

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

СЕРИЯ «САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ»

Л.С. Турищев

РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ ФЕРМ

Электронное учебное пособие
для студентов строительных специальностей

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

УДК 624.04(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию
методической комиссией инженерно-строительного факультета
в качестве методического пособия
(протокол № 5 от 27 июня 2017)

Кафедра прикладной механики и графики

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

канд. техн. наук, доц., зав. кафедры строительных конструкций

А.И. КОЛТУНОВ

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительных конструкций

Е.Д. ЛАЗОВСКИЙ

Турищев, Л. С.

Расчет плоских статически определимых ферм [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие для студентов строит. специальностей / Л.С. Турищев. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-R).

ISBN 978-985-531-705-1.

На основе структурно-логических схем приведены базовые теоретические положения и понятия модуля. Содержатся указания по приобретению навыков для решения типовых задач модуля. Имеется банк тестовых заданий для самоконтроля знаний. Приведен список рекомендуемой учебной литературы, интернет-источников. Составлен глоссарий модуля.

Предназначено для студентов строительных специальностей всех форм обучения при изучении курса «Строительная механика». Может быть полезно начинающим преподавателям строительной и технической механики.

№ госрегистрации 3302023430

ISBN 978-985-531-705-1

© Турищев Л.С., 2020

© Полоцкий государственный университет, 2020

Для создания текстового электронного издания «Расчет плоских статически определимых ферм» Л.С. Турищева использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Материалы включены в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3302023430 от 09.09.2020 г.

Технические требования:

1 оптический диск.

Системные требования:

PC не ниже класса Pentium;

32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb;

Windows 95/98/Me/2000/XP/7;

Дисковод CD-ROM 2-скоростной и выше;

мышь

Редактор *О.Ю. Тарасевич*
Техническое редактирование *О.Ю. Тарасевич*
Компьютерный дизайн *М.С. Мухоморовой*

Подписано к использованию 11.09.2020.

Объем издания: 3,5 Мб. Заказ 427.

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. РЕКОМЕНДАЦИИ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА МОДУЛЯ	6
2. УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ МОДУЛЯ	9
2.1. Задачи на определение внутренних усилий в стержнях балочных ферм	9
2.2. Задачи на построение линий влияния внутренних усилий в стержнях балочных ферм	12
3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ И УМЕНИЙ.....	17
3.1 Тестовые задания первого уровня.....	18
3.2. Тестовые задания второго уровня	23
3.3 Тестовые задания третьего уровня	26
3.4 Ответы на тестовые задания первого и второго уровней	28
3.5 Рекомендации к выполнению тестовых заданий третьего уровня	31
ЛИТЕРАТУРА	32
ГЛОССАРИЙ МОДУЛЯ	34

ВВЕДЕНИЕ

Ферма является геометрически неизменяемой конструкцией, концы стержней которой жестко соединены в узлах. Особенностью фермы является то, что она остается геометрически неизменяемой при условной замене жестких узлов шарнирами. У рамных и других реальных стержневых конструкций с жесткими узлами такого не происходит. По материалу фермы бывают железобетонные, деревянные, стальные и комбинированные.

Фермы, как и балочные конструкции, применяются при перекрытии пролетов мостов, промышленных и гражданских зданий и ряда других искусственных сооружений. Однако при больших пролетах применение балок становится экономически невыгодным. Балка работает на изгиб, и при увеличении пролета существенно увеличивается её высота из-за неполного использования материала вертикальной стенки (нормальные напряжения в стенке меньше, чем в полках, и неравномерно распределены по её высоте). Поэтому увеличивается толщина стенки в связи с возможностью её выпучивания. В случае же применения фермы её стержни работают главным образом на центральное растяжение или сжатие, что дает возможность значительно лучше использовать материал конструкции.

По расположению стержней в пространстве различают плоские и пространственные фермы. Плоские фермы могут воспринимать нагрузку только в плоскости расположения стержней, пространственные фермы могут воспринимать нагрузку в трех плоскостях. Определение внутренних усилий в стержнях ферм производится согласно расчетной схеме с шарнирными узлами. Оба вида ферм могут быть как статически определимыми, так и статически неопределимыми.

В настоящем пособии рассматривается расчет плоских статически определимых ферм.

1. РЕКОМЕНДАЦИИ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА МОДУЛЯ

Изучение теоретического материала модуля следует начинать с рекомендаций по изучению курса в целом согласно [13]. Структурно-логическая схема ключевых понятий, принципов, терминов рассматриваемого модуля, которые подлежат пониманию и усвоению согласно [2], приведена на рисунке 1.

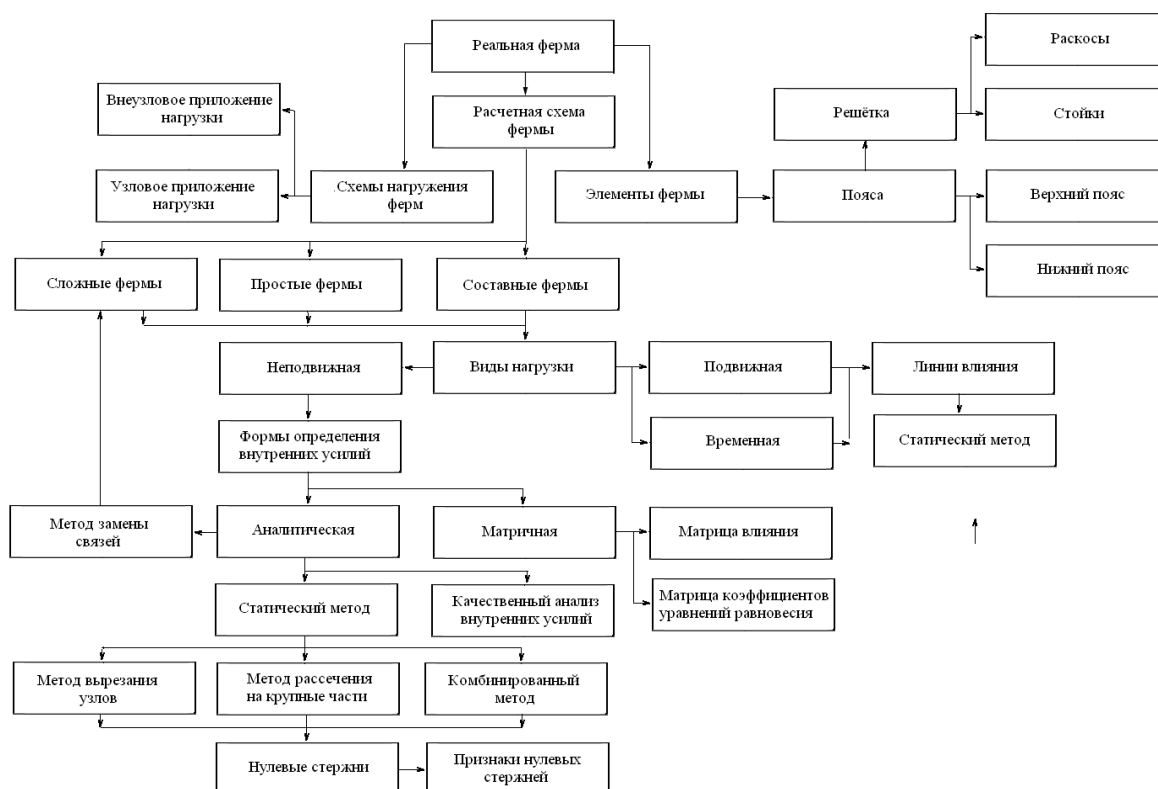


Рисунок 1. – Структурно-логическая схема ключевых понятий, принципов, терминов изучаемого модуля

Изучение материала модуля должно начинаться с понятий **реальной фермы**¹ и её **расчетной схемы**. Далее следует выяснить, каковы особенности работы прямолинейных и криволинейных стержней фермы при **узловом и внеузловом приложении нагрузки**. При этом важно понять причины возникновения изгибающих моментов и поперечных сил в стержнях и источник неизменности продольных сил по длине стержней., когда и почему в стержнях могут возникать изгибающие моменты и поперечные силы, а также когда и почему продольные силы неизменны по длине стержней.

¹ Здесь и далее полужирным курсивом выделяются термины и понятия курса, знание которых студентом является обязательным.

Следует усвоить термины, используемые при расчете ферм:

– связанные с геометрией фермы – **нижний пояс, верхний пояс, стойки, раскосы, решетка**;

– связанные с геометрическими размерами фермы – **пролет, высота, длина панели пояса**.

После этого необходимо разобраться с взаимосвязанной системой обозначений элементов фермы и возникающими в них продольными силами при действии узловой нагрузки. В такой системе для ферм исключается необходимость построения громоздких малоинформативных эпюр продольных сил.

Существует также классификация ферм по различным признакам: **назначению, очертанию внешнего контура, системе решетки, схеме опирания и способу образования геометрической структуры**. По последнему признаку различают **простые, составные и сложные фермы**.

Далее можно приступать к изучению определения внутренних усилий в фермах от неподвижной нагрузки. При их определении в фермах используются аналитическая и матричная формы.

Рекомендуется сначала изучить аналитическую форму определения внутренних усилий в стержнях простых, сложных и составных ферм при узловом и внеузловом приложении нагрузки. Целесообразно это осуществить в следующем порядке:

– изучить определение продольных сил в стержнях простых ферм при узловой схеме нагружения статическим методом, который в этом случае имеет три разновидности – **метод вырезания узлов, метод расчленения на крупные части, комбинированный метод**. И также разобраться с понятием и признаками **нулевых стержней**.

– разобраться с особенностями расчета простых ферм на внеузловую нагрузку, понять, в чем состоит суть каждого из двух этапов расчета и как определяются окончательные внутренние усилия.

– рассмотреть аналитическое определение внутренних усилий в стержнях составных ферм двух разновидностей. При этом следует разобраться, в чем отличия расчета составных ферм каждого вида.

– рассмотреть расчет сложных ферм при узловой схеме нагружения методом замены связей.

– рассмотреть матричную форму определения продольных сил в стержнях простых ферм при узловой схеме нагружения. Возможны два варианта матричной формы. В первом варианте для определения про-

дольных используется **матрица влияния** этих сил. Второй вариант матричной формы основан на использовании **матрицы коэффициентов уравнений равновесия** узлов фермы.

– освоить приемы анализа величин и знаков продольных сил в стержнях простых ферм при узловой нагрузке. Это позволит предвидеть результаты расчетов ферм и, следовательно, осуществлять контроль их правильности.

Далее – изучить построения линий влияния внутренних усилий в стержнях простых ферм. При этом важно понять следующие три момента. Во-первых, необходимость умений строить линии влияния вызывается тем, что фермы могут подвергаться действию подвижной и временной нагрузок. Во-вторых, учитывая узловой характер передачи таких нагрузок на реальные фермы, построение линий влияния в фермах связано только с продольными силами, возникающими в их стержнях. И, в-третьих, линии влияния продольных сил в фермах проще строить статическим методом, при этом выбирается его разновидность, наиболее целесообразная для отыскания соответствующей продольной силы.

При изучении материала модуля рекомендуется использование следующей литературы: [4, с.123–166]; [5, с.109–170]; [6, с.145–178]; [10, с.78–112]; [14, с.97–150].

Для усвоения материала модуля курса необходимо повторить следующие понятия, термины, принципы и методы, изученные в модуле:

– *«Введение в строительную механику»* – линейно деформируемая система, принцип независимости действия сил, статически определимые системы [10, с.11–24].

– *«Методы определения внутренних усилий от неподвижной нагрузки в плоских статически определимых стержневых системах»* – внутренние усилия, изгибающий момент, продольная сила, статический метод определения внутренних усилий, метод замены связей, матрица влияния внутренних усилий [10, с.42–55].

– *«Методы определения внутренних усилий от подвижной нагрузки в плоских статически определимых стержневых системах»* – линия влияния, ордината линии влияния, статический способ построения линий влияния [10, с.56–77].

2.УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ МОДУЛЯ

После завершения изучения теоретического материала модуля, его понимания и усвоения можно переходить к применению полученных знаний для решения типовых задач модуля. Согласно утвержденной учебной программе курса [3] Вы должны уметь:

- определять внутренние усилия в стержнях балочных ферм;
- строить линии влияния внутренних усилий в стержнях балочных ферм.

Для приобретения умений решения задач рекомендуется сначала внимательно прочитать указания к решению задач каждого вида, разобравшись с приводимыми примерами их решения. После этого рекомендуется перейти к решению задач, приведенных в [9], [10], [15], [17], [18].

2.1. Задачи на определение внутренних усилий в стержнях балочных ферм

Определение внутренних усилий в стержнях балочных ферм при заданной узловой схеме нагружения начинается с определения нулевых стержней с помощью трех признаков.

Первый признак – в ненагруженном двухстержневом узле фермы оба стержня нулевые.

Второй признак – в двухстержневом узле фермы, нагруженном силой вдоль оси одного из стержней, другой стержень нулевой.

Третий признак – в ненагруженном трехстержневом узле фермы, в котором оси двух стержней направлены по одной прямой, третий стержень нулевой.

Для определения внутренних усилий в стержнях балочных ферм, которые не являются нулевыми при заданной схеме нагружения, могут применяться три разновидности статического метода – метод вырезания узлов, метод рассечения на крупные части и комбинированный метод.

В основе определения внутренних усилий методом вырезания узлов лежит использование уравнений равновесия системы сходящихся сил. Каждый узел фермы мысленно вырезается сквозным сечением, проходящим бесконечно близко от центра узла. Для вырезанных узлов составляются по два независимых уравнения проекций сил на оси, проходящие че-

рез центры вырезанных узлов фермы. Решение этих уравнений позволяет найти продольные силы в стержнях фермы. Первыми решаются уравнения равновесия для того узла, где сходится не более двух стержней с неизвестными продольными силами.

В основе определения внутренних усилий методом расчленения на крупные части лежит использование уравнений равновесия системы сил, произвольно расположенных на плоскости. Ферма мысленно расщепляется через любые три стержня на две части.

Для определения внутренних усилий методом расчленения на крупные части используются уравнения равновесия системы сил, произвольно расположенных на плоскости. Такие уравнения применяются к одной из частей фермы, полученной при мысленном расчленении фермы через любые три стержня.

Для определения продольных сил в расчлененных стержнях составляются уравнения моментов относительно моментных точек. Если расчленение фермы проходит через три стержня, два из которых параллельны, то для определения продольной силы в третьем стержне составляется сумма проекций сил на ось, перпендикулярную параллельным стержням.

Комбинированный метод используется для определения продольных сил в стержнях фермы, когда их нельзя найти сразу ни методом вырезания узлов, ни методом расчленения на крупные части. Суть метода заключается в одновременном использовании рассмотренных двух методов для отыскания требуемой продольной силы.

При определении внутренних усилий в стержнях ферм любым методом первоначально все стержни фермы считаются растянутыми. Если при расчете какая-либо продольная сила получится отрицательной, то это означает, что данный стержень фермы сжат.

Пример 1. Для фермы, показанной на рисунке 2, определить нулевые стержни и продольные силы O_1 , U_2 , D_2 .

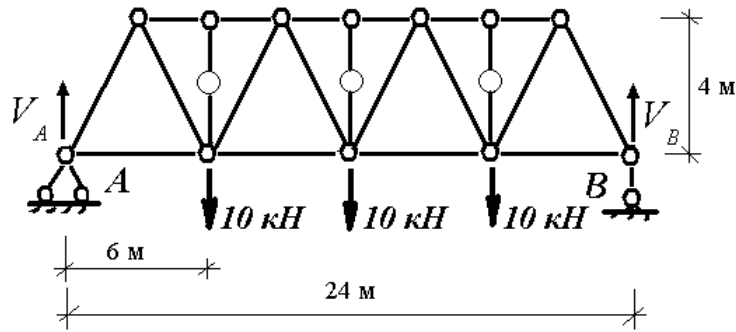


Рисунок 2. – Ферма

Опорные реакции фермы V_A и V_B определяем как для простой балки

$$\sum M_B = 0; V_A \cdot 24 - 10 \cdot 18 - 10 \cdot 12 - 10 \cdot 6 = 0; V_A = 15 \text{ кН}$$

и

$$\sum M_A = 0; -V_B \cdot 24 + 10 \cdot 18 + 10 \cdot 12 + 10 \cdot 6 = 0; V_B = 15 \text{ кН.}$$

В соответствии с третьим признаком нулевых стержней в рассматриваемой ферме при заданной схеме нагружения такими стержнями являются V_1, V_2, V_3 , отмеченные кружками на рисунке 2.

Для определения внутреннего усилия O_1 вырежем опорный узел A и рассмотрим его равновесие (рисунок 3). Составим уравнение проекций на ось y

$$\sum y = 0; O_1 \sin \alpha + V_A = 0$$

и найдем

$$O_1 = -\frac{V_A}{\sin \alpha} = -\frac{15}{0,8} = -18,75 \text{ кН.}$$

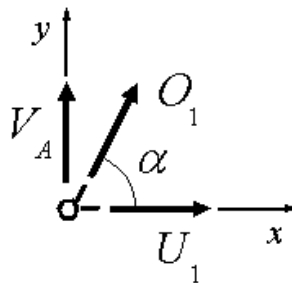


Рисунок 3. – К расчету опорного узла A

Для определения внутренних усилий U_2 , D_2 разрежем ферму через третью панель верхнего пояса и вторую панель нижнего пояса на две части (рисунок 4) и рассмотрим равновесие левой части фермы.

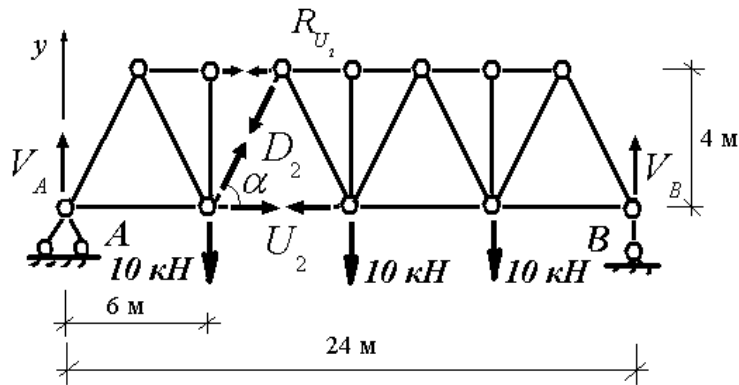


Рисунок 4. – Внутренние усилия U_2 , D_2 фермы

Для определения внутреннего усилия U_2 составим уравнение моментов относительно моментной точки этого усилия

$$\sum M_{R_{U_2}}^{л.ч.} = 0; -U_2 \cdot 4 + V_A \cdot 9 - 10 \cdot 3 = 0$$

и найдем

$$U_2 = \frac{105}{4} = 26,25 \text{ кН.}$$

Для определения внутреннего усилия D_2 составим уравнение проекций на ось y

$$\sum y^{л.ч.} = 0; D_2 \sin \alpha - 10 + V_A = 0$$

и найдем

$$D_2 = -\frac{V_A - 10}{\sin \alpha} = -\frac{8,75}{0,8} = -10,9 \text{ кН.}$$

2.2 Задачи на построение линий влияния внутренних усилий в стержнях балочных ферм

Для построения в фермах линий влияния продольных сил применяется статический метод. Построение линии влияния определенной продольной силы основывается на той разновидности статического метода, которая наиболее целесообразна для отыскания этой продольной силы.

Рассматриваются два положения единичного груза: на нижнем поясе (груз понизу) и на верхнем поясе (груз поверху).

Кроме того, применяя метод расчленения на крупные части, рассматривают три положения груза на каждом поясе: слева и справа от перерезанной панели и в пределах перерезанной панели. Каждому положению единичного груза соответствует определенный участок линии влияния рассматриваемой продольной силы.

Применяя метод вырезания узлов, также рассматривают различные положения единичного груза. При расположении груза на поясе, которому принадлежит вырезанный узел, таких положений три: груз в узле, груз вне узла и вне пределов перерезанных панелей, груз в пределах перерезанных панелей. При расположении груза на поясе, которому не принадлежит вырезанный узел, он занимает единственное положение вне узла и вне пределов перерезанных панелей.

Пример 2. Для фермы, показанной на рисунке 5, построить линии влияния продольных сил O_1 , U_2 , D_2 .

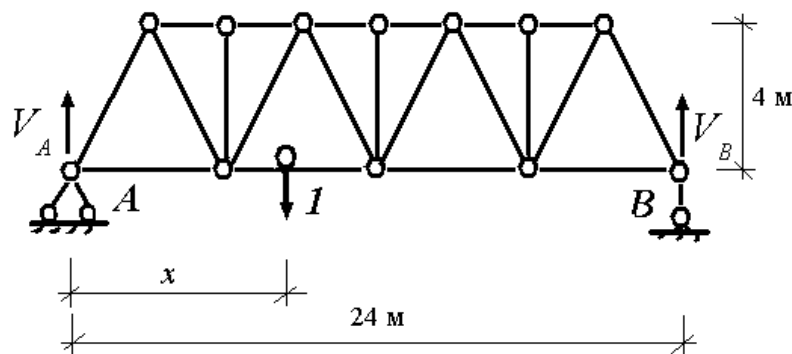


Рисунок 5. – Ферма к примеру 2

Для построения линии влияния O_1 вырежем опорный узел А и рассмотрим его равновесие при трех положениях единичного груза – груз в узле, груз вне узла и вне рассеченных панелей, груз в рассеченных панелях.

При расположении груза в узле (рисунок 6, а) из уравнения проекций на ось у найдем значение соответствующей ординаты линии влияния O_1

$$\sum y = 0; O_1 = 0.$$

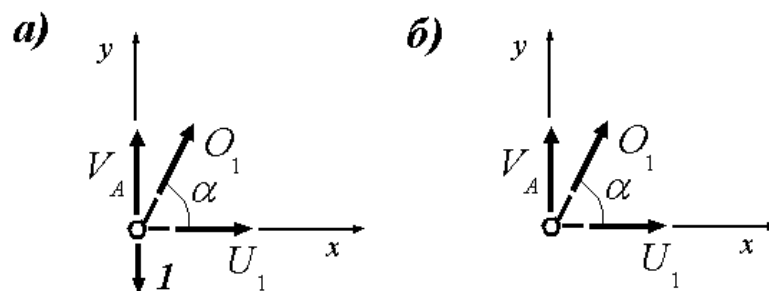


Рисунок 6. – Построение линии влияния O_1

Составляя уравнение проекций на ось y при расположении груза вне узла и вне рассеченных панелей (рисунок 6. б), получим

$$\sum y = 0; O_1 \sin \alpha + V_A = 0; O_1 = -\frac{V_A}{\sin \alpha}.$$

Из полученного соотношения следует, что очертание линии влияния O_1 при втором положении единичного груза подобно очертанию линии влияния, ординаты которой умножены на величину $-\frac{1}{\sin \alpha}$.

Для получения соединительного участка, соответствующего третьему положению единичного груза, используются значения O_1 , найденные при двух первых положениях единичного груза. Очертание линии влияния O_1 показано на рисунке 7, и оно одинаковое при движениях груза понизу и поверху

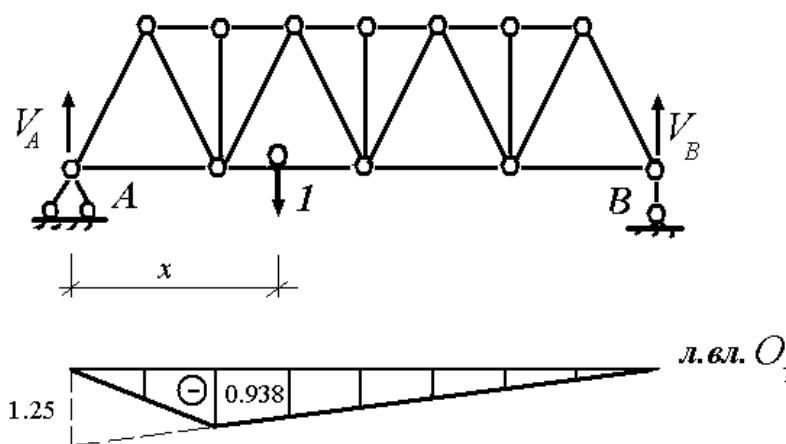


Рисунок 7. – Линия влияния O_1

Для построения линий влияния U_2 и D_2 рассечем ферму на две части через третью панель верхнего и вторую панель нижнего поясов (рисунок 8, а).

При движении единичного груза понизу и поверху будем рассматривать три его положения – слева и справа от рассеченной панели и в пределах этой панели.

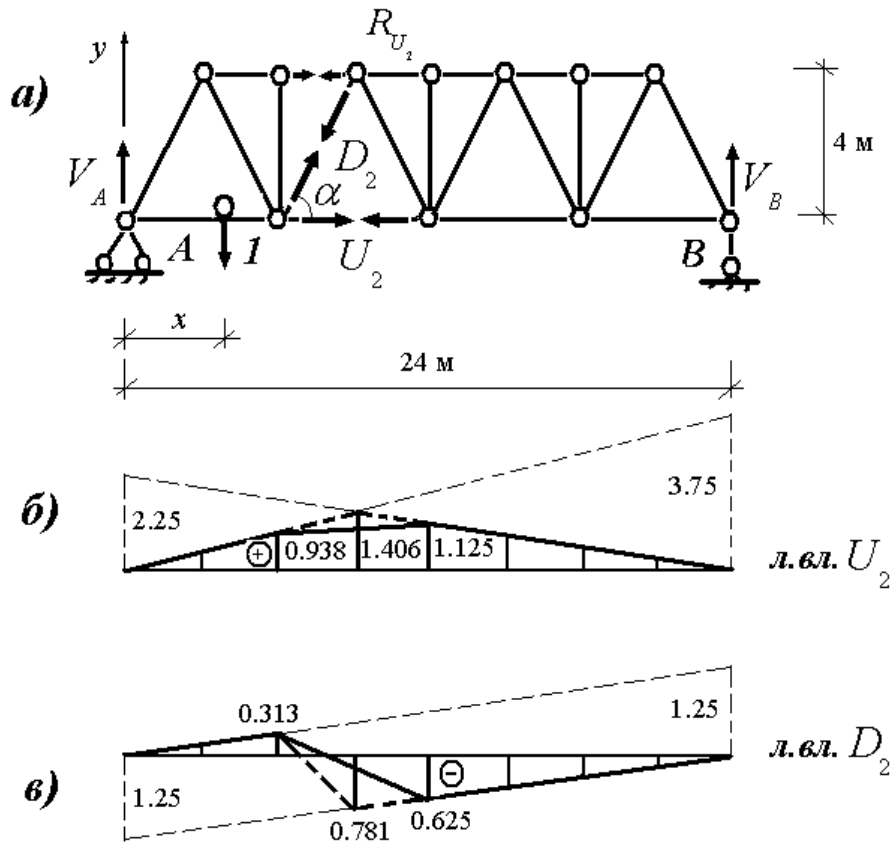


Рисунок 8. – К построению линий влияния U_2, D_2

При первом положении единичного груза (груз понизу и слева от рассеченной панели) рассмотрим равновесие правой отсеченной части фермы и для определения продольной силы U_2 составим уравнение моментов относительно моментной точки этого усилия R_{U_2}

$$\sum M_{R_{U_2}}^{np.ч.} = 0; U_2 \cdot 4 - V_B \cdot 15 = 0; U_2 = 3,75V_B,$$

а для определения продольной силы D_2 составим уравнение проекций на ось y

$$\sum y^{np.ч.} = 0; -D_2 \cdot \sin \alpha + V_B = 0; D_2 = 1,25V_B.$$

При втором положении единичного груза (груз понизу и справа от рассеченной панели) рассмотрим равновесие левой отсеченной части фермы и для определения продольных сил U_2 и D_2 составим уравнения

$$\sum M_{RU_2}^{л.ч.} = 0; -U_2 \cdot 4 + V_\phi \cdot 9 = 0; U_2 = 2,25V_A$$

и

$$\sum y^{л.ч.} = 0; D_2 \cdot \sin \alpha + V_A = 0; D_2 = -1,25V_A.$$

Поскольку при движении единичного груза понизу в пределах перерезанной панели продольные силы U_2 и D_2 описываются некоторыми линейными функциями от абсциссы x , а конечные значения этих сил могут быть найдены из соответствующих ранее полученных выражений для этих сил, то этого достаточно для получения очертаний соединительных участков линий влияния U_2 и D_2 .

Очертание линии влияния продольной силы U_2 при движении груза понизу показано на рисунке 8, б сплошной линией. Левый и правый участки линии влияния пересекаются под моментной точкой R_{U_2} . Очертание соединительного участка, соответствующее движению груза поверху, показано на рис. 8.б пунктирной линией.

Очертание линии влияния продольной силы D_2 при движении груза понизу показано на рис.8.в сплошной линией. Левый и правый участки линии влияния параллельны друг другу. Очертание соединительного участка, соответствующее движению груза поверху, показано на рисунке 8, в пунктирной линией.

3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ И УМЕНИЙ

При изучении строительной механики важную роль играет самостоятельная оценка приобретенных знаний и умений. Наиболее рационально это можно осуществлять с помощью тестирования, для проведения которого в пособии содержатся:

- тестовые задания первого уровня, позволяющие проверить понимание и усвоение основных понятий, принципов, терминов изученного модуля;

- тестовые задания второго уровня, позволяющие проверить умение решать типовые задачи модуля;

В представленных тестовых заданиях первого и второго уровня использованы следующие их виды:

- задания закрытой формы;
- задания на установление соответствия;
- задания на установление правильной последовательности;
- задания открытой формы.

В тестовых заданиях закрытой формы необходимо выбрать правильный ответ из представленных вариантов ответов. Такие задания могут быть с выбором одного и нескольких правильных ответов.

В тестовых заданиях на установление соответствия нужно указать связь между элементами двух столбцов – задающего столбца и столбца выбора. Элементы задающего столбца располагаются слева, а элементы столбца выбора – справа. Правый столбец содержит элементов больше, чем левый, и все его элементы являются истинными высказываниями.

В тестовых заданиях на установление последовательности нужно восстановить правильную последовательность некоторых действий, приведенных произвольным образом.

В тестовых заданиях открытой формы требуется дописать правильный ответ, связанный с определенным определением, понятием или принципом.

В представленных тестовых заданиях третьего уровня необходимо показать умение решать нестандартные задачи, связанные с расчетом ферм.

3.1 Тестовые задания первого уровня

1.1. Дополните определение реальной фермы.

Реальная ферма представляет собой

1.2. Дополните определение расчетной схемы фермы.

Расчетной схемой фермы является

1.3. Укажите, какие возникают внутренние усилия в прямолинейных стержнях фермы при узловой схеме нагружения.

1. Изгибающие моменты.
2. Поперечные силы.
3. Постоянные продольные силы.
4. Переменные продольные силы.

1.4. Укажите, какие возникают внутренние усилия в криволинейных стержнях фермы при узловой схеме нагружения.

1. Изгибающие моменты.
2. Поперечные силы.
3. Постоянные продольные силы.
4. Переменные продольные силы.

1.5. Укажите, какие возникают внутренние усилия в криволинейных стержнях фермы при внеузловой схеме нагружения.

1. Изгибающие моменты.
2. Поперечные силы.
3. Постоянные продольные силы.
4. Переменные продольные силы.

1.6. Укажите, какие возникают внутренние усилия в прямолинейных стержнях фермы при внеузловой схеме нагружения.

1. Изгибающие моменты.
2. Поперечные силы.
3. Постоянные продольные силы.
4. Переменные продольные силы.

1.7. Укажите, какие фермы по схеме опирания являются безраспорными.

1. Арочные фермы.
2. Балочные фермы.
3. Висячие фермы.
4. Консольные фермы.
5. Консольно-балочные фермы.

1.8. Укажите, какие фермы по схеме опирания являются распорными.

1. Арочные фермы.
2. Балочные фермы.
3. Висячие фермы.
4. Консольные фермы.
5. Консольно-балочные фермы.

1.9. Укажите, какие из указанных решеток ферм относятся к простым?

1. Полураскосная решетка.
2. Треугольная решетка.
3. Раскосная решетка.
4. Двухраскосная решетка.
5. Треугольная решетка с дополнительными стойками.

1.10. Укажите, какие формулировки относятся к методу вырезания узлов?

1. Уравнения равновесия сходящейся системы сил.
2. Уравнения равновесия системы сил, произвольно расположенных на плоскости.
3. Два независимых уравнения равновесия.
4. Три независимых уравнения равновесия.
5. Моментная точка.

1.11. Укажите, какие формулировки относятся к методу расщепления на крупные части?

1. Уравнения равновесия сходящейся системы сил.
2. Уравнения равновесия системы сил, произвольно расположенных на плоскости.
3. Два независимых уравнения равновесия.
4. Три независимых уравнения равновесия.
5. Моментная точка.

1.12. Дополните определение нулевых стержней фермы.

Стержни, в которых

1.13. Дополните формулировку второго признака нулевых стержней фермы.

В ненагруженном двухстержневом узле фермы

1.14. Дополните формулировку первого признака нулевых стержней фермы.

В двухстержневом узле фермы

1.15. Дополните формулировку третьего признака нулевых стержней фермы.

В ненагруженном трехстержневом узле фермы

1.16. Укажите, на каком методе основано определение продольных сил в стержнях сложных ферм.

1. Статический метод.
2. Метод вырезания узлов.
3. Метод замены связей.
4. Метод расчленения на крупные части.

1.17. Запишите формулу для определения продольных сил в стержнях балочных ферм при узловой схеме нагружения с использованием матрицы влияния.

формула
где

1.18. Запишите формулу для определения продольных сил в стержнях балочных ферм при узловой схеме нагружения с использованием матрицы коэффициентов уравнений равновесия узлов фермы

формула
где

1.19. Запишите формулу для определения опорных реакций балочных ферм при узловой схеме нагружения с использованием матрицы коэффициентов уравнений равновесия узлов фермы.

формула
где

1.20. Укажите, какую размерность имеют ординаты линии влияния опорной реакции фермы.

1. Килоньютоны.
2. Метры.
3. Килоньютоны, умноженные на метры.
4. Безразмерные.
5. Килоньютоны, деленные на метры.

1.21. Укажите, какую размерность имеют ординаты линии влияния продольных сил в стержнях фермы.

1. Килоньютоны.
2. Метры.
3. Килоньютоны, умноженные на метры.
4. Безразмерные.
5. Килоньютоны, деленные на метры.

1.22. Укажите, как будут знаки у продольных сил в элементах поясов простых ферм при вертикальной узловой нагрузке, если балочные изгибающие моменты под моментными точками усилий этих элементов положительные.

1. Элементы обоих поясов растянуты.
2. Элементы верхнего пояса растянуты, а элементы нижнего пояса сжаты.
3. Элементы обоих поясов сжаты.
4. Элементы верхнего пояса сжаты, а элементы нижнего пояса растянуты.

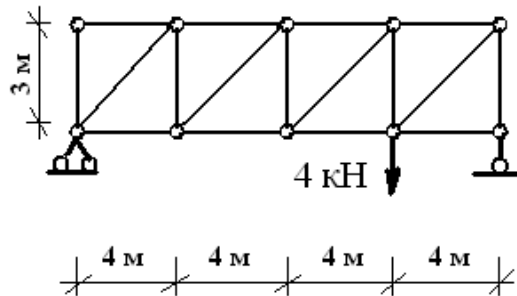
1.23. Укажите, как будут знаки у продольных сил в элементах поясов простых ферм при вертикальной узловой нагрузке, если балочные изгибающие моменты под моментными точками усилий этих элементов отрицательные.

1. Элементы обоих поясов растянуты.
2. Элементы верхнего пояса растянуты, а элементы нижнего пояса сжаты.
3. Элементы обоих поясов сжаты.
4. Элементы верхнего пояса сжаты, а элементы нижнего пояса растянуты.

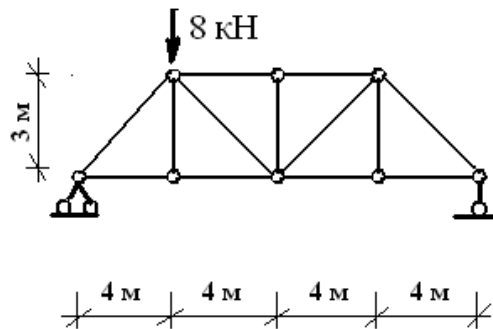
3.2. Тестовые задания второго уровня

2.1. Установите нулевые стержни фермы.

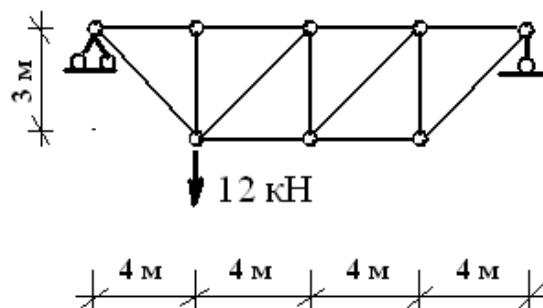
2.1.1.



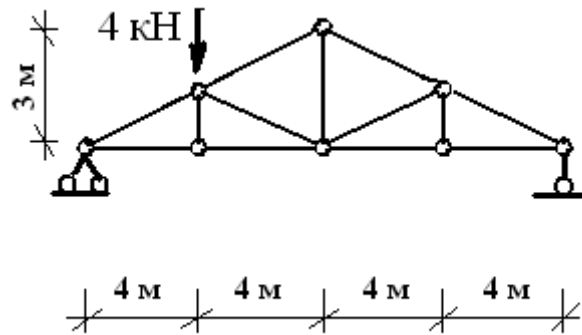
2.1.2.



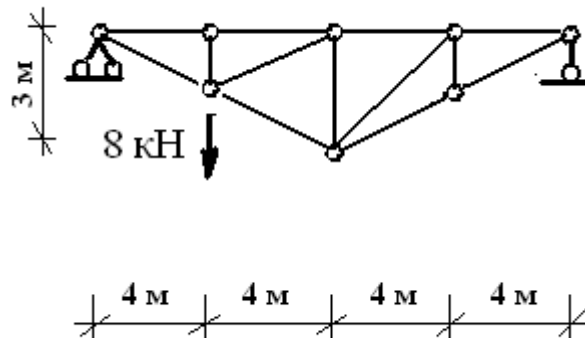
2.1.3.



2.1.4.

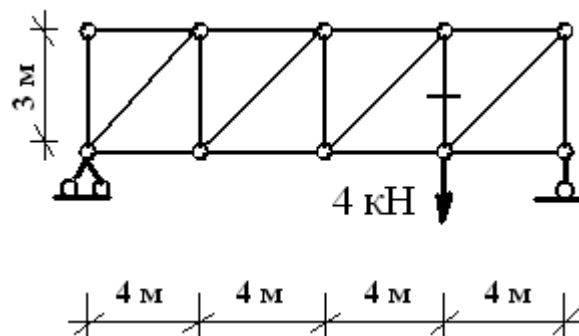


2.1.5.



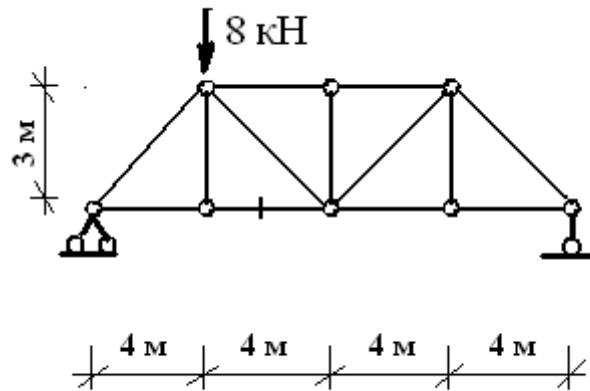
2.2. Укажите, чему равняется продольная сила в отмеченном стержне.

2.2.1.

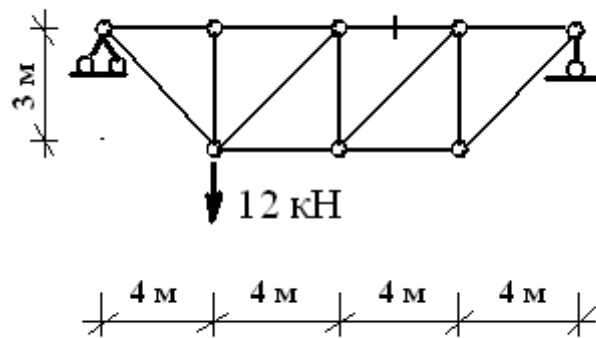


- а) -1 кН ; б) 1 кН ; в) 3 кН ; г) -3 кН ; д) 4 кН ; е) -4 кН .

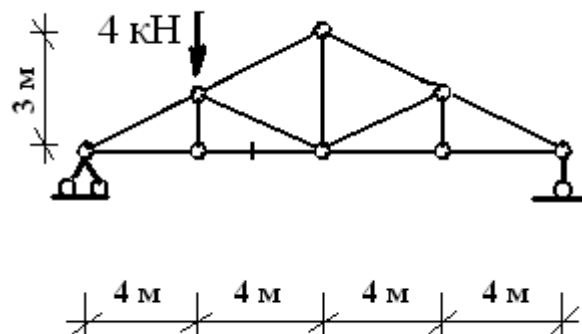
2.2.2.



a) -32 kH ; б) 32 kH ; в) -24 kH ; г) 24 kH ; д) -8 kH ; е) 8 kH .
2.2.3.

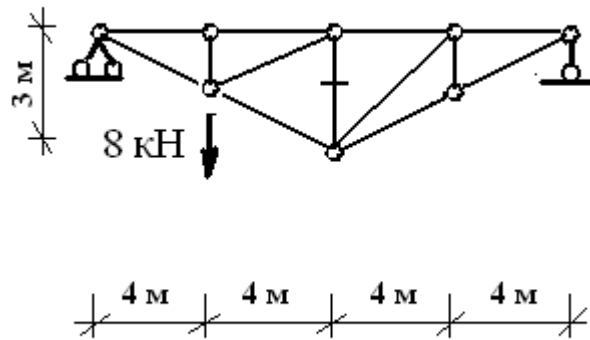


a) -48 kH ; б) 48 kH ; в) -24 kH ; г) 24 kH ; д) -8 kH ; е) 8 kH .
2.2.4.



a) -24 kH ; б) 24 kH ; в) -12 kH ; г) 12 kH ; д) -8 kH ; е) 8 kH .

2.2.5.

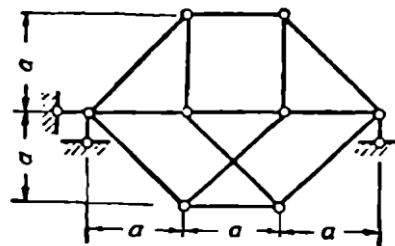


- a) -12 кН ; б) 12 кН ; в) -8 кН ; г) 8 кН ; д) -4 кН ; е) 4 кН .

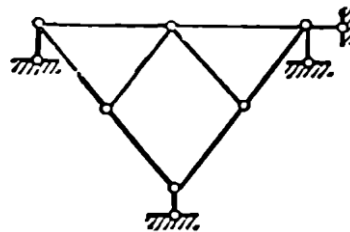
3.3 Тестовые задания третьего уровня

1. Проверьте геометрическую неизменяемость ферм.

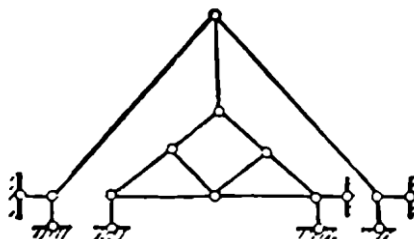
1.1.



1.2.

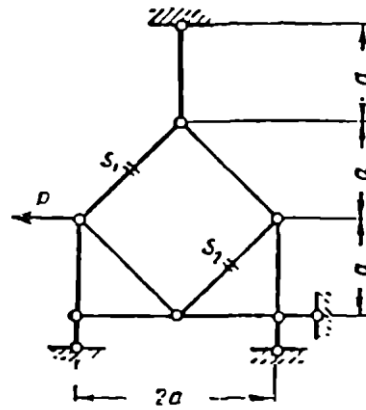


1.3.

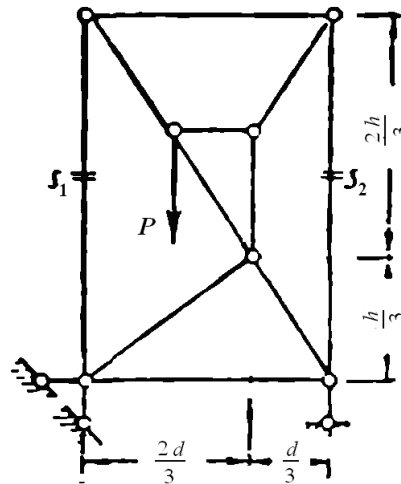


2. Определите внутренние усилия в отмеченных стержнях ферм.

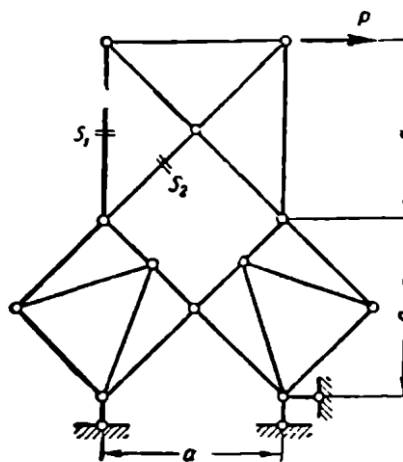
2.1.



2.2.

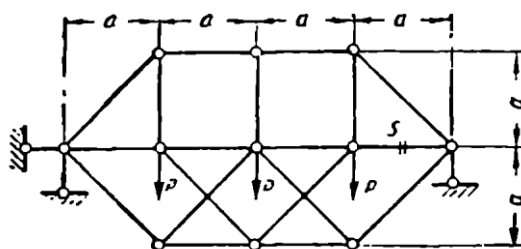


2.3.

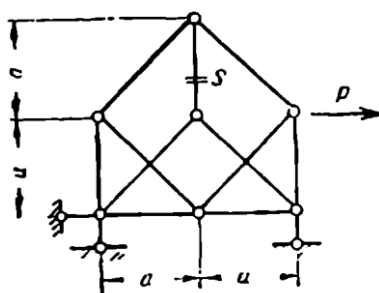


3. Определите внутренние усилия в отмеченных стержнях ферм.

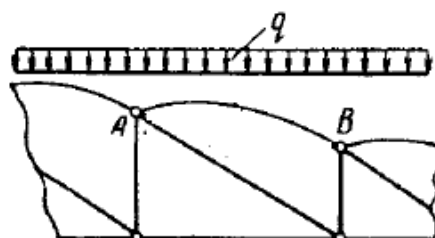
3.1.



3.2.



4. Обоснуйте целесообразность замены прямолинейных стержней верхнего пояса на криволинейные стержни при внеузловой схеме нагружения, например, равномерно распределенной нагрузкой.



3.4 Ответы на тестовые задания первого и второго уровней²

1.1. Дополните определение реальной фермы

Реальная ферма представляет собой геометрически неизменяемую стержневую конструкцию с жестким соединением стержней в узлах, которая остается геометрически неизменяемой при условной замене жестких узлов шарнирами

² Ответы выделены полужирным шрифтом

1.2. Дополните определение расчетной схемы фермы

Расчетной схемой фермы является геометрически неизменяемая шарнирно стержневая система, получаемая при условной замене жестких узлов реальной фермы шарнирами

1.3. – 3.

1.4. – 1, 2, 4.

1.5. – 1, 2, 4.

1.6. – 1, 2, 4.

1.7. – 2, 4, 5.

1.8. – 1, 3.

1.9. – 2, 3, 5.

1.10. – 1, 3.

1.11. – 2, 4, 5.

1.12.

Стержни, в которых продольные силы при данной схеме узловой нагрузки тождественно равны нулю
--

1.13.

В ненагруженном двухстержневом узле фермы оба стержня нулевые

1.14.

В двухстержневом узле фермы, нагруженном силой вдоль оси одного из стержней, другой стержень нулевой
--

1.15.

В ненагруженном трехстержневом узле фермы, в котором оси двух стержней направлены по одной прямой, третий стержень нулевой
--

1.16. – 3.

1.17.

$$\bar{N} = L_N \bar{P}$$

где L_N - матрица влияния продольных сил фермы

\bar{P} - вектор нагрузки фермы

1.18.

$$\bar{N} = -A^{-1} \bar{P}$$

где A - матрица коэффициентов уравнений равновесия внутренних узлов

\bar{P} - вектор нагрузки фермы

1.19.

$$\bar{R} = -A_R^{-1} \bar{N}$$

где A_R - матрица коэффициентов уравнений равновесия опорных узлов

\bar{N} - вектор продольных сил стержней фермы

1.20. – 4.

1.21. – 4.

1.22. – 4.

1.23. – 4.

2.1.1. – V_1, Q_1, U_4 .

2.1.2. – V_1, V_2, V_3 .

2.1.3. – V_1 .

2.1.4. – V_1, V_3 .

2.1.5. – V_1, V_3, D_2 .

2.2.1. – а).

2.2.2. – д).

2.2.3. – д).

2.2.4. – е).

2.2.5. – д).

3.5 Рекомендации к выполнению тестовых заданий третьего уровня

3.1.1, 3.1.2, 3.1.3. Применяя метод замены связей, можно показать, что рассматриваемые системы мгновенно изменяемые.

3.2. Применяя совместно метод сечений, найдем:

$$3.2.1. S_1 = -S_2 = \frac{P}{\sqrt{2}}$$

$$3.2.2. S_1 = S_2 = -P$$

$$3.2.3. S_1 = 0, S_2 = P\sqrt{2}$$

3.3. Применяя метод замены, найдем:

$$3.3.1. S = \frac{P}{2}$$

$$3.3.2. S = -P$$

3.4. Необходимо произвести анализ работы криволинейного стержня верхнего пояса при внеузловой схеме нагружения

ЛИТЕРАТУРА

Учебно-нормативные документы

1. Образовательный стандарт высшего образования первой ступени специальности Промышленное и гражданское строительство ОСВО 1-70 02 01-2013, утвержден 30.08.2013, Минск, 2013.

2. Типовая учебная программа дисциплины «Строительная механика», регистрационный № ТД-Ј.066/тип, утверждена 30.06.2010, Минск, 2010.

3. Учебная программа дисциплины «Строительная механика», регистрационный №03/15/уч., утверждена 01.07.2015.

Учебная литература основная

4. Борисевич, А.А. Строительная механика: учебное пособие для вузов / А.А. Борисевич, Е.М. Сидорович, В.И. Игнатюк. – Минск: БНТУ, 2009. - 756 с.

5. Дарков, А.В. Строительная механика: Учебник для вузов. / А.В. Дарков, Н.Н. Шапошников. – СПб. : Изд. Лань, 2010. – 656 с.

6. Строительная механика. Стержневые системы: Учебник для вузов / А.Ф. Смирнов, А.В. Александров, Б.Я. Лащеников, Н.Н. Шапошников; Под ред. А.Ф. Смирнова. – М. : Стройиздат, 1981. – 512 с.

7. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений: Учебник для вузов/ А.Ф. Смирнов, А.В. Александров, Б.Я. Лащеников, Н.Н. Шапошников; Под ред. А.Ф. Смирнова. – М. : Стройиздат, 1984. – 416 с.

8. Клейн, Г.К. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики / Г.К. Клейн, В.Г. Рекач, Г.И. Розенблат. – М. : Высшая школа, 1972. – 320 с.

9. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики (статика стержневых систем): Учеб. пособие для студентов вузов / Г.К. Клейн, Н.Н. Леонтьев, М.Г. Ванюшенко и др.; Под ред. Г.К. Клейна. – М. : Высшая школа, 1980. – 384 с.

10. Турищев, Л.С. Строительная механика: учебно-методический комплекс в 3 ч. / Л.С. Турищев. – Новополоцк : ПГУ. 2010. – Ч.1. Статически определимые системы. – 224 с.

11. Турищев, Л.С. Строительная механика: учебно-методический комплекс в 3 ч. / Л.С. Турищев. – Новополоцк : ПГУ. 2009. – Ч.2. Статически неопределимые системы – 200 с.

12. Турищев, Л.С. Строительная механика: учебно-методический комплекс в 3 ч. / Л.С. Турищев. – Новополоцк : ПГУ. 2010. – Ч.3. Основы динамики и устойчивости сооружений – 136 с.

13. Турищев, Л.С. Введение в строительную механику: электронное пособие для организации самостоятельной работы студентов / Л.С. Турищев. – Новополоцк : ПГУ. 2016. – 56 с.

Учебная литература дополнительная

14. Рабинович, И.М. Основы строительной механики стержневых систем / И.М. Рабинович. – М. : Госстройиздат, 1960. – 520 с.

15. Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов: учебник для вузов / А.Е. Саргсян, А.Т. Демченко, Н.В. Дворянчиков, Г.А. Джинчвелашвили; Под ред. А.Е. Саргсяна. – М. : Высш. шк., 2000. – 416 с.

16. Безухов, Н.И. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах / Н.И. Безухов, О.В. Лужин, Н.В. Колкунов. – М. : Высшая школа, 1987. – 264 с.

17. Кузьмин, В.А. Сборник задач по курсу строительной механики / В.А. Кузьмин, В.Г. Рекач, Г.И. Розенблат; под редакцией И.М. Рабиновича. – М. : Госстройиздат, 1963. – 331 с.

18. Киселев, В.А. Строительная механика в примерах и задачах / В.А. Киселев, А.М. Афанасьев, В.А. Ермоленко и др.; Под ред. В.А.Киселева. М. : Стройиздат, 1986. – 387с.

Интернет-ресурсы

19. Учебные курсы для студентов по сопротивлению материалов и строительной механики [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://mysopromat.ru/uchebnye_kursu/.

20. Сайт кафедры строительной механики СПбГПУ с учебными материалами по строительной механике [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://smitu.cef.spbstu.ru/index.htm>.

21. Сайт кафедры строительной механики БелГУТ с учебными материалами по строительной механике [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mechanika.org.ru/index>.

ГЛОССАРИЙ МОДУЛЯ

<i>Верхний пояс</i>	Совокупность стержней, образующих верхнюю часть контура фермы.
<i>Высота фермы</i>	Расстояние по вертикали между центрами наиболее удаленных друг от друга узлов верхнего и нижнего поясов фермы.
<i>Комбинированный метод</i>	Метод определения продольных сил в стержнях ферм при узловом приложении нагрузки, основанный на одновременном использовании метода вырезания узлов и метода рассечения на крупные части.
<i>Метод вырезания узлов</i>	Метод определения продольных сил в стержнях ферм при узловом приложении нагрузки, основанный на использовании уравнений равновесия системы сходящихся сил.
<i>Метод рассечения на крупные части</i>	Метод определения продольных сил в стержнях ферм при узловом приложении нагрузки, основанный на использовании уравнений равновесия системы сил, произвольно расположенных на плоскости.
<i>Нижний пояс</i>	Совокупность стержней, образующих нижнюю часть контура фермы.
<i>Расчетная схема фермы</i>	Геометрически неизменяемая шарнирно стержневая система, получаемая при условной замене жестких узлов фермы шарнирами.

<i>Раскосы</i>	Наклонные элементы решетки фермы.
<i>Решетка</i>	Совокупность стержней, расположенных между поясами фермы.
<i>Пролет фермы</i>	Расстояние по горизонтали между осями опор фермы.
<i>Простая ферма</i>	Ферма, в расчетной схеме которой можно выделить шарнирно стержневой треугольник и образовать ее остальную структуру последовательным наращиванием двухстержневых шарнирных узлов.
<i>Составная ферма</i>	Простая ферма, в которой один или несколько стержней ее поясов заменены простыми фермами.
<i>Сложная ферма</i>	Ферма, расчетная схема которой не образуется по правилу простой фермы.
<i>Ферма</i>	Вертикальные элементы решетки фермы.
<i>Стойки</i>	Реальная стержневая конструкция с жестким соединением стержней в узлах, которая остается геометрически неизменяемой при условной замене жестких узлов шарнирами.