{56} .

$$P_1^{\text{кр}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 + (P_2 + P_3 + P_4) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = 10 \cdot 0,15 + (20 + 40 + 10) \cdot (-0,1) = -5,5 < 0.$$

б) Примем $P_1^{\text{кр}}$ правее этой же вершины K линии влияния N_{56} .

$$(P_1^{\text{кр}} + P_2 + P_3 + P_4) \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = (10 + 20 + 40 + 10) \cdot (-0,1) = -8 < 0.$$

Сила P_1 не является критической, так как не меняет знак функции $\sum \operatorname{tg} \alpha_i \cdot P_i$.

2. Пусть сила P_2 является критической.

а) Примем $P_2^{\text{кр}}$ левее вершины K линии влияния N_{56} .

$$\begin{aligned} (P_1 + P_2^{\text{кр}}) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 + (P_3 + P_4) \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = \\ = (10 + 20) \cdot 0,15 + (40 + 10) \cdot (-0,1) = -0,5 < 0. \end{aligned}$$

б) Примем $P_2^{кр}$ правее вершины K линии влияния N_{56} .

$$P_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 + (P_2^{кр} + P_3 + P_4) \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = 10 \cdot 0,15 + (20 + 40 + 10) \cdot (-0,1) = -5,5 < 0.$$

Сила P_2 не является критической, так как не меняет знак функции $\sum \operatorname{tg} \alpha_i \cdot P_i$.

3. Пусть сила P_3 является критической.

а) Примем $P_3^{кр}$ левее вершины K линии влияния N_{56} .

$$(P_1 + P_2 + P_3^{кр}) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 + P_4 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = (10 + 20 + 40) \cdot (0,15) + 10 \cdot (-0,1) = 9,5 > 0.$$

б) Примем $P_3^{кр}$ правее вершины K линии влияния N_{56} .

$$\begin{aligned} (P_1 + P_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 + (P_3^{кр} + P_4) \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = \\ = (10 + 20) \cdot (0,15) + (40 + 10) \cdot (-0,1) = -0,5 < 0. \end{aligned}$$

Сила P_3 является критической, поскольку поменялся знак функции $\sum \operatorname{tg} \alpha_i \cdot P_i$ при переходе через вершину K л. в. N_{56} на противоположный.

4. Пусть сила P_4 является критической.

а) Примем $P_4^{кр}$ левее вершины K линии влияния N_{56} .

$$(P_1 + P_2 + P_3 + P_4^{кр}) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = (10 + 20 + 40 + 10) \cdot (0,15) = 12 > 0.$$

б) Примем $P_4^{кр}$ правее вершины K линии влияния N_{56} .

$$(P_1 + P_2 + P_3) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 + P_4^{кр} \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = (10 + 20 + 40) \cdot (0,15) + 10 \cdot (-0,1) = 9,5 > 0.$$

Сила P_4 не является критической, так как не меняет знак функции $\sum \operatorname{tg} \alpha_i \cdot P_i$

Нагрузка займет опасное положение для стержня 5-6, когда сила $P_3^{кр}$ находится в первом узле шпренгельной фермы. В этом случае возникает наибольшая положительная сила N_{56} в стержне 5-6 от временной нагрузки. Найдем это усилие:

$$\max N_{56}^{сп} = P_1 \cdot y_1 + P_2 \cdot y_2 + P_3^{кр} \cdot y_3 + P_4 \cdot y_4,$$

где y_1, y_2, y_3, y_4 - ординаты линии влияния усилия $N_{56}^{пост}$ под соответствующими нагрузками (рис. 16), $y_3 = 1,2$.

Ординаты y_1, y_2, y_4 определяем из пропорций:

$$\frac{y_1}{5} = \frac{1,2}{8}, \quad \text{откуда } y_1 = 0,75;$$

$$\frac{y_2}{6} = \frac{1,2}{8}, \quad \text{откуда } y_2 = 0,9;$$

$$\frac{y_4}{11} = \frac{1,2}{1,2}, \text{ откуда } y_4 = 1,1;$$

$$\max N_{56}^{\text{вп}} = 10 \cdot 0,75 + 20 \cdot 0,9 + 40 \cdot 1,2 + 10 \cdot 1,1 = 84,5 \text{ кН.}$$

Определяем $\max N_{56}$ от совместного действия постоянной и временной нагрузки:

$$\max N_{56} = N_{56}^{\text{пост}} + \max N_{56}^{\text{вп}} = 6720 + 84,5 = 6804,5 \text{ кН.}$$

Стержень растянут от совместного действия этих нагрузок.

Определение $\min N_{56}^{\text{вп}}$ от временной нагрузки в стержне 5-6

В этом случае лучше определять продольные силы от действия всех четырех сил, когда они находятся под отрицательной вершиной линии влияния N_{56} :

P_1 над вершиной K_1

$$\min N_{56}^{\text{вп}} = P_1 \cdot y_1 = 10 \cdot (-0,4) = -4 \text{ кН;}$$

P_2 над вершиной K_1

$$\min N_{56}^{\text{вп}} = P_1 \cdot y_1 + P_2 \cdot y_2 = 10 \cdot (-0,3) + 20 \cdot (-0,4) = -11 \text{ кН;}$$

P_3 над вершиной K_1

$$\begin{aligned} \min N_{56}^{\text{вп}} &= P_1 \cdot y_1 + P_2 \cdot y_2 + P_3 \cdot y_3 = \\ &= 10 \cdot (-0,1) + 20 \cdot (-0,3) + 40 \cdot (-0,4) = -23 \text{ кН;} \end{aligned}$$

P_4 над вершиной K_1

$$\begin{aligned} \min N_{56}^{\text{вп}} &= P_1 \cdot y_1 + P_2 \cdot y_2 + P_3^{\text{вп}} \cdot y_3 + P_4 \cdot y_4 = \\ &= 10 \cdot 0 + 20 \cdot (-0,1) + 40 \cdot (-0,3) + 10 \cdot (-0,4) = -18 \text{ кН.} \end{aligned}$$

Временная нагрузка займет опасное положение, когда третий груз находится над вершиной K_1 линии влияния N_{56} . В этом случае в стержне 5-6 будет максимально отрицательная продольная сила, равная -23 кН.

Определим минимальную продольную силу в стержне 5-6 от совместного действия постоянной и временной нагрузки:

$$\min N_{56} = N_{56}^{\text{пост}} + \min N_{56}^{\text{вп}} = 6720 - 23 = 6697 \text{ кН.}$$

Поперечное сечение стержня определяется в зависимости от действия продольной силы $\max N_{56} = 6804,5$ кН.

По этой методике определяются расчетные усилия и для других стержней. При наличии нескольких положительных и отрицательных вершин на линии влияния

стержня для всех случаев определяют опасные положения, по ним вычисляются *max* и *min* продольные силы от временной нагрузки, а за расчетные берутся наибольшие значения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. В. Дарков. Строительная механика / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников – СПб. : Лань, 2005. – 656 с.
2. Киселёв В. А. Строительная механика/ В. А. Киселёв – М. : Стройиздат, 1976.– 512 с.
3. Рабинович И. М. Основы строительной механики стержневых систем/ И. М. Рабинович – М. : Госстройиздат, 1960.–519 с.
4. Г. К. Клейн, Р. Ф. Гаабасов, Л. И. Кошелев [и др.] Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики/ – М. : Высш. шк., 1980.–318 с.
5. Снитко Н. К. Строительная механика / Н. К. Снитко – М. : Высш. шк., 1980. – 427 с.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Предисловие..... | 3 |
| Требования к оформлению расчетно-проектировочных работ..... | 3 |
| Порядок получения заданий..... | 4 |
| Пример расчета фермы на неподвижную нагрузку | 8 |
| Определение опорных реакций от заданной нагрузки..... | 8 |
| Определение продольных усилий в стержнях шпренгельной решетки..... | 9 |
| Определение усилий в стержнях основной фермы | 11 |
| Определение усилий в стержнях шпренгельной фермы..... | 13 |
| Построение линий влияния в стержнях шпренгельных ферм..... | 13 |
| Построение линий влияния продольных сил в стержнях указанной панели..... | 14 |
| Построение линий влияния усилий в стержнях шпренгельной фермы..... | 21 |
| Определение $\max N$ и $\min N$ в стержнях шпренгельной фермы от совместного действия постоянной и временной нагрузки..... | 22 |
| Библиографический список..... | 39 |
| Приложения | 40 |