

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 21.05.2025 11:12:29

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ
по дисциплине «**Строительная механика**»
для студентов направления подготовки

08.03.01 Строительство

направленность (профиль) «Городское строительство и хозяйство»

Пятигорск, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Практическое занятие 1

Практическое занятие 2

Практическое занятие 3

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ВВЕДЕНИЕ

В курсе дисциплины «Строительная механика» рассматривают типичные элементы конструкций: брус, пластинка, оболочка. Внешние нагрузки, действующие на элементы сооружений, подразделяют на сосредоточенные и распределенные, статические и динамические. Все реальные силы - это силы, распределенные по некоторой площади или объему. Однако распределенную нагрузку на небольшой площади, размеры которой очень малы по сравнению с размерами всего элемента, можно заменить сосредоточенной равнодействующей, силой, что упростит расчет. Распределенные нагрузки имеют единицы силы, отнесенной к единице длины, или к единице поверхности или объема.

При воздействии статических и динамических нагрузок на конструкцию все ее части находятся в равновесии; ускорения элементов конструкции отсутствуют или настолько малы, что ими можно пренебречь. Если же эти ускорения значительны, т. е. изменение скорости элементов машины происходит за сравнительно небольшой период времени, то мы имеем дело с приложением динамических нагрузок. Примерами таких нагрузок могут служить внезапно приложенные нагрузки, ударные и повторно-переменные. Действие таких нагрузок сопровождается возникновением колебаний конструкций или сооружений. Вследствие изменения скорости колеблющихся масс возникают силы инерции, пропорциональные (согласно второму закону Ньютона) колеблющимся массам и ускорениям.

Методы расчета элементов конструкций излагаются на основе следующих упрощений

2. допущений: материал тела имеет сплошное (непрерывное) строение, т. е. не принимается во внимание дискретная атомистическая структура вещества; материал тела однороден, т. е. обладает во всех точках одинаковыми свойствами; материал тела изотропен, т. е. обладает во всех направлениях одинаковыми свойствами; в теле до приложения нагрузки нет внутренних (начальных) усилий; результат воздействия на тело системы сил равен сумме результатов воздействия тех же сил, прилагаемых к телу последовательно и в любом порядке.

Практическое занятие 1

Тема 1. Общие понятия и определения.

Сооружения и их элементы; Кинематический анализ расчетных схем.

Цель: научиться определять вид шарнирной балки.

Знать: основные положения строительной механики; расчетные методы строительной механики; методы, расчета устойчивости и динамики сооружений, методики разработки расчетных схем, методики разработки статистического и кинематического анализа.

Уметь: самостоятельно осваивать отдельные теоретические положения строительной механики; применять теоретические положения к традиционным и новым техническим решениям конструкций и конструктивных систем; определять с необходимыми точностью и надежностью, прочность строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью жесткость строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью устойчивость отдельных строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений.

Владеть: основными положениями и расчетными методами строительной механики; методами расчета устойчивости; методами расчета динамики сооружений; методами расчета строительных конструкций; способностью определять различные виды нагрузок.

Актуальность темы объясняется основными принципами определения внутренних факторов многопролетной балки.

Теоретическая часть:

Многопролетные статически-определимые балки представляют собой комбинированные системы, состоящие из нескольких балок, соединенных шарнирами. Несколько расчетных схем таких балок показаны на рис.0.1.

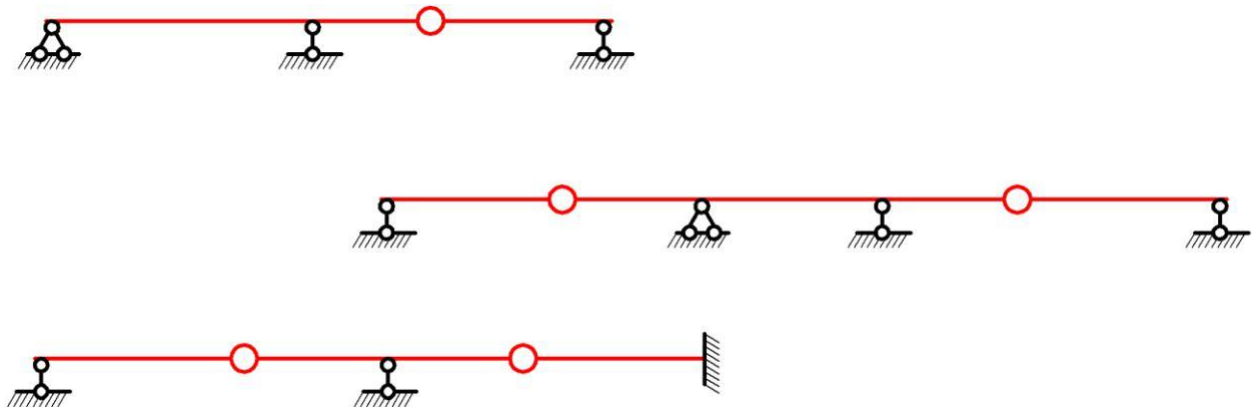


Рисунок 0.1

Многопролетные шарнирные балки объединяют преимущества однопролетной балки (простота расчета и изготовления, отсутствие стесненной деформации) с преимуществами неразрезной балки (меньшие моменты в пролетах из-за влияния опорных моментов, меньшие деформации). Они обладают и тем преимуществом, что, используя разгружающий эффект консоли, удачным выбором положения шарниров можно любым образом установить желаемое соотношение между изгибающими моментами на опоре и в пролете.

Из-за этих преимуществ шарнирные балки охотно применяют в разных конструкциях, например, в прогонах, мостовых переходах и т.д. Устройство шарниров, правда, связано с известными трудностями. Шарнирная балка статически определима, если число шарниров равно числу “лишних” опорных реакций.

«Поэтажная» схема. Порядок расчета многопролетной шарнирной балки.

Удобной расчетной моделью служит так называемая “поэтажная схема”. Для ее построения следует всю систему мысленно разделить по шарнирным сочленениям на отдельные балки и определить условия их опирания. При этом обнаружится, что отдельные балки имеют либо по два опорных закрепления, либо защемлены на одном из концов (консоли). Такие балки относят к “главным” (или несущим) и на схеме изображают на самом нижнем ярусе (балки ABC на рис.0.2 а, AB и CDE - на рис.0.2 б). Элементы поэтажной схемы, опирающиеся на главные балки или имеющие лишь по одной опоре на основание (“землю”) называют “второстепенными” (или несомыми) балками (балки CDE и EF - на рис 0.2 а, BC - на рис.0.2 б). Такие балки на поэтажной схеме располагаются выше балок, на которые они шарнирно опираются.

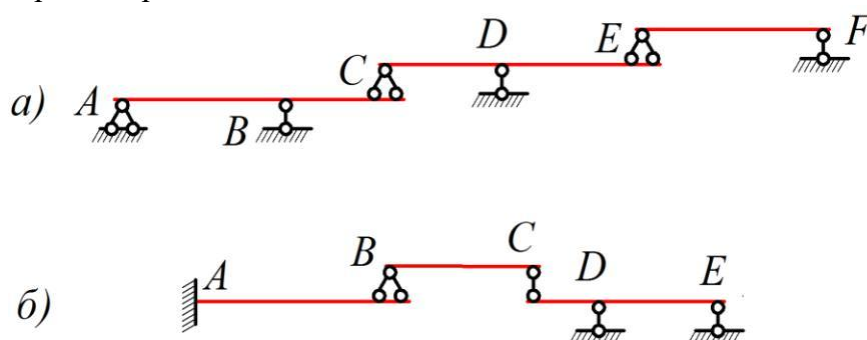


Рисунок 0.2

В “поэтажной схеме” взаимодействие элементов подчиняется принципу: усилия могут передаваться только с вышележащих балок на нижележащие, но не передаются в обратном направлении, то есть с нижних элементов на верхние.

Опорные реакции второстепенных (несомых) балок – это силы, с которыми “нижний этаж” действует на верхний. По третьему закону Ньютона верхний этаж действует на нижний с такими же силами.

Это позволяет выстроить простой алгоритм расчета многопролетных шарнирных балок

- 1) Строят поэтажную схему, выделяя несущие балки и несомые.
- 2) Рассчитывают несомую балку самого верхнего этажа: определяют опорные реакции и строят эпюры изгибающих моментов M и поперечных сил Q .
- 3) Последовательно рассчитывают балки нижних этажей на свою нагрузку и на силу, передающуюся с верхнего (“перевернутую” опорную реакцию балки верхнего этажа).
- 4) В одном масштабе строят эпюры M и Q для всей балки.

Прежде, чем приступить к решению задач, нужно вспомнить основные определения и правила построения эпюр в простых, однопролетных балках.

Изгибающим моментом M , действующим в сечении, называют алгебраическую сумму моментов всех внешних сил, приложенных к левой и правой части балки, относительно этого сечения. При этом опорные реакции включаются в состав внешних сил.

Изгибающий момент считается положительным, если он растягивает нижние волокна. Эпюру M строят со стороны растянутых волокон и знаков не ставят.

Поперечная сила Q численно равна алгебраической сумме проекций всех левых или правых сил от сечения на нормаль (перпендикуляр) к оси балки.

Знак Q принято считать положительным, если сумма проекций всех левых сил направлена вверх (или, соответственно, всех правых сил – вниз). На эпюре Q знаки ставят обязательно, откладывая положительные значения вверх от оси балки, а отрицательные – вниз.

При построении эпюр нужно помнить основные правила

1. На ненагруженном участке балки эпюра M прямолинейная, а Q – постоянная, то есть имеет вид прямоугольника

2. В точке приложения сосредоточенной силы на эпюре M образуется излом, направленный в сторону действия силы. На эпюре Q в этом сечении образуется скачок, равный по величине приложенной силе F

3. В точке приложения сосредоточенного момента m на эпюре M образуется скачок, равный по величине приложенному моменту m .

4. На участке с равномерно распределенной нагрузкой изгибающий момент M изменяется по закону квадратной параболы, обращенной выпуклостью в сторону действия нагрузки, а поперечная сила – по линейному закону

5. В сечениях, где эпюра Q пересекает ось балки, изгибающий момент принимает экстремальное значение.

6. Момент в шарнире или на шарнирной опоре равен нулю, если в сечении бесконечно близком к шарниру (или опоре) не приложен внешний сосредоточенный момент.

7. Если на прямолинейном участке балки длиной l , загруженной равномерно распределенной нагрузкой q , сосредоточенной силой F или сосредоточенным моментом m известны две крайние ординаты эпюры моментов, то эпюру M можно построить, подвесив на линию, соединяющую концы ординат, известные балочные эпюры моментов (рис. 0.3)

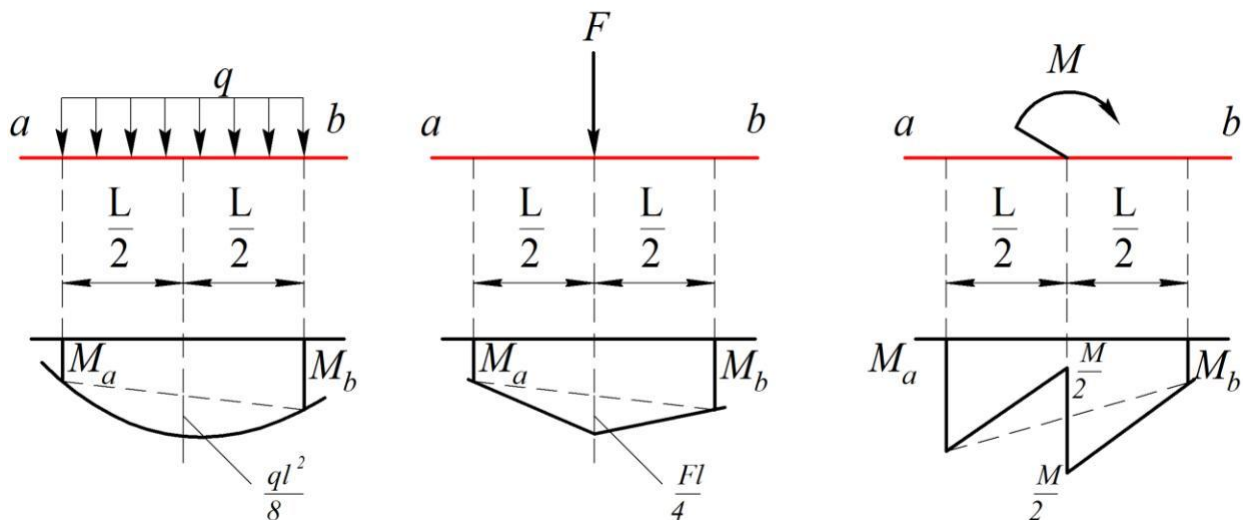


Рисунок 0.3

Пример Требуется построить эпюры M и Q в балке, изображенной на рис.0.4.

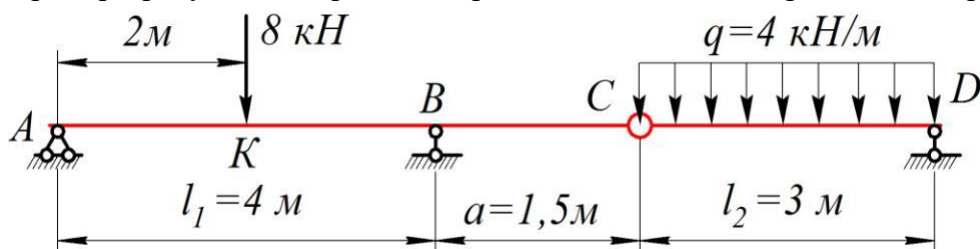


Рисунок 0.4

Балка ABC имеет две опоры “на землю” и является основной. Балка CD – второстепенная и на поэтажной схеме располагается “на втором этаже”.

Построив поэтажную схему начинают расчет (построение эпюр) с верхнего этажа.

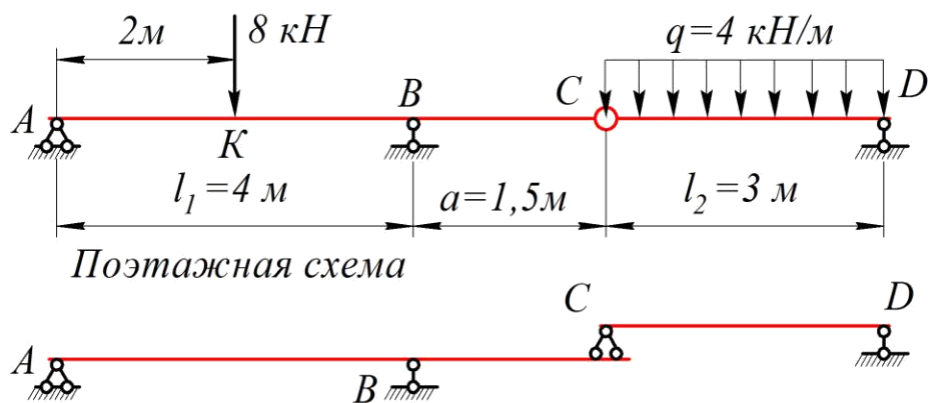


Рисунок 0.5

Расчет несомой балки CD (рис.0.6). Из условий симметрии

$$V_C = V_D = \frac{ql_2}{2} = \frac{4 \cdot 3}{2} = 6 \text{ кН.}$$

Момент в середине пролета равен

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{4 \cdot 3^2}{8} = 4,5 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Эпюры M и Q – на рис.0.6.

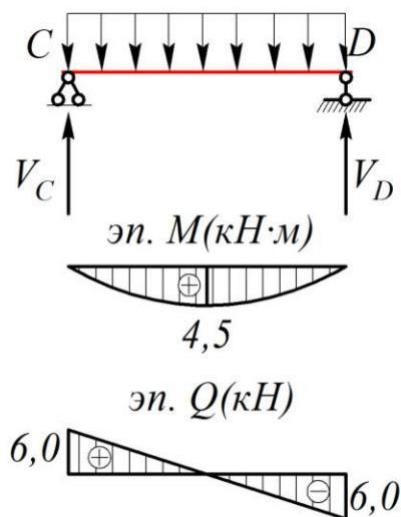


Рисунок 0.6

Расчет несущей балки AC. (рис.0.7)

Определяют опорные реакции

$$\sum M_A = 0; 8 \cdot 2 + 6 \cdot 5,5 - V_B \cdot 4 = 0;$$

$$V_B = \frac{49}{4} = 12,25 \text{ кН,}$$

$$\sum M_B = 0; V_A \cdot 4 - 8 \cdot 2 + 6 \cdot 1,5 = 0,$$

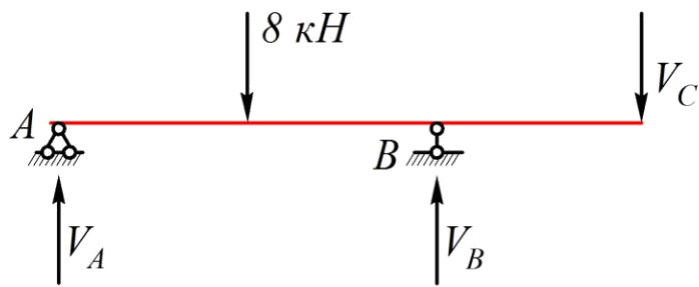
$$V_A = \frac{7}{4} = 1,75 \text{ кН.}$$

Проверка

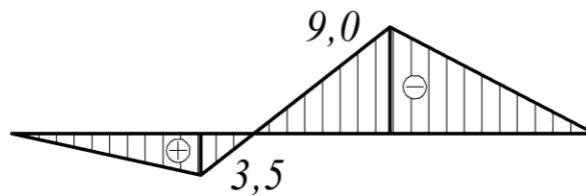
$$\sum y = 0; 1,75 - 8 + 12,25 - 6 = 14 - 14 = 0;$$

$$M_K = 1,75 \cdot 2 = 3,5 \text{ кН} \cdot \text{м,}$$

$$M_B = -6 \cdot 1,5 = -9,0 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$



эп. $M(\text{кН}\cdot\text{м})$



эп. $Q(\text{кН})$

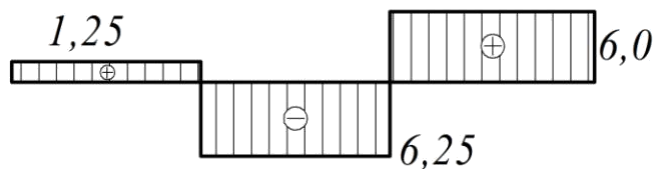
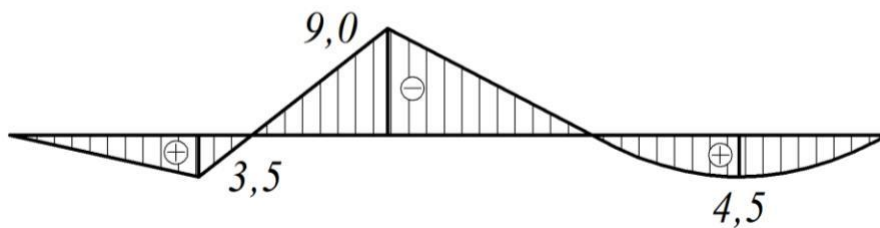


Рисунок 0.7

Окончательные эпюры M и Q показаны на рис.2.4с.

эп. $M(\text{кН}\cdot\text{м})$



эп. $Q(\text{кН})$

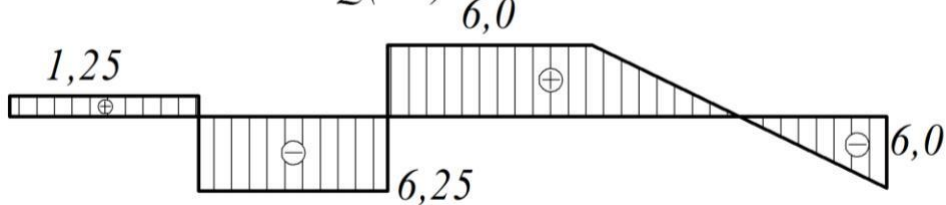


Рисунок 0.8

Вопросы:

1. Определение внутренних факторов балки.
2. Построение эпюр M .
3. Построение эпюр Q .
4. Позтажная схема.
5. Построение позтажной схемы.

Перечень основной литературы:

1. Строительная механика и металлические конструкции машин : учебное пособие / В.А. Глотов, А.В. Зайцев, В.Ю. Игнатьюгин. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 95 с. : ил., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-5266-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=426940](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=426940) (30.10.2016).
2. Вероятностные методы строительной механики и теория надежности строительных конструкций : учебное пособие : 2-х частях / В.А. Пшеничкина, Г.В. Воронкова, С.С. Рекунов, А.А. Чураков ; Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, Министерство образования и науки Российской Федерации. - Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. - Ч. I. - 92 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-98276-733-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434827](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434827) (30.10.2016).
3. Строительство и механика: краткий справочник / В.В. Леденев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 244 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-8265-1392-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444650](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444650) (30.10.2016).

Перечень дополнительной литературы:

1. Нелинейная инкрементальная строительная механика / В.В. Петров.М. : Инфра-Инженерия, 2014. - 480 с. - ISBN 978-5-9729-0076-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=234783](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=234783) (30.10.2016).
2. Строительная механика для архитекторов: учебник : в 2-х т. / Ю.Э. Сеницкий, А.К. Синельник ; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный архитектурно-строительный университет». - Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. - Т. II. - 280 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9585-0563-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256149](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256149) (30.10.2016).

Практическое занятие 2

Тема 2. Линии влияния и их применение для расчета статически определимых балок.

Нагрузки и внутренние силовые факторы, Линии влияния в статически определимых балках.

Цель: научиться определять линии влияния опорных реакций и расчетных усилий в балках.

Знать: основные положения строительной механики; расчетные методы строительной механики; методы, расчета устойчивости и динамики сооружений, методики разработки расчетных схем, методики разработки статистического и кинематического анализа.

Уметь: самостоятельно осваивать отдельные теоретические положения строительной механики; применять теоретические положения к традиционным и новым техническим решениям конструкций и конструктивных систем; определять с необходимыми точностью и надежностью, прочность строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью жесткость строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью устойчивость отдельных строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений.

Владеть: основными положениями и расчетными методами строительной механики; методами расчета устойчивости; методами расчета динамики сооружений; методами расчета строительных конструкций; способностью определять различные виды нагрузок.

Актуальность темы объясняется основными принципами определения внутренних факторов многопролетной балки.

Теоретическая часть:

Линии влияния опорных реакций и расчетных усилий в балках.

При расчете строительных конструкций нередко приходится иметь дело с нагрузками, которые могут занимать на ней разные положения. Например, это может быть тележка крана на подкрановой балке, нагрузка проходящего поезда или скопления людей на ферме моста и т.п. Все эти нагрузки представляют собой, как правило, систему сосредоточенных вертикальных грузов с фиксированным расстоянием друг от друга. Предполагается, что нагрузки лишь изменяют свое положение, но не создают динамического эффекта.

Линией влияния (л.в.) какого-либо расчетного усилия (опорной реакции, изгибающего момента или поперечной силы) в заданном сечении балки называют график, отражающий закон изменения этого усилия в зависимости от положения на балке груза

$P = 1$.

Линии влияния позволяют легко определить усилия в сечении, для которого они построены от любых нагрузок в произвольной комбинации.

Проще всего построение л.в. можно осуществить, используя **статический способ**. Он состоит в том, что из уравнений равновесия находят формулу (закон) изменения усилия в рассматриваемом сечении, для которого строится л.в., при любом положении груза $P = 1$. Положение груза определяется в произвольно выбранной системе координат. В балках за начало отсчета принимают обычно левую опору A .

Л.в. опорных реакций V_A и V_B балки с консолями (рис.0.9).

Из уравнений равновесия можно получить формулы для V_A и V_B :

Уравнение л.в. V_A :

$$\sum M_B = 0; V_A \cdot l - 1(l - x) = 0;$$

$$V_A = \frac{l - x}{l}.$$

Уравнение л.в. V_B :

$$\sum M_A = 0; -V_B \cdot l + 1 \cdot x = 0;$$

$$V_B = \frac{x}{l}.$$

Каждое из этих уравнений - это уравнение прямой линии (x в первой степени). Графики можно построить, определив опорные реакции в двух точках:

при $x = 0; V_A = 1, V_B = 0,$

при $x = l; V_A = 0, V_B = 1.$

Положительный знак означает, что соответствующая реакция направлена вверх. При положении груза $P = 1$ на дальней от опоры консоли опорная реакция меняет знак, так как направлена вниз.

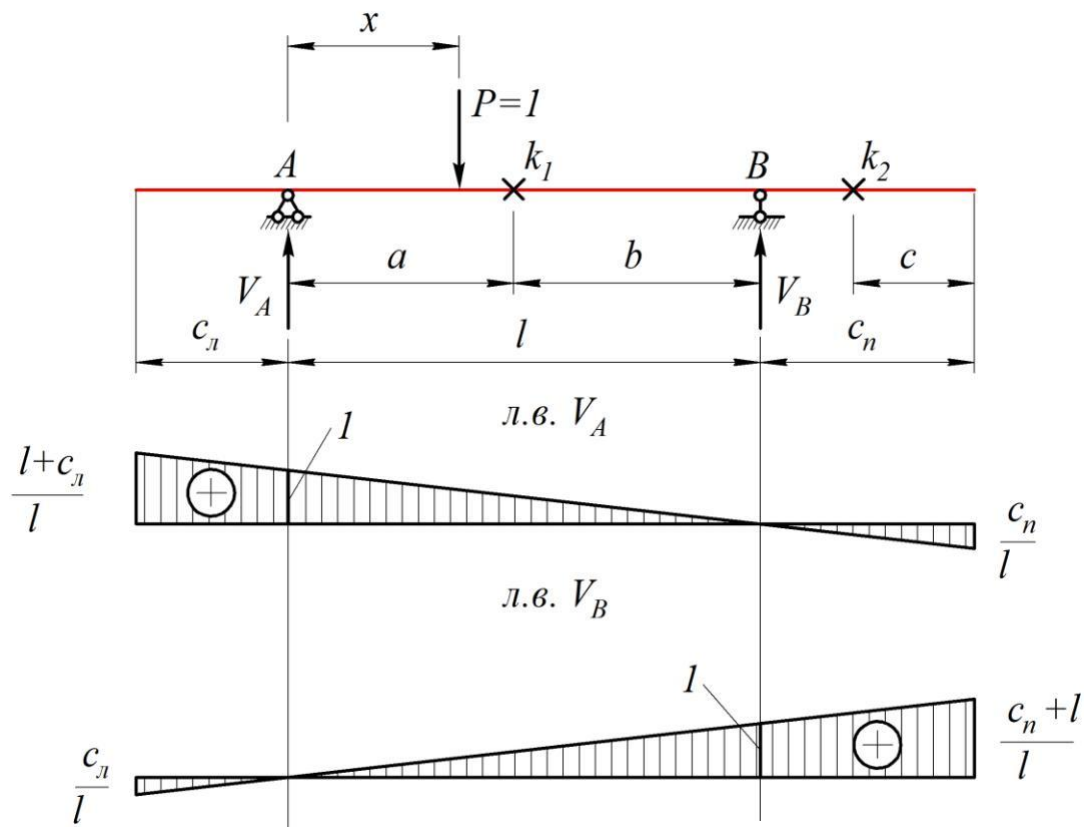


Рисунок 0.9

Чтобы сразу оценить полезность таких графиков, зададимся вопросом, что будет, если на балке в каком то месте стоит не единичный груз, а сосредоточенная сила, например, мешок с цементом 0,5 кН.? Нужно умножить эту силу на ординату линии влияния (например, л.в. V_A) под нагрузкой и сразу, без составления уравнений равновесия получить значение опорной реакции V_A .

Линии влияния изгибающего момента и поперечной силы в каком либо сечении балки получают аналогично. Они функционально связаны с линиями влияния опорных реакций.

Линия влияния изгибающего момента M_{k_1} в сечении k_1 , расположенного в пролете балки (рис.0.10).

Рассматривают два случая расположения единичного груза: левее заданного сечения k_1 и правее него. Выражение для момента M_{k_1} получают из уравнения равновесия. Составляют уравнение для той части балки, на которой груз $P = 1$ отсутствует:

1. Пусть груз $P = 1$ расположен левее сечения k_1 . Рассматривая равновесии правой части балки получим: $M_{k_1} = V_B \cdot b = \frac{x}{l} b$. Эта формула определяет левую ветвь л.в. M_{k_1} от сечений k_1 до конца левой консоли.

2. Пусть груз $P = 1$ расположен правее сечения k_1 . Тогда $M_{k_1} = V_A \cdot a = \frac{l-a}{l}$. Эта формула определяет правую ветвь л.в. M_{k_1} .

Таким образом, ординаты правой ветви равны увеличенным в a раз ординатам линии влияния опорной реакции V_A , а ординаты левой ветви – ординатам л.в. V_B , увеличенным в b раз. Левая и правая ветви пересекаются над сечением k_1 (рис. 0.10).

Каждая ордината этого графика дает значение изгибающего момента в сечении k_1 , когда груз располагается на балке в месте, соответствующем этой ординате. Отличие от эпюры моментов состоит и в том, что положительные ординаты откладываются над осью балки.

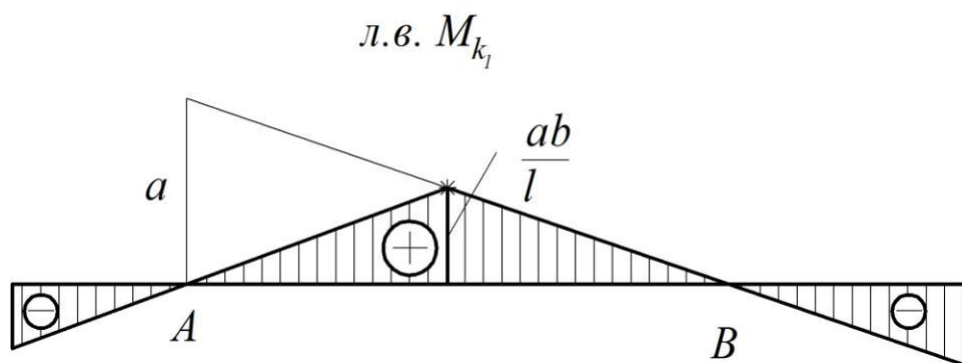


Рисунок 0.10

Итак, построение л.в. изгибающего момента в заданном сечении k двухопорной балки сводится к следующему простому алгоритму:

1. На левой опоре вверх откладывают отрезок, равный расстоянию от этой опоры до сечения. Этот отрезок можно откладывать в любом удобном масштабе.
2. Конец отрезка соединяют с правой опорой.
3. На полученную прямую сносят сечение. На рис. 0.10 эта точка показана звездочкой.
4. Точку пересечения соединяют с левой опорой.
5. Если у балки есть консольные участки, то правую ветвь л.в. продолжают по прямой до конца правой консоли, а левую ветвь – до конца левой консоли

Линия влияния поперечной силы Q_{k_1} (рис.0.11)

Опираясь на определение поперечной силы в балках, как проекции всех сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого сечения на нормаль к оси балки, нетрудно получить формулы для левой и правой ветвей л.в. Q_{k_1} :

1. Груз $P = 1$ левее сечения k_1 :

$$Q_{k_1} = -(V_B) = -\frac{x}{l} \text{ — левая ветвь,}$$

2. Груз $P = 1$ правее сечения k_1 :

$$Q_{k_1} = V_A = \frac{l-x}{l} \text{ — правая ветвь.}$$

Порядок построения л.в. поперечной силы для сечения сводится к следующим действиям:

1. На левой опоре *вверх* откладывают отрезок равный единице (рис.0.11)
2. На правой опоре *вниз* откладывают отрезок равный единице.
3. Соединяют концы отрезков с противоположными опорами.
4. На полученный параллелограмм сносят сечение.
5. Если у балки есть консольные участки, то правую ветвь л.в. продолжают по прямой до конца правой консоли, а левую ветвь – до конца левой консоли

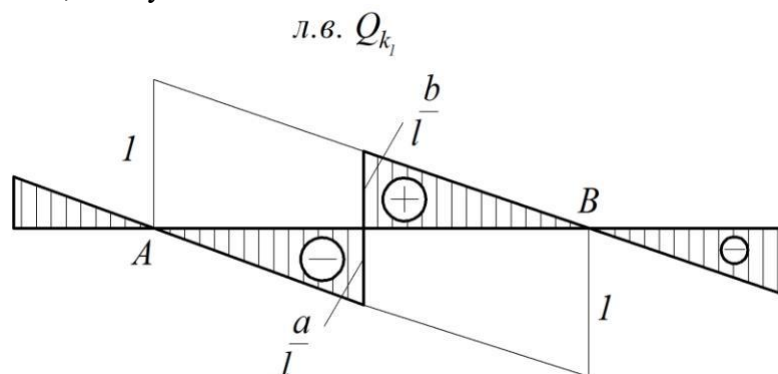


Рисунок 0.11

Линии влияния момента и поперечной сил для сечения k_2 , расположенного на консольной части балки (рис.0.12), легче всего строить, опираясь лишь на определения изгибающего момента и поперечной силы в балке.

Рассмотрим, например, сечение k_1 на правой консоли.

Будем задавать положение груза $P = 1$ координатой x с началом отсчета в сечении k_2 направляя ось вправо (см. рис.0.9)

Линия влияния M_{k_2} .

1. Груз $P = 1$ левее сечения k_2 . (Рассматривая правую ненагруженную часть консоли устанавливаем на основании определения момента, что $M_{k_2} = 0$)

2. Груз $P = 1$ правее сечения k_2 : $M_{k_2} = -1 \cdot x$.

Линия влияния M_{k_2} показана на рис.0.12

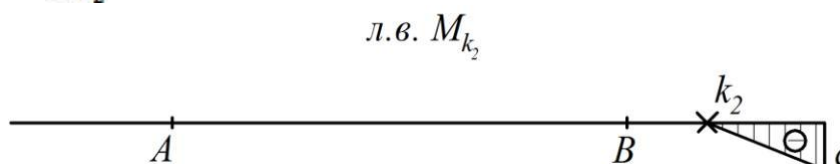


Рисунок 0.12

Линия влияния Q_{k_2} (рис.0.13)

1. Груз $P = 1$ левее сечения k_2 : $Q_{k_2} = 0$.

2. Груз $P = 1$ правее сечения k_2 : $Q_{k_2} = 1$.

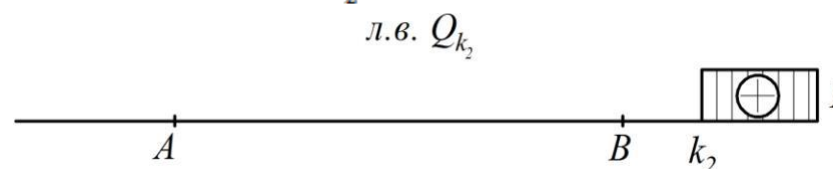


Рисунок 0.13

Сравнивая эпюры изгибающих моментов M и поперечных сил Q с линиями влияния M и Q , следует отметить, что они принципиально различны.

Ординаты эпюр усилий характеризуют напряженное состояние всей системы, в любом сечении от одной конкретной заданной нагрузки. При другом положении нагрузки расчет нужно проводить заново и строить новые эпюры.

Ординаты линии влияния, наоборот, характеризуют величину и изменение усилия в одном сечении, для которого построена эта линия влияния, в зависимости от положения единичной силы.

Вопросы:

1. Понятие линии влияния.
2. Построение линии влияния опор.
3. Построение линии влияния M .
4. Построение линии влияния Q .
5. Отличия линии влияния от эпюр.

Перечень основной литературы:

1. Строительная механика и металлические конструкции машин : учебное пособие / В.А. Глотов, А.В. Зайцев, В.Ю. Игнатьюгин. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 95 с. : ил., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-5266-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=426940](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=426940) (30.10.2016).
2. Вероятностные методы строительной механики и теория надежности строительных конструкций : учебное пособие : 2-х частях / В.А. Пшеничкина, Г.В. Воронкова, С.С. Рекунов, А.А. Чураков ; Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, Министерство образования и науки Российской Федерации. - Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. - Ч. I. - 92 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-98276-733-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434827](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434827) (30.10.2016).
3. Строительство и механика: краткий справочник / В.В. Леденев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 244 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-8265-1392-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444650](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444650) (30.10.2016).

Перечень дополнительной литературы:

1. Нелинейная инкрементальная строительная механика / В.В. Петров.М. : Инфра-Инженерия, 2014. - 480 с. - ISBN 978-5-9729-0076-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=234783](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=234783) (30.10.2016).
2. Строительная механика для архитекторов: учебник : в 2-х т. / Ю.Э. Сеницкий, А.К. Синельник ; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный архитектурно-строительный университет». - Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. - Т. II. - 280 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9585-0563-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256149](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256149) (30.10.2016).

Практическое занятие 3

Тема 3. Трехшарнирные арки и рамы.

Общие сведения, Расчет трехшарнирных арок и рам, Расчет трехшарнирных арок на подвижную нагрузку,

Цель: научиться рассчитывать многопролетной шарнирной балки.

Знать: основные положения строительной механики; расчетные методы строительной механики; методы, расчета устойчивости и динамики сооружений, методики разработки расчетных схем, методики разработки статистического и кинематического анализа.

Уметь: самостоятельно осваивать отдельные теоретические положения строительной механики; применять теоретические положения к традиционным и новым техническим решениям конструкций и конструктивных систем; определять с необходимыми точностью и надежностью, прочность строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью жесткость строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью устойчивость отдельных строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений.

Владеть: основными положениями и расчетными методами строительной механики; методами расчета устойчивости; методами расчета динамики сооружений; методами расчета строительных конструкций; способностью определять различные виды нагрузок.

Актуальность темы объясняется основными принципами определения внутренних факторов многопролетной балки.

Теоретическая часть:

Пример. Расчет многопролетной статически определимой балки

Для многопролетной статически определимой балки требуется (рис.0.18):

1. Проверить геометрическую неизменяемость системы;
2. Построить эпюры изгибающих моментов M и поперечных сил Q от заданной нагрузки;
3. Построить линии влияния M и Q для заданного сечения 1 статическим способом;
4. Загрузить эти линии влияния заданной внешней нагрузкой и сравнить полученные результаты со значениями ординат эпюр M и Q в этом же сечении в п.2.

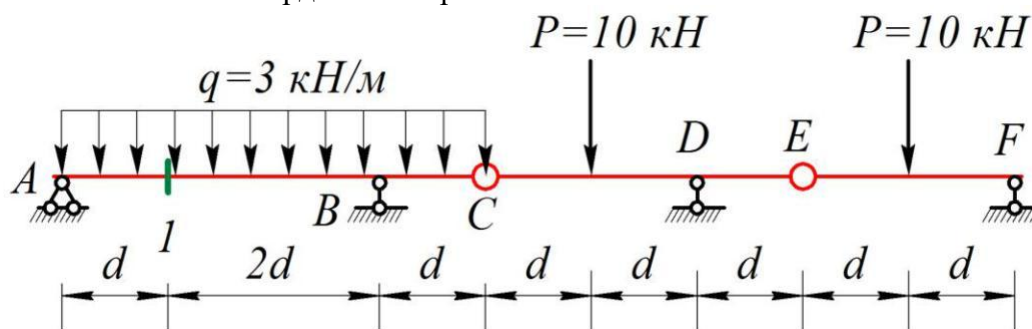


Рисунок 0.18 Исходные данные

Решение:

1. Проверка геометрической неизменяемости системы.

Размеры балки и заданная система внешних сил показаны на рис.0.18.

Многопролетная статически определимая балка (рис.0.18) состоит из трёх балок (дисков), соединенных между собой шарнирами C и E , и имеет 5 опорных стержней. Число степеней свободы рассматриваемой системы подсчитаем по формуле:

$$W = 3D - 2Ш - C_0 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 2 - 5 = 0.$$

Следовательно, рассматриваемая статически определимая балка имеет необходимое количество связей и является геометрически неизменяемой системой. С методической целью проведем анализ геометрической неизменяемости балки и другим способом.

Для проверки неизменяемости данной многопролетной балки начнем геометрический анализ с рассмотрения балки ABC . Она соединена с землей тремя непараллельными и не пересекающимися в одной точке опорными стержнями и, следовательно, геометрически неизменяема, и может быть названа основной.

Балка CDE , являясь дополнительной по отношению к балке ABC , прикреплена к неизменяемой системе с помощью шарнира C кинематически эквивалентного двум связям, а к земле – с помощью одного опорного стержня D . Так как направление указанного опорного стержня не проходит через шарнир C , балка CDE является геометрически неизменяемой.

Балка EF является дополнительной и прикреплена к неизменяемой системе шарниром E , эквивалентным двум связям, а к земле – опорным стержнем F , направление которого не проходит через шарнир E , и поэтому эта балка также геометрически неизменяема.

Таким образом, данная многопролетная статически определимая балка является геометрически неизменяемой.

2. Построение эпюр изгибающих моментов M и поперечных сил Q от заданной нагрузки.

Для построения эпюр изгибающих моментов M и поперечных сил Q для многопролетной статически определимой балки необходимо отдельно построить эпюры для каждой балки (основной и дополнительных), а затем их совместить. При этом определение ординат изгибающих моментов и поперечных сил следует вначале проводить для таких дополнительных балок, опорные реакции которых не зависят от нагрузок на других балках.

По расчетной ("поэтажной") схеме (рис.0.19, б) видно, что такой балкой является балка EF .

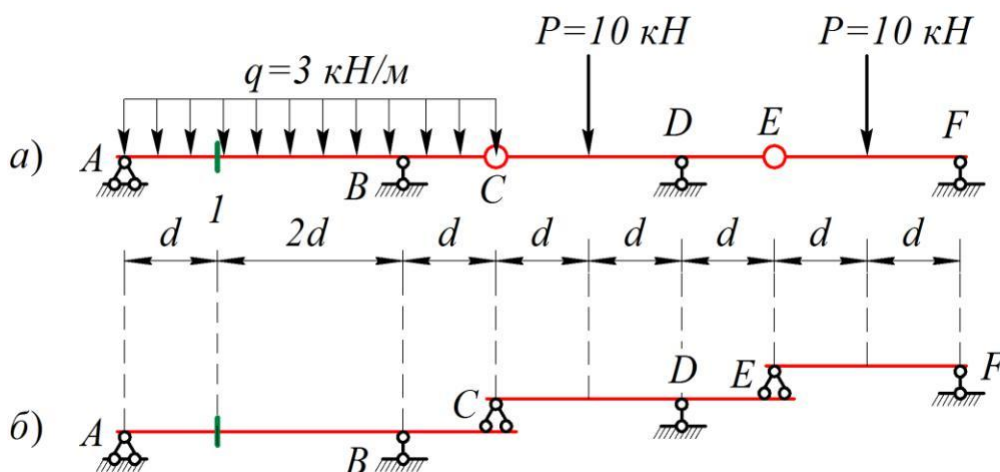


Рисунок 0.19

2.1. Построение эпюр M и Q для дополнительной балки EF .

Однопролетная балка EF имеет два участка. Так как сосредоточенная сила P приложена в середине пролета, то опорные реакции:

$$R_E = R_F = \frac{P}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ кН}.$$

Максимальный изгибающий момент будет под силой и определится по формуле:

$$M = \frac{P \cdot 2d}{4} = \frac{60}{4} = 15 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Поперечная сила:

на I участке $Q = R_E = 5 \text{ кН}$,

на II участке $Q = -R_F = -5 \text{ кН}$.

По полученным значениям ординат строим для балки эпюры изгибающих моментов M (рис.0.20, б) и поперечных сил Q (рис.0.20, в).

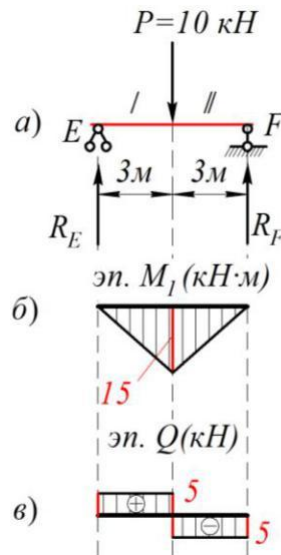


Рисунок 0.20 Однопролетная балка EF

2.2. Построение эпюр M и Q для консольной дополнительной балки CDE.

Данная однопролетная балка с консолью имеет три участка (рис.0.21). На консоли в точке E от дополнительной балки EF действует сила $\frac{P}{2} = 5 \text{ кН}$.

Опорные реакции определяем из уравнений равновесия балки:

$$\sum M_C = P \cdot d + \frac{P}{2} \cdot 3d - R_D \cdot 6 = 10 \cdot 3 + 5 \cdot 9 - R_D \cdot 6 = 0,$$

откуда

$$R_D = \frac{10 \cdot 3 + 5 \cdot 9}{6} = 12,5 \text{ кН};$$

$$\sum M_D = -P \cdot d + \frac{P}{2} \cdot d + R_C \cdot 6 = -10 \cdot 3 + 5 \cdot 3 + R_C \cdot 6 = 0,$$

откуда

$$R_C = \frac{10 \cdot 3 - 5 \cdot 3}{6} = 2,5 \text{ кН}.$$

Обязательным является проверка правильности вычисления опорных реакций.

В нашем случае

$$\sum Y = R_C + R_D - P - \frac{P}{2} = 2,5 + 12,5 - 10 - 5 = 0.$$

Следовательно, реакции определены правильно. Экстремальные значения изгибающего момента возникают в сечении:

под действующей силой P :

$$M = R_C \cdot d = 2,5 \cdot 3 = 7,5 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

в сечении D :

$$M = -\frac{P \cdot d}{2} = -5 \cdot 3 = -15 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Поперечная сила по участкам принимает значения:

на I участке: $Q = R_C = 2,5 \text{ кН}$;

на II участке: $Q = R_C - P = 2,5 - 10 = -7,5 \text{ кН}$;

на III участке: $Q = \frac{P}{2} = 5 \text{ кН}$.

По вычисленным ординатам строим эпюры M и Q (рис.0.21, б, в).

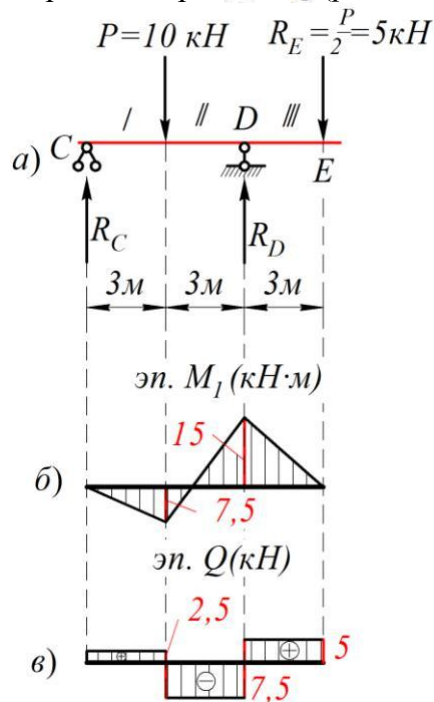


Рисунок 0.21 Дополнительная балка CDE

2.3. Построение эпюр M и Q для основной балки ABC.

Эту однопролетную балку разбиваем на три расчетных участка. Основной расчетной нагрузкой балки является равномерно распределенная нагрузка. Кроме того, на консоли в т. C действует реактивная сила $R'_C = 2,5 \text{ кН}$, возникшая от опорной реакции дополнительной балки CDE (рис.0.22, а).

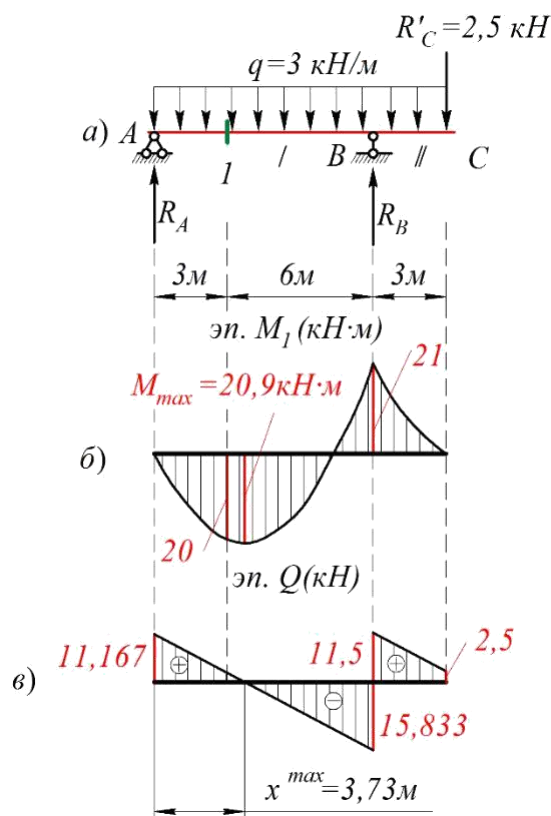


Рисунок 0.22 Основная балка ABC

Опорные реакции определяем из уравнений равновесия балки:

$$\sum M_A = R_C \cdot 12 - R_B \cdot 9 + \frac{q \cdot 12^2}{2} = 0,$$

откуда:

$$R_B = \frac{2,5 \cdot 12 + 1,5 \cdot 12^2}{9} = 27,333 \text{ кН};$$

$$\sum M_B = R_A \cdot 9 + R_C \cdot 3 - \frac{q \cdot 9^2}{2} + \frac{q \cdot 3^2}{2},$$

откуда:

$$R_A = \frac{-2,5 \cdot 3 + 3 \cdot \frac{9^2}{2} - 3 \cdot \frac{3^2}{2}}{9} = 11,167 \text{ кН}.$$

Проверим правильность вычисления опорных реакций по уравнению:

$$\sum Y = R_A + R_B - 3q - R_C = 11,167 + 27,333 - 36 - 2,5 = 0.$$

Отсюда следует, что опорные реакции определены правильно. Для определения $M_{\max}$

в пролете балки найдем вначале значение $x^{\max}$, при котором $\frac{dM}{dx} = Q = 0$. Приравнявая выражение для Q на этом участке к нулю, получим:

$$R_A - qx^{\max} = 0, \text{ откуда:}$$

$$x^{\max} = \frac{R_A}{q} = \frac{11,167}{3} = 3,73 \text{ м}.$$

Подставляя найденное значение $x^{\max} = 3,73$ м в аналитическое выражение для изгибающего момента на 1 участке, найдем значение $M_{\max}$:

$$M_{\max} = R_A \cdot x^{\max} - \frac{q \cdot x^{\max 2}}{2} = 11,167 \cdot 3,73 - \frac{3 \cdot 3,73^2}{2} = 20,91 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Наибольший изгибающий момент на II участке будет в сечении B. Написав аналитическое выражение для M_B и подставив значение параметров, найдем:

$$M_B = -\frac{q \cdot d^2}{2} - R_C \cdot d = -\frac{3 \cdot 3^2}{2} - 2,5 \cdot 3 = -21 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Определим значение поперечной силы в характерных сечениях.

В опорном сечении A: $Q_A = R_A = 11,167 \text{ кН}.$

Левее опоры B: $Q_B^{\text{слева}} = R_A - q \cdot 9 = 11,167 - 3 \cdot 9 = -15,833 \text{ кН}.$

Правее опоры B: $Q_B^{\text{справа}} = R_B - Q_B^{\text{слева}} = 27,333 - 15,833 = 11,5 \text{ кН}.$

По полученным значениям M и Q в характерных сечениях участков строим эпюры. При этом необходимо иметь в виду, что ординаты эпюры M откладываем со стороны «растянутых волокон», а эпюры Q - положительные ординаты откладываем вверх, а отрицательные - вниз.

Совместив эпюры M и Q всех трех балок, получим эпюры M и Q для многопролетной шарнирной балки (рис.0.23, в, г).

2.4. Определение изгибающего момента M и поперечной силы Q в сечении 1.

$$M_1 = R_A \cdot 3 - \frac{q \cdot 3^2}{2} = 11,167 \cdot 3 - \frac{3 \cdot 3^2}{2} = 20 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_1 = R_A - q \cdot 3 = 11,167 - 3 \cdot 3 = 2,167 \text{ кН}.$$

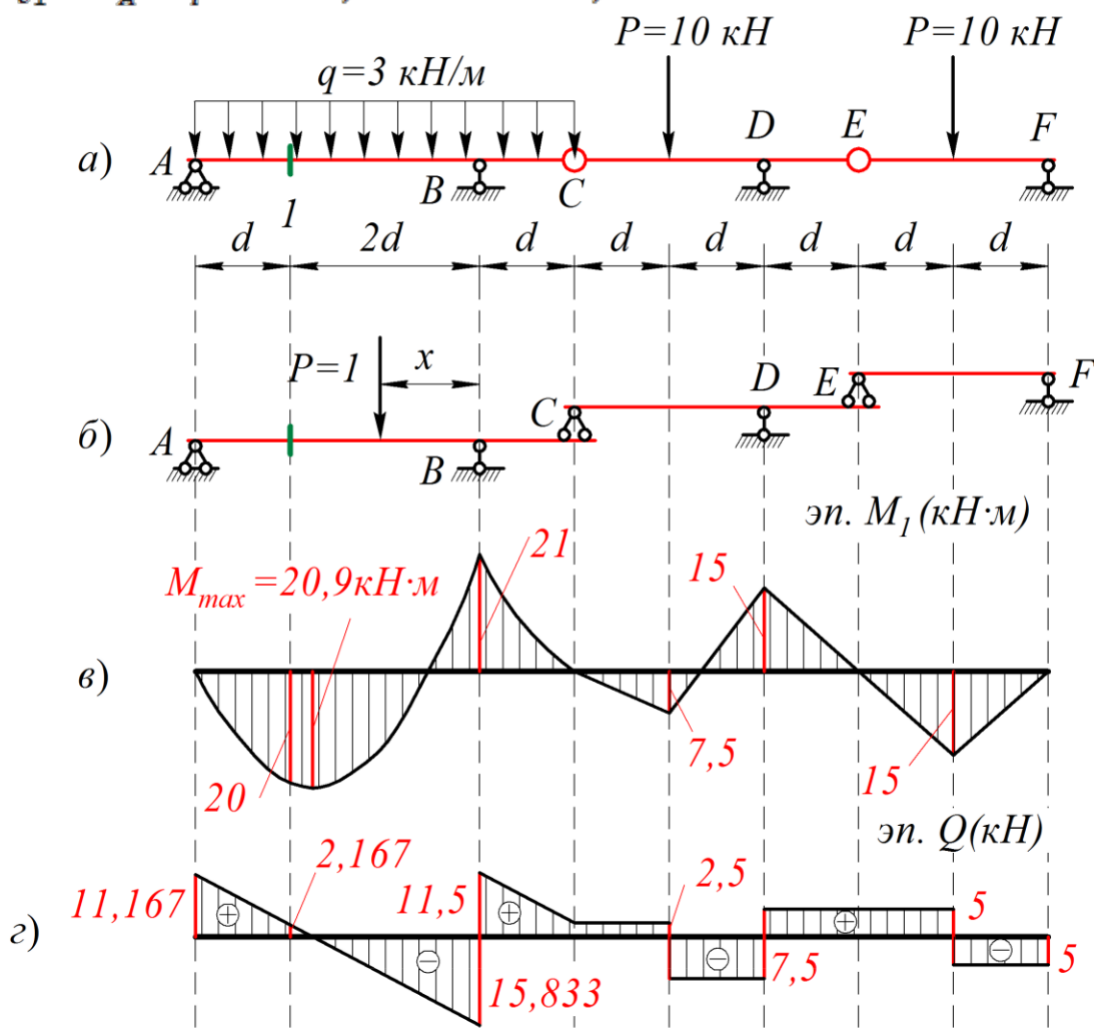


Рисунок 0.23

3. Построение линий влияния R_A и R_B .

Линия влияния опорной реакции R_A

При расположении груза $P = 1$ в т. A нагрузка полностью воспринимается этой опорой и $R_A = P = 1$.

При расположении груза в т. B нагрузка полностью воспринимается этой опорой и $R_A = 0$.

При расположении груза $P = 1$ в т. C

$$\sum M_B = P \cdot d + R_A \cdot 3d = 0;$$

$$R_A = -\frac{P \cdot d}{3d} = -\frac{1 \cdot 3}{3 \cdot 3} = -0,33.$$

Далее линию влияния распространяем на дополнительные балки CE и EF с учетом узловой передачи нагрузок. При положении груза над опорами балок внутренние усилия в т. A равно нулю (рис. 0.24 б).

Линия влияния опорной реакции R_B .

При расположении груза в т. B нагрузка полностью воспринимается этой опорой и $R_B = P = 1$.

При расположении груза $P = 1$ в т. A нагрузка полностью воспринимается этой опорой и $R_B = 0$. При расположении груза $P = 1$ в т. C $\sum M_A = P \cdot 4d - R_B \cdot 3d = 0$;

$$R_B = \frac{P \cdot 4d}{3d} = \frac{1 \cdot 4 \cdot 3}{3 \cdot 3} = 1,33.$$

Далее линию влияния распространяем на дополнительные балки CE и EF аналогично линии влияния опорной реакции R_A (рис. 0.24 в).

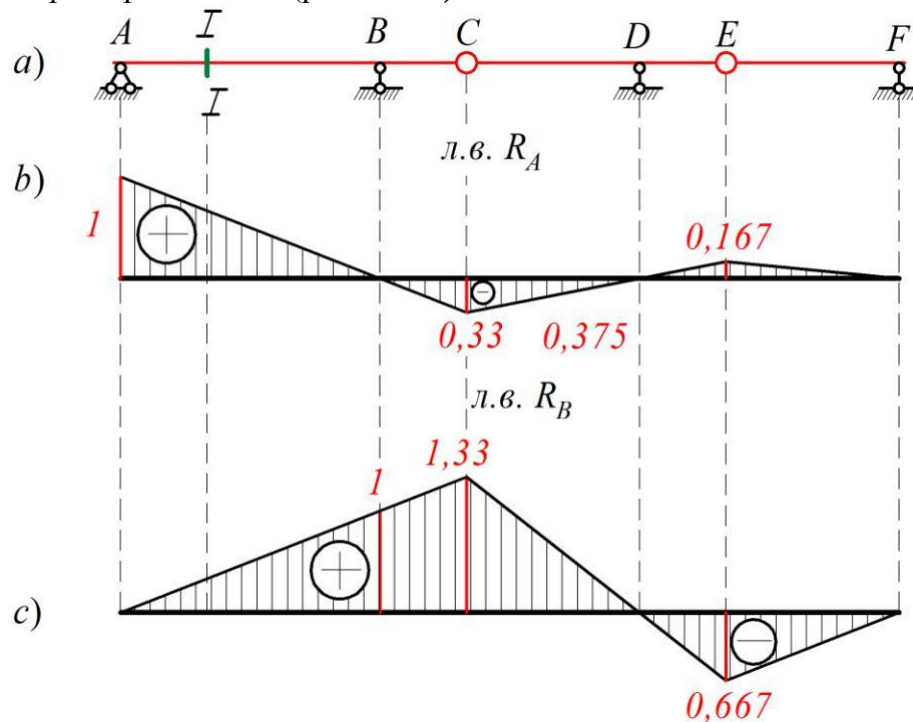


Рисунок 0.24 Линии влияния R_A и R_B .

4. Построение линий влияния M и Q для сечения 1.

Построение линий влияния внутренних силовых факторов M и Q выполним статическим способом в следующем порядке:

- устанавливаем взаимодействие основной и дополнительных балок по “поэтажной” схеме (рис.0.19, б);
- строим линии влияния внутренних усилий для однопролетной балки, в которой находится рассматриваемое сечение;
- полученную линию влияния распространяем на всю длину многопролетной балки с учетом узловой передачи нагрузок. При этом следует иметь в виду, что при положении груза $P = 1$ над опорами балок внутренние усилия во всех сечениях равны нулю;
- определяем из подобия треугольников значения ординат.

Характерные из них указываем на линиях влияния, причем положительные ординаты откладываем вверх. Характерными точками линий влияния являются точки перелома под шарнирами.

Построим линии влияния M_1 и Q_1 в сечении 1 (рис.0.25, д, е). Сечение 1 находится в основной однопролетной балке с консолью. Поэтому для нее линии влияния строятся, как для однопролетной балки с консолью. При их построении необходимо рассмотреть положение груза $P = 1$ правее и левее сечения 1.

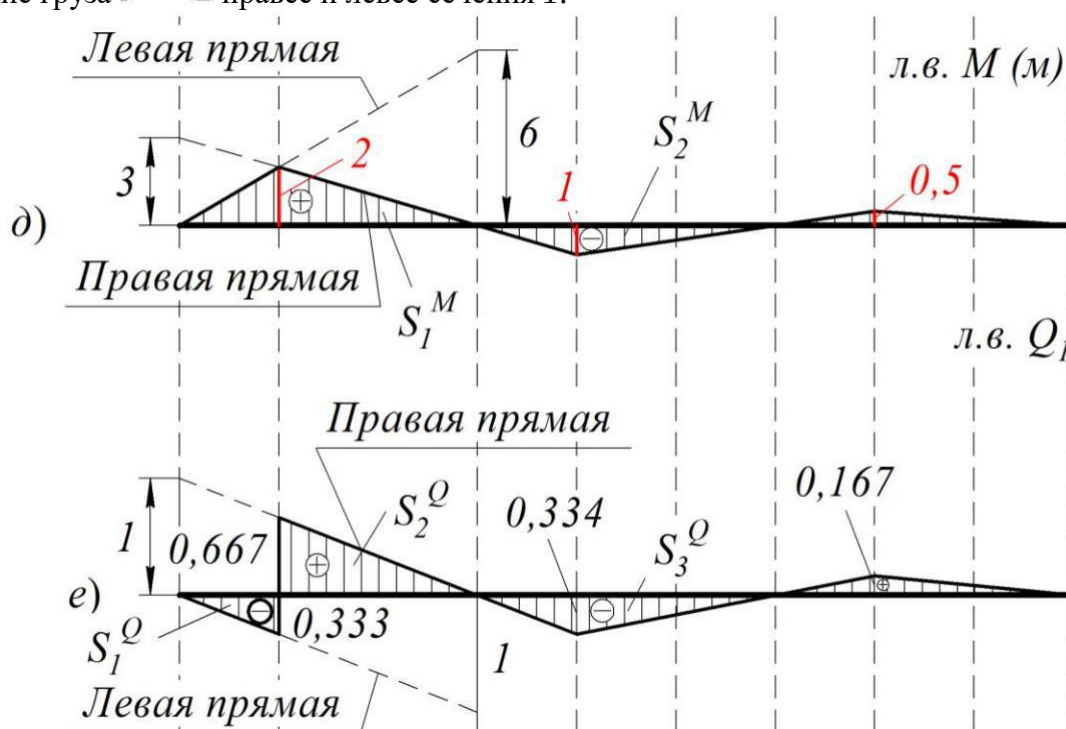


Рисунок 0.25

Левая и правая прямые линии влияния момента пересекаются под сечением 1, а линии влияния поперечной силы в этом случае имеют скачок на величину, равную единице.

Ордината изгибающего момента под сечением определяется по формуле

$$M_1 = \frac{a}{l} \cdot b \cdot c, \quad \text{где } a \text{ и } b - \text{расстояния от сечения 1 до опор A и B}$$

соответственно; $l = 9$ м - пролет балки.

Далее линии влияния M_1 и Q_1 распространяются на правую панель, т.е. правую прямую следует продлить до конца консоли. Влияние дополнительных балок учитываем по правилу узловой передачи нагрузок следующим образом.

Так как ордината линии влияния в сечении 1 равна нулю, когда груз расположен над опорами D и F , то с конца консоли балки ABC проводим прямую, проходящую через нуль в сечении D и продолжаем до конца консоли балки CDE , откуда проводим прямую, проходящую через нуль в сечении F .

5. Определение M_1 и Q_1 от заданной внешней нагрузки с помощью построенных линий влияния.

Для вычисления изгибающего момента и поперечной силы по линиям влияния от нагрузки q ее интенсивность умножаем на алгебраическую сумму площадей S соответствующих участков линии влияния. От сосредоточенных сил величину моментов и поперечных сил вычисляем как алгебраическую сумму произведений P_i на величину ординаты y_i , взятых на линиях влияния под точками приложения грузов.

Так как в данной задаче многопролетная статически определимая балка загружена равномерно распределенной нагрузкой q и сосредоточенными силами, то изгибающий момент в сечении 1 определяем, пользуясь линией влияния (рис.0.25, д), по формуле:

$$M_1 = \sum_k S_i^M \cdot q_k + \sum_i P_i \cdot y_i$$

где

$$\sum_k S_i^M = S_1^M - S_2^M = \frac{2 \cdot 9}{2} - \frac{1 \cdot 3}{2} = 7,5 \text{ м}^2;$$

$$\sum_k S_i^M \cdot q = 7,5 \cdot 3 = 22,5 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\sum_i P_i \cdot y_i = -10 \cdot 0,5 + 10 \cdot 0,25 = -2,5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$M_1 = 22,5 - 2,5 = 20 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Тогда полученное значение изгибающего момента в сечении 1 соответствует определенному аналитически.

Определим значение поперечной силы в сечении 1 по линии влияния Q_1 (рис.0.25, е), пользуясь формулой:

$$Q_1 = \sum_k S_i^Q \cdot q_k + \sum_i P_i \cdot y_i$$

где

$$\sum_k S_i^Q = -S_1^Q + S_2^Q - S_3^Q = -\frac{0,333 \cdot 3}{2} + \frac{0,667 \cdot 6}{2} - \frac{0,334 \cdot 3}{2} = 1 \text{ м};$$

$$\sum_k S_i^Q \cdot q = 1 \cdot 3 = 3 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\sum_i P_i \cdot y_i = 10 \cdot (-0,167) + 10 \cdot 0,0835 = -0,835 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$\text{Тогда } Q_1 = 3 - 0,835 = 2,165 \text{ кН}.$$

Полученные значения Q_1 вычисленные аналитически и с применением линий влияния практически совпали: разница составляет всего 0,09%.

Вопросы:

1. Понятие линии влияния.
2. Построение линии влияния опор на примере балки.
3. Построение линии влияния M .
4. Построение линии влияния Q .
5. Отличия линии влияния от эпюр.

Перечень основной литературы:

1. Глотов, В.А. Строительная механика и металлические конструкции машин / В.А. Глотов, А.В. Зайцев, В.Ю. Игнатьюгин. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 95 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=426940>. – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-5266-4. – DOI 10.23681/426940. – Текст : электронный.

Перечень дополнительной литературы:

1. Старцева, Л.В. Строительная механика в примерах и задачах / Л.В. Старцева, В.Г. Архипов, А.А. Семенов. – Москва : Издательство АСВ, 2014. – 222 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=274344>. – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-93093-985-9. – Текст : электронный.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «**Строительная механика**»
для студентов направления подготовки

08.03.01 Строительство

направленность (профиль) «Городское строительство и хозяйство»

Пятигорск, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	
Лабораторное занятие 1.....	
Лабораторное занятие 2.....	
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	

Введение

Целью методических указаний по изучению дисциплины является закрепление и углубление знаний, полученных при изучении теоретического материала по дисциплине «Строительная механика».

Целью проведения практических занятий является:

1. Обобщение, систематизация, закрепление полученных теоретических знаний по темам конкретным требованиям дисциплины
2. Формирование умений применять полученные знания на практике
3. Выработка оптимальных решений при решении практических задач предметной области

Ведущей целью практических занятий по дисциплине Сопротивление материалов является формирование профессиональных компетенций и умений – выполнение определенных действий, необходимых в предметной области.

Методические указания призваны обеспечить эффективность самостоятельной работы студентов с литературой, на основе рациональной организации ее изучения, облегчить подготовку студентов к сдаче экзамена, сориентировать их в направлении изучения материала по поставленным вопросам, дать возможность отработать навыки составления и оформления различных видов документов, как под контролем преподавателя, так и самостоятельно.

Перед подготовкой к занятию студенты должны ознакомиться с планом практического занятия, а также с учебной программой по данной теме что поможет студенту сориентироваться при проработке вопроса и правильно составить план ответа. Следующий этап – изучение конспекта лекций, разделов учебников, ознакомление с дополнительной литературой, рекомендованной к занятию. Студенты должны готовить краткий конспект ответов на все вопросы, знать определения основных категорий.

Разработано для очно-заочной формы обучения.

Лабораторное занятие 1

Тема 2. Линии влияния и их применение для расчета статически определимых балок.

Нагрузки и внутренние силовые факторы,

Цель: научиться определять внутренние усилия

Знать: принципы сопротивления конструкционных материалов, методы и алгоритмы проектирования различных механических систем; методы и алгоритмы конструирования элементов различных механических систем, методики расчета на прочность, жесткость и устойчивость элементов машин и их конструкций;

Уметь: осуществлять рациональный выбор конструкционных и эксплуатационных материалов; производить расчеты на прочность и жесткость при растяжении-сжатии, кручении, изгибе и сложном нагружении, при статическом и ударном приложении нагрузок; выполнять стандартные виды прочностных расчетов.

Актуальность темы объясняется основными принципами определения внутренних факторов возникающих в задачах на растяжение – сжатие..

Теоретическая часть:

Пример решения задачи на тему «растяжение и сжатие»

Построить по длине бруса, согласно схеме нагружения (рис. 1.1), эпюры продольных сил N , нормальных напряжений σ и перемещений поперечных сечений. Сделать вывод о прочности бруса, сравнив значения нормальных напряжений в опасном сечении с допустимым, если материал бруса — сталь 3 ($E = 2,0 \cdot 10^5$ МПа, $[\sigma] = 240$ МПа).

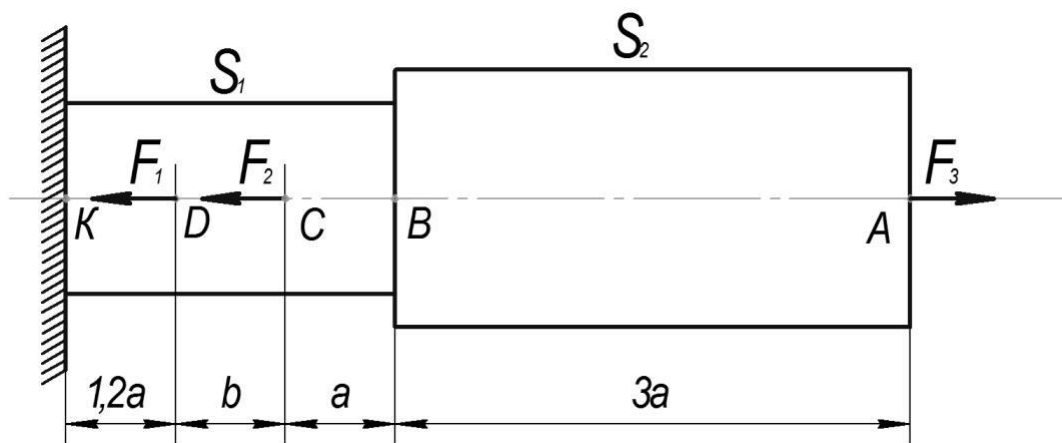


Рисунок 1.1

Дано: $F_1 = 10$ кН; $F_2 = 12$ кН; $F_3 = 30$ кН; $S_1 = 200$ мм²; $S_2 = 300$ мм²;
- $a = 0,3$ м, $b = 0,4$ м.

Решение:

Имеем четыре участка нагружения (AB , BC , CD , DK), в пределах которых напряжения будут иметь постоянные значения.

Участок 1 (AB). Рассечём, мысленно, стержень в местах, где необходимо определить значения внутренних усилий и внутренних напряжений. Одну из частей (левую) отбросим (рис. 1.2), а для оставшейся составим уравнение равновесия $\sum F_i = N_1 - F_3 = 0$, заменив при этом действие отброшенной части на оставшуюся неизвестной внутренней силой N_1 .

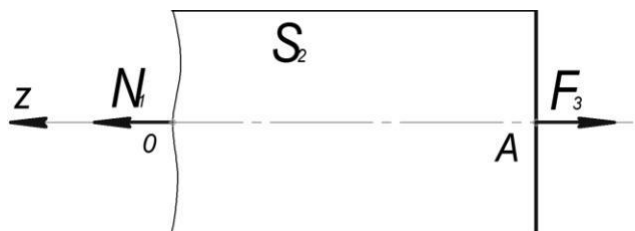


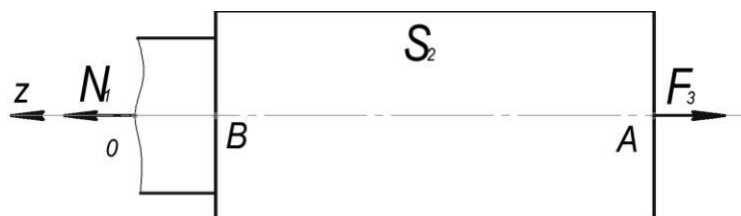
Рисунок 1.2

Тогда, $N_1 = F_3 = 30 \text{ кН}$.

Значение напряжений на участке: $\sigma_1 = \frac{N_1}{S_2} = \frac{30 \cdot 10^3}{300} = 100 \text{ МПа}$.

Абсолютная деформация участка (относительные перемещения концов участка):
 $\Delta l_{AB} = \frac{\sigma_1 \cdot l_{AB}}{E} = \frac{100 \cdot 900}{2,0 \cdot 10^5} = 0,45 \text{ мм}$.

Участок 2 (BC).



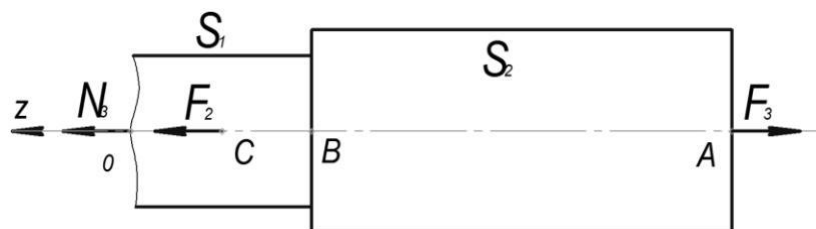
$$N_2 + F_3 = 0,$$

$$N_2 = F_3 = 30 \text{ кН}.$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{S_1} = \frac{30 \cdot 10^3}{200} = 150 \text{ МПа}.$$

$$\Delta l_{BC} = \frac{\sigma_2 \cdot l_{BC}}{E} = \frac{150 \cdot 300}{2,0 \cdot 10^5} = 0,22 \text{ мм}.$$

Участок 3 (CD).



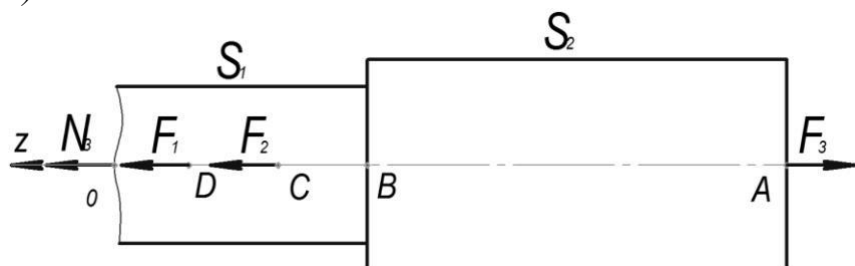
$$N_3 - F_3 + F_2 = 0,$$

$$N_3 = 30 - 12 = 18 \text{ кН.}$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{S_1} = \frac{18 \cdot 10^3}{200} = 90 \text{ МПа.}$$

$$\Delta l_{DC} = \frac{\sigma_3 \cdot l_{DC}}{E} = \frac{90 \cdot 400}{2,0 \cdot 10^5} = 0,18 \text{ мм.}$$

Участок 4 (KD).



$$N_4 - F_4 + F_3 + F_2 = 0,$$

$$N_4 = 30 - 12 - 10 = 8 \text{ кН.}$$

$$\sigma_4 = \frac{N_4}{S_1} = \frac{8 \cdot 10^3}{200} = 40 \text{ МПа.}$$

=

$$\Delta l_{KD} = \frac{\sigma_4 \cdot l_{KD}}{E} = \frac{40 \cdot 360}{2,0 \cdot 10^5} = 0,072 \text{ мм.}$$

Для построения эпюры перемещений поперечных сечений, определим расстояния, на которые переместятся концы участков нагружения относительно жестко заделанного левого конца стержня (точки K).

Перемещение точки D относительно точки K:

$$\delta_{DK} = \Delta l_{KD} = 0,072 \text{ мм.}$$

Тогда, перемещение точки C относительно точки K составит:

$$\delta_{CK} = \delta_{DK} + \Delta l_{KD} = 0,072 + 0,18 = 0,252 \text{ мм.}$$

Аналогично определим перемещения остальных концов участков:

$$\delta_{BK} = \delta_{CK} + \Delta l_{BC} = 0,25 + 0,22 = 0,47 \text{ мм},$$

$$\delta_{AK} = \delta_{BK} + \Delta l_{AB} = 0,47 + 0,45 = 0,92 \text{ мм}.$$

Построив и проанализировав эпюры продольных сил N , нормальных напряжений

$\mathcal{R}$ и перемещений поперечных сечений (рис. 1.3), делаем вывод, что опасным участком вала является участок BC с $\sigma_{\max} = 150 \text{ МПа}$.

Т.к. $\sigma_{\max} < [\sigma]$, то условие прочности выполняется.

Определим степень загруженности стержня:

$$\frac{\sigma_{\max}}{[\sigma]} = \frac{150}{240} = 0,625.$$

Стержень нагружен на 62,5 %.

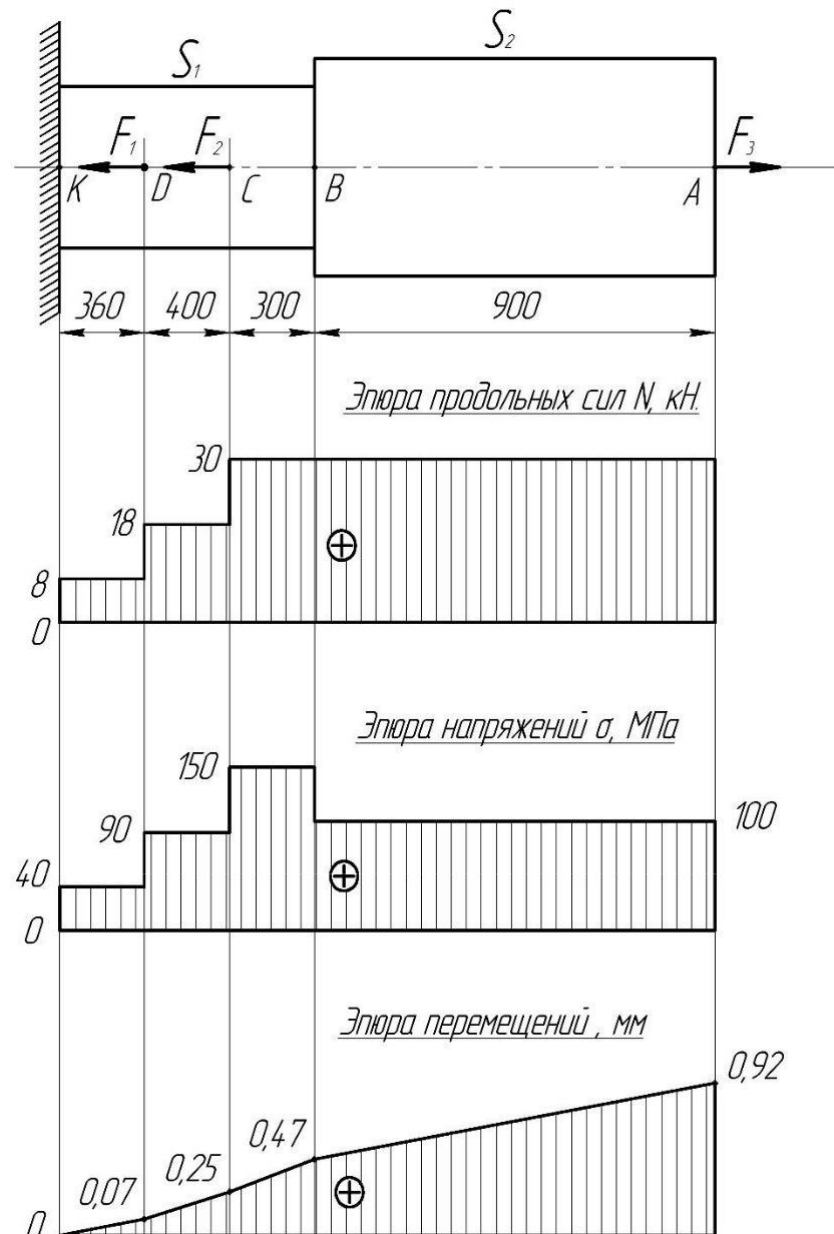


Рисунок 1.3

Вопросы и задания:

- 1) Какие твердые тела встречаются в природе?
Как определяются внутренние силовые факторы?
В чем заключается метод сечений?
Сформулируйте закон Гука.
- в Что такое истинная диаграмма растяжения?

Лабораторное занятие 2

Тема 3. Трехшарнирные арки и рамы.

Общие сведения,.

Цель: научиться определять геометрические характеристики поперечных сечений

Знать: принципы сопротивления конструкционных материалов, методы и алгоритмы проектирования различных механических систем; методы и алгоритмы конструирования элементов различных механических систем, методики расчета на прочность, жесткость и устойчивость элементов машин и их конструкций;

Уметь: осуществлять рациональный выбор конструкционных и эксплуатационных материалов; производить расчеты на прочность и жесткость при растяжении-сжатии, кручении, изгибе и сложном нагружении, при статическом и ударном приложении нагрузок; выполнять стандартные виды прочностных расчетов.

Актуальность темы объясняется основными принципами определения Геометрических характеристик поперечного сечения.

Теоретическая часть:

При расчетах на прочность, жесткость и устойчивость используются геометрические характеристики поперечного сечения бруса: *площадь, осевые и полярный моменты инерции, осевые и полярный моменты сопротивления*. Кроме того, при их определении вспомогательную роль играют *статические моменты и центробежные моменты инерции сечения*.

Напомним определения, свойства и методы вычисления перечисленных характеристик (рис. 2.1).

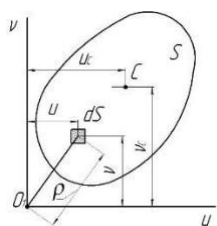


Рисунок 2.1

Площадь сечения . $S = \int_S dS$, где dS – площадь элементарной площадки.

Статический момент площади сечения – сумма произведений площадей элементарных площадок на их расстояния до данной оси, взятая по всей площади сечения. Статический момент сечения измеряется в единицах длины третьей степени (мм^3 , см^3 , м^3).

Статические моменты сечения относительно осей Ou и Ov :

$$S_u = \int_S v dS = S v_c ,$$

$$S_v = \int_S u dS = S u_c .$$

где u_c и v_c – расстояния от центра тяжести сечения соответственно до осей Ox и Oy .

Статический момент сечения может быть как положительным, так и отрицательным. Относительно любой оси, проходящей через центр тяжести сечения, он равен нулю.

Осевой момент инерции сечения – сумма произведений площадей элементарных площадок на квадраты их расстояний до данной оси, взятая по всей площади сечения.

$$J_u = \int_S v^2 dS ;$$

$$J_v = \int_S u^2 dS .$$

Полярный момент инерции – сумма произведений площадей элементарных площадок на квадраты их расстояний до точки (полюса), взятая по всей площади сечения.

$$J_p = \int_S \rho^2 dS .$$

Осевые и полярный моменты инерции – величины существенно положительные. Осевые и полярные моменты инерции сечения измеряются в единицах длины четвертой степени (мм^4 , см^4 , м^4).

Центробежный момент инерции – сумма произведений площадей элементарных площадок на их координаты, взятая по всей площади сечения.

$$J_{uv} = \int_S uv dS .$$

Центробежный момент инерции измеряется в единицах длины четвертой степени (мм^4 , см^4 , м^4), может быть положительным, отрицательным и равным нулю.

Через любую точку, взятую в плоскости сечения, можно провести две взаимно перпендикулярные оси, относительно которых центробежный момент инерции сечения равен нулю. Эти оси называются *главными осями* (иногда их называют *главными осями инерции*). Практический интерес представляют лишь главные оси, проходящие через центр тяжести сечения, они называются *главными центральными осями* (для краткости в дальнейшем будем в большинстве случаев называть их просто *главными осями*).

Осевые моменты инерции относительно главных осей (*главные моменты инерции*) экстремальны – относительно одной из них момент инерции максимален, а относительно другой – минимален. Для расчетов на прочность и жесткость при изгибе, сочетании изгиба с растяжением и в ряде других случаев нужно знать положение главных центральных осей и величины соответствующих моментов инерции.

В случае, если сечение имеет хотя бы одну ось симметрии, то эта ось и ось к ней перпендикулярная, проходящая через центр тяжести сечения, являются главными центральными осями.

При вычислении главных моментов инерции сечений, составленных из простейших геометрических фигур или стандартных прокатных профилей, широко применяются формулы перехода от центральных к параллельным им нецентральных осям (рис. 2.2).

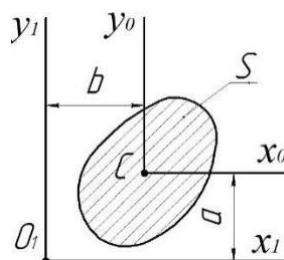


Рисунок 2.2

Эти формулы имеют следующий вид: для осевого момента инерции

$$J_{x_1} = J_{x_0} + a^2 S;$$

для центробежного момента инерции

$$J_{x_1, y_1} = J_{x_0, y_0} + abS.$$

Координаты a и b должны быть подставлены со своими знаками (a и b – координаты начала новой системы координат в старых осях). В частном случае, если исходные оси Ox_0 и Oy_0 угловые, $J_{x_0, y_0} = 0$ тогда имеем:

$$J_{x_1, y_1} = abS.$$

Приведем формулы для вычисления моментов инерции прямоугольника, треугольника, круга и кольца.

А. Прямоугольник (рис. 2.3): $J_x = \frac{bh^3}{12}$, где b – сторона, параллельная оси, относительно которой вычисляется момент инерции.

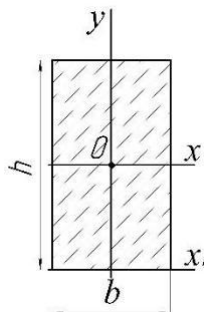


Рисунок 2.3

Для оси, совпадающей с одной из сторон прямоугольника (не главный момент инерции): $J_{x_1} = \frac{bh^3}{3}$.

Б. Равнобедренный треугольник (рис. 2.4).

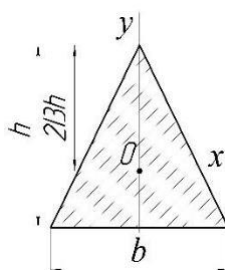


Рисунок 2.4

Главные моменты инерции: $J_x = \frac{bh^3}{36}$; $J_y = \frac{b^3h}{48}$.

Заметим, что формула J_x дает величину момента инерции любого треугольника относительно оси, параллельной его основанию, но, если треугольник неравнобедренный, указанная ось не будет главной.

В. Круг (рис. 2.5):

$$J_x = J_y = \frac{\pi d^4}{4}$$

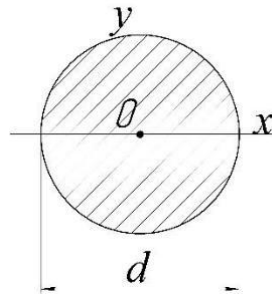


Рисунок 2.5

Г. Кольцо (рис. 2.6): $J_x = J_y = \frac{\pi d^4}{64} (1 - c^4)$, где: $c = \frac{d_0}{d}$, коэффициент трубы.

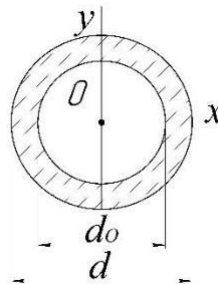


Рисунок 2.6.

Заметим, что для круга и кольца все центральные оси главные и моменты инерции относительно этих осей равны между собой. Этим же свойством обладает любое сечение, у которого два главных центральных момента инерции одинаковы.

При вычислении моментов инерции сложных сечений (составленных из простейших фигур или прокатных профилей) координаты их центра тяжести определяют по формулам:

$$u_c = \frac{S_v}{S} = \frac{\sum S_i u_i}{\sum S_i};$$

$$v_c = \frac{S_u}{S} = \frac{\sum S_i v_i}{\sum S_i},$$

где: $S_i; u_i; v_i$ – соответственно площадь и координаты центра тяжести каждой из составляющих фигур; $S; S_v; S_u$ – площадь и статические моменты всего сечения.

Моменты инерции (осевые и центробежные) сложных сечений относительно данных осей определяют путем суммирования соответствующих моментов инерции составляющих фигур относительно тех же осей.

При этом используются формулы перехода от центральных к параллельным им нецентральному осям.

В тех случаях, когда сечение не имеет ни одной оси симметрии, сначала вычисляют моменты инерции относительно некоторых целесообразно выбранных центральных осей Ox_0 и Oy_0 (исходные оси), затем определяют угол наклона главных осей по отношению к исходным и величины главных моментов инерции.

Связь между моментами инерции относительно исходных осей (Ox_0, Oy_0) и осей, повернутых на произвольный угол α (рис. 2.7), имеет вид:

$$J_{x_1} = \frac{J_{x_0} + J_{y_0}}{2} + \frac{J_{x_0} - J_{y_0}}{2} \cos 2\alpha - J_{x_0 y_0} \sin 2\alpha;$$

$$J_{y_1} = \frac{J_{x_0} + J_{y_0}}{2} - \frac{J_{x_0} - J_{y_0}}{2} \cos 2\alpha + J_{x_0 y_0} \sin 2\alpha.$$

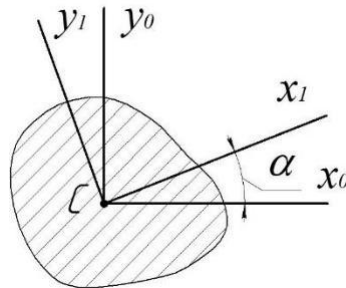


Рисунок 2.7

Угол поворота главных осей по отношению к исходным определяется из зависимости

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = - \frac{2J_{x_0 y_0}}{J_{x_0} - J_{y_0}}.$$

Эта формула дает два значения угла α_0 : α'_0 и $\alpha''_0 = \alpha'_0 + 90^\circ$. При $J_{x_0} > J_{y_0}$, угол α'_0 дает положение главной оси, относительно которой момент инерции максимален.

Положительный угол α'_0 следует откладывать от оси x_0 против хода часовой стрелки.

Для определения положения (угла наклона) главных осей можно применять формулы:

$$\operatorname{tg} \alpha_{0x} = \frac{2J_{x_0 y_0}}{J_{x_0} - J_{y_0}};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{0y} = \frac{J_{x_0 y_0}}{J_{x_0} - J_{y_0}},$$

где: α_{0x} , и α_{0y} , – углы, образуемые главными осями x и y соответственно с осью x_0 ; J_{x_0} и J_{y_0} – главные моменты инерции.

Главные моменты инерции можно вычислить, подставляя в нее последовательно $\alpha_0 = \alpha'_0$ и $\alpha_0 = \alpha''_0$, но практически удобнее пользоваться формулами, не содержащими тригонометрических функций. Эти формулы имеют вид:

$$J_{\max} = \frac{J_{x_0} + J_{y_0}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(J_{x_0} - J_{y_0})^2 + 4J_{x_0 y_0}^2};$$

$$J_{\min} = \frac{J_{x_0} + J_{y_0}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(J_{x_0} - J_{y_0})^2 + 4J_{x_0 y_0}^2}.$$

Вопросы и задания:

1. Определение геометрических характеристик простых сечений?
2. Определение геометрических характеристик сложных сечений?
3. Определение моментов инерции.
4. Что такое сортамент.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**Основная литература:**

1. Строительная механика и металлические конструкции машин : учебное пособие / В.А. Глотов, А.В. Зайцев, В.Ю. Игнатьюгин. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 95 с. : ил., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-5266-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=426940](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=426940) (30.10.2016).
2. Вероятностные методы строительной механики и теория надежности строительных конструкций : учебное пособие : 2-х частях / В.А. Пшеничкина, Г.В. Воронкова, С.С. Рекунов, А.А. Чураков ; Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, Министерство образования и науки Российской Федерации. - Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. - Ч. I. - 92 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-98276-733-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434827](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434827) (30.10.2016).
3. Строительство и механика : краткий справочник / В.В. Леденев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 244 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-8265-1392-7 ; То же [Электронный ресурс]. URL:[//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444650](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444650) (30.10.2016).

Дополнительная литература:

1. Нелинейная инкрементальная строительная механика / В.В. Петров.М. : Инфра-Инженерия, 2014. - 480 с. - ISBN 978-5-9729-0076-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=234783](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=234783) (30.10.2016).
2. Строительная механика для архитекторов: учебник : в 2-х т. / Ю.Э. Сеницкий, А.К. Синельник ; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный архитектурно-строительный университет». - Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. - Т. II. - 280 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9585-0563-0 ; То же [Электронный ресурс]. -URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256149](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256149) (30.10.2016).

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «**Строительная механика**»
для студентов направления подготовки

08.03.01 Строительство

направленность (профиль) «Городское строительство и хозяйство»

Пятигорск, 2025

Содержание

Введение	
1. Общая характеристика самостоятельной работы студента.....	
2. План - график выполнения самостоятельной работы.....	
3. Методические указания по изучению теоретического материала.....	
3.1. Вид самостоятельной работы: самостоятельное изучение литературы	
3.2. Вид самостоятельной работы: подготовка к практическим работам	
4. Методические указания к экзамену	
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	

Введение

Методические указания и задания для выполнения самостоятельной работы студентами по дисциплине «Строительная механика» по направлению подготовки бакалавров: 08.03.01 Строительство.

Методическое указание содержит весь необходимый материал для выполнения самостоятельной работы по дисциплине «Строительная механика»

В данном методическом указании приведены темы и вопросы для самостоятельного изучения.

1. Общая характеристика самостоятельной работы студента

Самостоятельная работа – это вид учебной деятельности, выполняемый учащимся без непосредственного контакта с преподавателем или управляемый преподавателем опосредованно через специальные учебные материалы; неотъемлемое обязательное звено процесса обучения, предусматривающее прежде всего индивидуальную работу учащихся в соответствии с установкой преподавателя или учебника, программы обучения.

На современном этапе самостоятельную работу студента следует разделить на работу с бумажными источниками информации, т.е. учебниками, методическими пособиями, монографиями, журналами и т.д. и электронными источниками информации, т.е. доступ к электронным ресурсам через Интернет.

Сегодня самостоятельную работу студента невозможно представить без использования информационной сети – Интернет. Необходимость использования Интернета возникает не только при подготовке к практическим и семинарским занятиям, но, в большей степени, при написании различных исследовательских и творческих работ. Многие современные монографии, периодические журналы изданы только в электронном виде и с ними можно познакомиться только в Интернете.

Цели и задачи самостоятельной работы: формирование способностей к самостоятельному познанию и обучению, поиску литературы, обобщению, оформлению и представлению полученных результатов, их критическому анализу, поиску новых и неординарных решений, аргументированному отстаиванию своих предложений, умений подготовки выступлений и ведения дискуссий.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Уровни сформированности компетенций, индикаторов (ов)	Дескрипторы			
	Минимальный уровень не достигнут (Неудовлетворительно) 2 балла	Минимальный уровень (удовлетворительно) 3 балла	Средний уровень (хорошо) 4 балла	Высокий уровень (отлично) 5 баллов
Компетенция: ПК-3 Способен проводить расчетное обоснование и конструирование строительных конструкций зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения				
Результаты обучения по дисциплине: <i>Индикатор:</i> ИД-1 ИД-2 ИД-3 ИД-4 ИД-5 ИД-6 ИД-7 ИД-8	Не способен принимать теоретические положения к традиционным и новым техническим решениям конструкций и конструктивных систем; определять с необходимыми точностью и надежностью, прочность строительных	Частично способен принимать теоретические положения к традиционным и новым техническим решениям конструкций и конструктивных систем; определять с необходимыми точностью и надежностью, прочность	Способен принимать теоретические положения к традиционным и новым техническим решениям конструкций и конструктивных систем; определять с необходимыми точностью и надежностью,	Способен принимать теоретические положения к традиционным и новым техническим решениям конструкций и конструктивных систем; определять с необходимыми точностью и надежностью,

	конструкций, зданий и инженерных сооружений.	строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений.	прочность строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений.	прочность строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений.
	Не способен самостоятельно осваивать отдельные теоретические положения строительной механики.	Частично способен самостоятельно осваивать отдельные теоретические положения строительной механики.	Способен самостоятельно осваивать отдельные теоретические положения строительной механики.	Способен самостоятельно осваивать отдельные теоретические положения строительной механики.

2. План - график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
5 семестр					
ПК-3 (ИД-1; ИД-2; ИД-3; ИД-4; ИД-5; ИД-6; ИД-7; ИД-8.)	Самостоятельное изучение литературы по темам № 1-6	Собеседование	90	10	100
ПК-3 (ИД-1; ИД-2; ИД-3; ИД-4; ИД-5; ИД-6; ИД-7; ИД-8.)	Подготовка к практическим занятиям	Отчёт (устный)	7,2	0,8	8
ПК-3 (ИД-1; ИД-2; ИД-3; ИД-4; ИД-5; ИД-6; ИД-7; ИД-8.)	Подготовка к лабораторным занятиям	Отчёт (устный)	7,2	0,8	8
ПК-3 (ИД-1; ИД-2; ИД-3; ИД-4; ИД-5; ИД-6; ИД-7; ИД-8.)	Написание РГР	РГР	10,8	1,2	12
Итого за 5 семестр			115,2	12,8	128
Итого			115,2	12,8	128

3. Методические указания по изучению теоретического материала

3.1. Вид самостоятельной работы: самостоятельное изучение литературы

Изучать учебную дисциплину «Строительная механика» рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них в программе дисциплины. При теоретическом изучении дисциплины студент должен пользоваться соответствующей литературой. Примерный перечень литературы приведен в рабочей программе

Для более полного освоения учебного материала студентам читаются лекции по важнейшим разделам и темам учебной дисциплины. На лекциях излагаются и детально рассматриваются наиболее важные вопросы, составляющие теоретический и практический фундамент дисциплины.

Итоговый продукт: конспект лекций

Средства и технологии оценки: Собеседование

Критерии оценивания: Оценка «отлично» выставляется студенту, если в полном объеме изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если достаточно полно изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, недостаточно если полно изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если отсутствуют знания и практические навыки по данной дисциплине.

Темы для самостоятельного изучения:

1. Общие понятия и определения.
2. Линии влияния и их применение для расчета статически определимых балок.
3. Трехшарнирные арки и рамы.
4. Плоские статически определимые фермы.
5. Построение линий влияния усилий в стержнях ферм.
6. Расчет шпренгельных ферм.

3.2. Вид самостоятельной работы: подготовка к практическим работам

Итоговый продукт: отчет по практическому занятию

Средства и технологии оценки: защита отчета

Критерии оценивания: Оценка «отлично» выставляется студенту, если в полном объеме изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если достаточно полно изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, недостаточно, если полно изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если отсутствуют знания и практические навыки по данной дисциплине

3.3. Вид самостоятельной работы: подготовка к лабораторным работам

Итоговый продукт: отчет по лабораторному занятию

Средства и технологии оценки: защита отчета

Критерии оценивания: Оценка «отлично» выставляется студенту, если в полном объеме изучен курс данной дисциплины и выполнены лабораторные задания

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если достаточно полно изучен курс данной дисциплины и выполнены лабораторные задания

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, недостаточно, если полно изучен курс данной дисциплины и выполнены лабораторные задания

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если отсутствуют знания и практические навыки по данной дисциплине

4. Методические указания к экзамену

Процедура проведения экзамена осуществляется в соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования в СКФУ.

В экзаменационный билет включаются три вопроса (один вопрос для проверки знаний и два вопроса для проверки умений и навыков студента).

Для подготовки по билету отводиться 30 минут.

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования справочными таблицами

При проверке практического задания, оцениваются:

- знание параметра;
- последовательность и рациональность выполнения.

Вопросы (задача, задание) для проверки уровня обученности

1. Основные задачи предмета «Строительная механика».
2. Опорные устройства, виды нагрузок.
3. Классификация сооружений и расчетных схем.
4. Основные разрешающие уравнения «Строительной механики».
5. Плоская и пространственная система.
6. Стержень, оболочка, пластика-определение.
7. Принцип независимости действия сил.
8. Геометрическая независимость системы.
9. Статическое определение систем.
10. Определение линий влияния.
11. Какие задачи можно решить с примирением линий влияния.
12. Матрица влияния- определения.
13. Трех шарнирные арки, рамы.
14. Фермы, как стержневые системы.
15. Балочные и консольно-балочные фермы.
16. Методы расчета статически определенных ферм.
17. Ординаты линий влияния.
18. Линии влияния шарнирно - опертой балки.
19. Линии влияния M и Q в сечениях консольной балки.
20. Линии влияния M и Q в сечениях однопролетной балки.
21. Линии влияния усилий в сечениях трех шарнирной балки.
22. Нулевые точки в трех шарнирных арках и рамах.
23. Прочность строительных конструкций. Критерии и основные оценки.
24. Элементы строительных конструкций.
25. Диаграмма Прандля.
26. Нормальные и поперечные силы в трех шарнирных арках, кривая давления.
27. Метод линий влияния при расчете статически определимых систем.
28. Определение реакции в распорных системах.
29. Кинематический метод определения усилий.
30. Система с одной степенью свободы.
31. Установившиеся вынужденные колебания.
32. Сейсмические колебания.
33. Поперечные колебания балки с распределёнными параметрами.
34. Основные виды динамических нагрузок.
35. Что называется явлением резонанса.
36. Поперечные колебания балки с распределёнными параметрами.
37. Дайте определение степенного и свободного кручения.
38. Определение понятия секторальной площади. Точка называется секторальным полюсом.
39. Основные положения без моментной и моментной теории оболочек.
40. Цилиндрические оболочки как геометрические формы.
41. Основные положения деформационной теории пластичности.
42. Понятия релаксации.

43. Принцип Вольтера.
44. Определение свойств пластичности и ползучести материалов.
45. Формула Чебушева.
46. Принцип Лагранжа в равновесных системах.
47. Линии влияния опорных реакций в консольной балки.
48. Линии влияния опорных реакций однопролетных балок.
49. Основные группы узлов стержневых систем
50. Виды стержневых систем.
51. Методы исследования устойчивости стержневых систем.
52. Определение усилий однопролетной балки с помощью линий влияния (действие сосредоточенных сил).
53. Определение усилий однопролетной балки с помощью линий влияния (действие равномерно распределенной нагрузки).
54. Определение опорных реакций в трехшарнирных арках.
55. Определение внутренних усилий в арке при произвольной нагрузке.
56. Определение внутренних усилий в арке при вертикальной нагрузке.
57. Уравнение рациональной оси трехшарнирной арки.
58. Построение линий влияния при узловой передаче нагрузки.
59. Метод допускаемых напряжений.
60. Метод придельного равновесия.
61. Метод двух моментов.
62. Метод статических испытаний
63. Закон Гаусса.
64. Расчет статически неопределимых систем смешанным способом.
65. Расчет статически неопределимых систем комбинированным способом.
66. Расчет конструкций матричным методом.
67. Расчет статически неопределимых систем методом сил.
68. Расчет статически неопределимых систем методом перемещений.
69. Предмет и задачи устойчивости.
70. Критерии определения устойчивости упругих систем.
71. Устойчивость стержней с различными концевыми условиями их закрепления.
72. Выражение изгибающих моментов и поперечных сил в концевых сечениях стержней.
73. Устойчивость рам при действии узловых нагрузок.
74. Определение перемещений в стержневой системе.
75. Уравнение трех моментов.
76. Предмет и задачи динамики сооружений.
77. Поперечные колебания балки с распределенными параметрами.
78. Метод конечных элементов.
79. Определение предельного состояния системы при растяжении – сжатии.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Строительная механика и металлические конструкции машин : учебное пособие / В.А. Глозов, А.В. Зайцев, В.Ю. Игнатьев. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 95 с. : ил., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-5266-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=426940](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=426940) (30.10.2016).
2. Вероятностные методы строительной механики и теория надежности строительных конструкций : учебное пособие : 2-х частях / В.А. Пшеничкина, Г.В. Воронкова, С.С. Рекунов, А.А. Чураков ; Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, Министерство образования и науки Российской Федерации. - Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. - Ч. I. -

- 92 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-98276-733-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434827](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434827) (30.10.2016).
3. Строительство и механика : краткий справочник / В.В. Леденев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 244 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-8265-1392-7 ; То же [Электронный ресурс]. URL:[//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444650](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444650) (30.10.2016).

Дополнительная литература:

1. Нелинейная инкрементальная строительная механика / В.В. Петров.М. : Инфра-Инженерия, 2014. - 480 с. - ISBN 978-5-9729-0076-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=234783](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=234783) (30.10.2016).
2. Строительная механика для архитекторов: учебник : в 2-х т. / Ю.Э. Сеницкий, А.К. Синельник ; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный архитектурно-строительный университет». - Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. - Т. II. - 280 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9585-0563-0 ; То же [Электронный ресурс]. -URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256149](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256149) (30.10.2016).

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине «**Строительная механика**»
для студентов направления подготовки

08.03.01 Строительство

направленность (профиль) «Городское строительство и хозяйство»

Пятигорск, 2025

Содержание

Введение	
1.Цель, задачи и реализуемые компетенции	
2. Формулировка задания и его объем.....	
3.Общие требования к написанию и оформлению работы.....	
4.Указания по выполнению задания	
6.Критерии оценивания работы.....	
7. Порядок защиты работы.....	
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	

Введение

Методические указания и задания для выполнения РГР студентами по дисциплине «Строительная механика» по направлению подготовки бакалавров: 08.03.01 Строительство.

Методическое указание содержит весь необходимый материал для выполнения РГР по дисциплине «Строительная механика».

В данном методическом указании приведены темы и вопросы для самостоятельного изучения и выполнения РГР.

1.Цель, задачи и реализуемые компетенции

Учебным планом специальности 08.03.01 Строительство, предусматривается написание РГР по дисциплине. Этот вид письменной работы выполняется каждый год, по темам выбранным самостоятельно. Перечень тем разрабатывается преподавателем.

РГР – самостоятельный труд студента, который способствует углублённому изучению пройденного материала.

Цель выполняемой работы:

- получить специальные знания по выбранной теме;

Основные задачи выполняемой работы:

- 1) закрепление полученных ранее теоретических знаний;
 - 2) выработка навыков самостоятельной работы;
 - 3) выяснение подготовленности студента к будущей практической работе;
- Весь процесс написания РГР можно условно разделить на следующие этапы:
- а) выбор темы и составление предварительного плана работы;
 - б) сбор научной информации, изучение литературы;
 - в) анализ составных частей проблемы, изложение темы;
 - г) обработка материала в целом.

Тема РГР выбирается студентом самостоятельно из предложенного списка тем.

Подготовку РГР следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций прочитанных ранее. Приступать к выполнению работы без изучения основных положений и понятий науки, не следует, так как в этом случае студент, как правило, плохо ориентируется в материале, не может отграничить смежные вопросы и сосредоточить внимание на основных, первостепенных проблемах рассматриваемой темы.

После выбора темы необходимо внимательно изучить методические указания по подготовке РГР, составить план работы, который должен включать основные вопросы, охватывающие в целом всю прорабатываемую тему.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Наименование компетенции

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-3 Способен проводить расчетное обоснование и конструирование строительных конструкций зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения	ИД-1 _{ПК-3} Выбирает исходную информацию и нормативно-технические документы для выполнения расчётного обоснования проектных решений здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения.	Способен принимать теоретические положения к традиционным и новым техническим решениям конструкций и конструктивных систем; определять с необходимыми точностью и надёжностью, прочность строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений.
	ИД-2 _{ПК-3} Выбирает нормативно-	

	технические документы, устанавливающие требования к расчётному обоснованию проектного решения здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения.	Способен самостоятельно осваивать отдельные теоретические положения строительной механики.
	ИД-3 _{ПК-3} Выполняет сбор нагрузок и воздействий на здание (сооружение) промышленного и гражданского назначения.	
	ИД-4 _{ПК-3} Выбирает методики расчётного обоснования проектного решения конструкции здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения.	
	ИД-5 _{ПК-3} Выбирает параметры расчетной схемы здания (сооружения), строительной конструкции здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения.	
	ИД-6 _{ПК-3} Выполняет расчеты строительной конструкции, здания (сооружения), основания по первой, второй группам предельных состояний.	
	ИД-7 _{ПК-3} Составляет графическое оформление проектной документации на строительную конструкцию.	
	ИД-8 _{ПК-3} Обеспечивает представление и защиту результатов работ по расчетному обоснованию и конструированию строительной конструкции здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения.	

2. Формулировка задания и его объем

Вариант 1

Задача (задание)1 - Определение многопролетной статически определимой балки.

Для многопролетной статически определимой балки требуется:

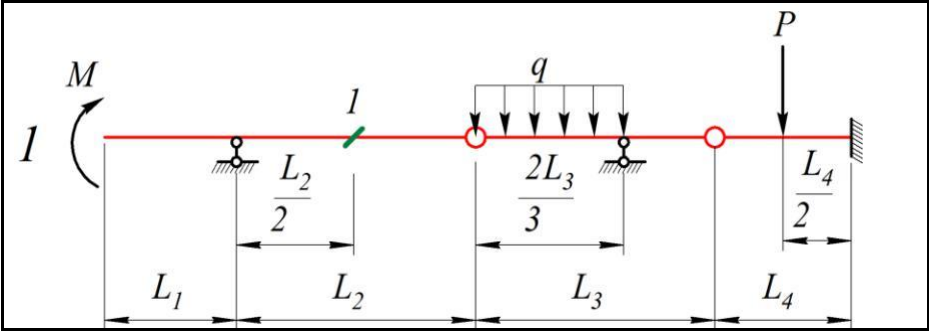
1. Проверить геометрическую неизменяемость системы;
2. Построить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил от заданной нагрузки;
3. Построить линии влияния для заданного сечения 1 статическим способом;
4. Загрузить эти линии влияния заданной внешней нагрузкой и сравнить полученные результаты со значениями ординат эпюр и в этом же сечении в п.2.

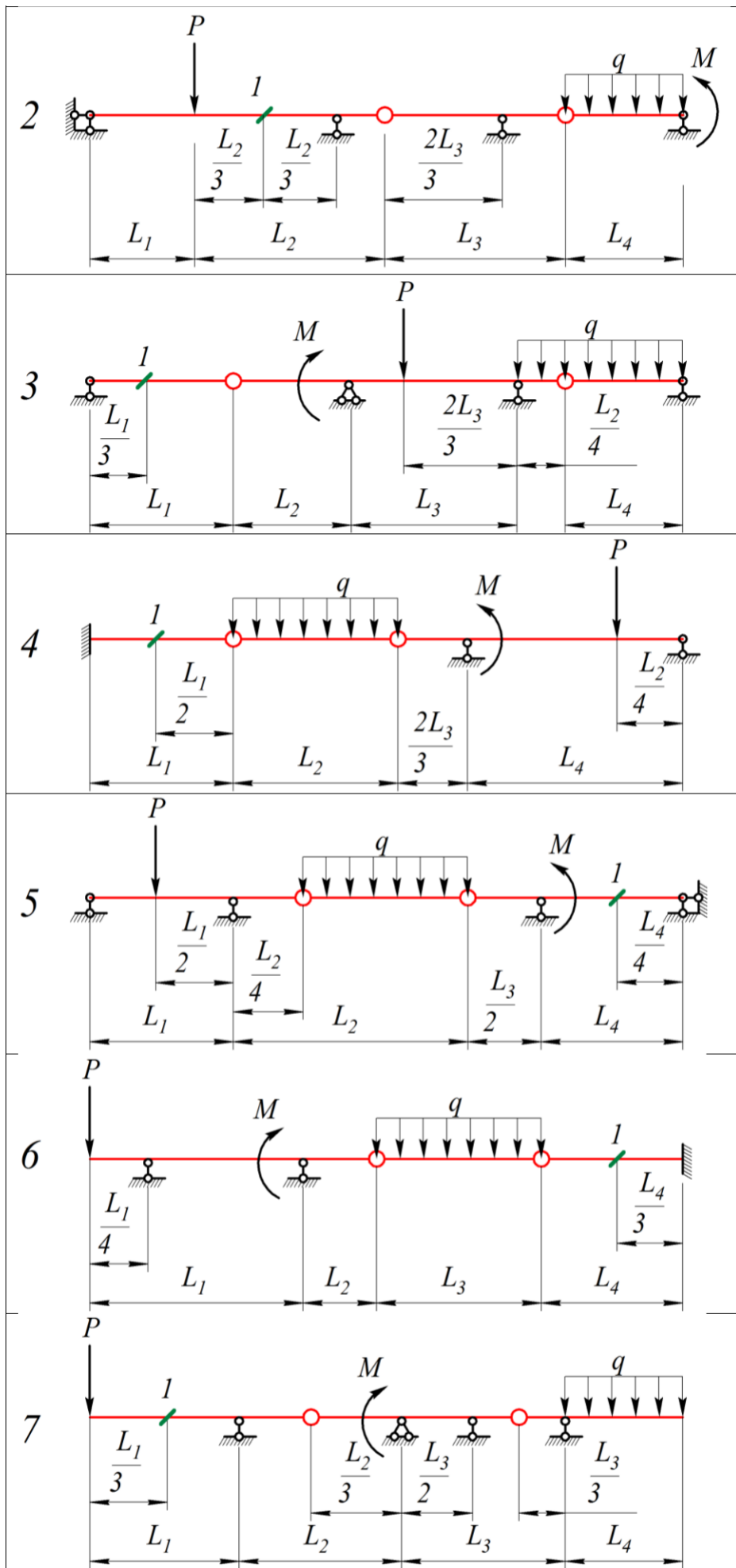
Вариант выбирается по последним двум цифрам зачетной книжки (для заочного отделения) или выдается преподавателем (для очного отделения).

По последней цифре выбирается расчетная схема (Рисунок Error! No text of specified style in document..1), по предпоследней числовые значения (Таблица 1).

Таблица 1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
· (xII·u)	15	23	30	17	14	20	24	16	28	19
· (xII)	10	25	20	60	45	80	30	65	50	40
· (xII/u)	11	32	26	23	27	34	19	35	29	10
· (u)	0,8	1	1,5	0,7	0,5	0,8	2	1	2	2,1
· (u)	0,6	0,4	1,7	2	1	0,9	1,5	1	1,9	0,5
· (u)	1	1,8	1	1	2	1	1,6	1	1,1	2,4
· (u)	1,5	1,6	0,9	0,5	3	1,5	2	1	2,4	1





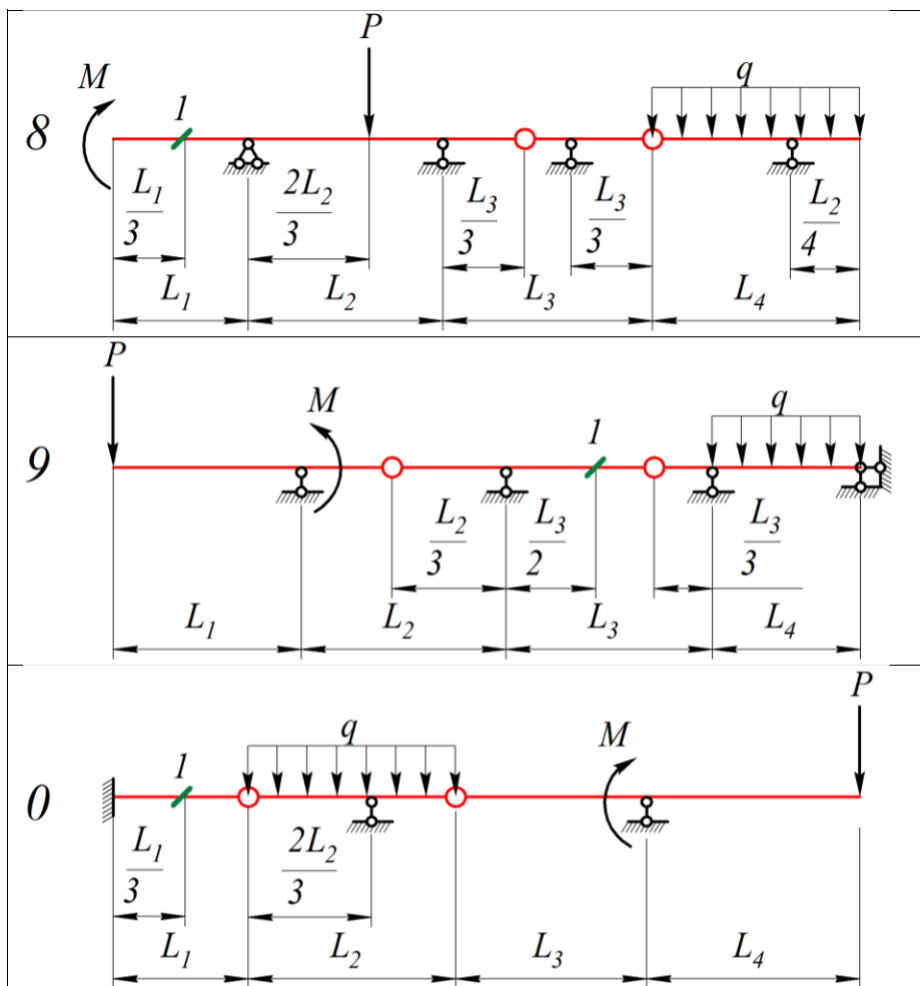


Рисунок Error! No text of specified style in document..1

Вариант 2

Задача (задание)1 - Расчет трехшарнирной арки.

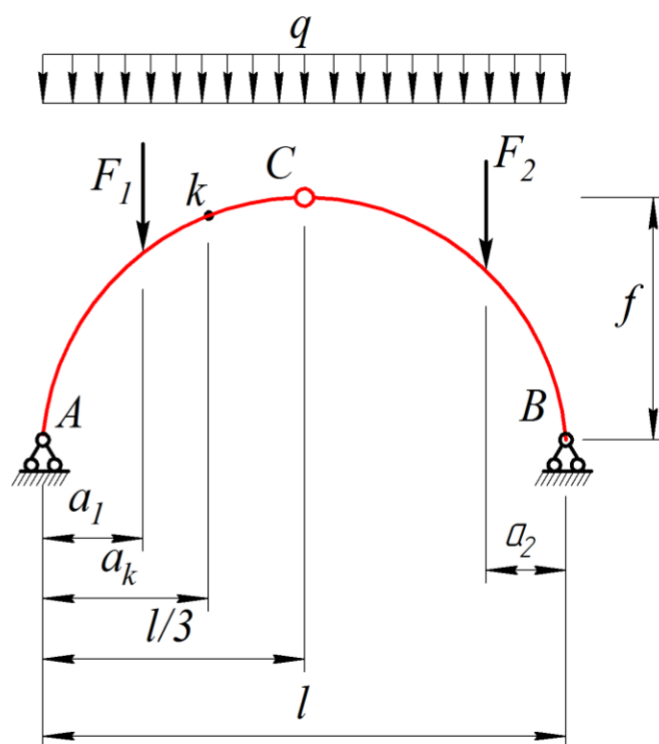
Требуется определить изгибающий момент M , поперечную силу Q и продольную силу N в сечении K арки, пролетом .

Задания выбирать по двум последним цифрам студенческого билета (зачетной книжки). По последней цифре выбрать схему задания, по предпоследней числовые значения (таблица). Пример: номер студенческого билета ОП-123456 соответственно вариант задания 56, схема 6, числовые значения 5.

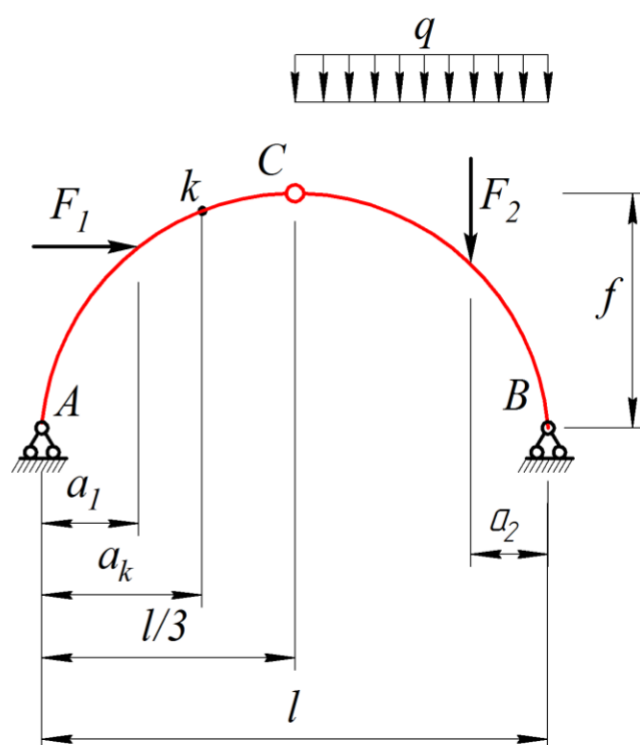
Предпоследняя цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
...	15	17	20	14	19	10	16	18	11	20
...	21	18	10	30	21	17	15	20	19	11
...кН/м	5	8	3	10	15	9	18	12	22	32
f , м	0,5	0,63	0,54	0,39	1,1	0,85	1,4	1	1,4	2
...	0,33	0,427	0,22	0,45	0,25	0,315	0,27	0,427	0,22	0,517
...	0,495	0,28	0,337	0,3	0,382	0,21	0,405	0,285	0,337	0,34
...	0,935	0,807	0,637	0,85	0,722	0,59	0,76	0,807	0,637	0,977
l , м	2,2	1,9	1,5	2,0	1,7	1,4	1,8	1,9	1,5	2,3

Последняя цифра варианта

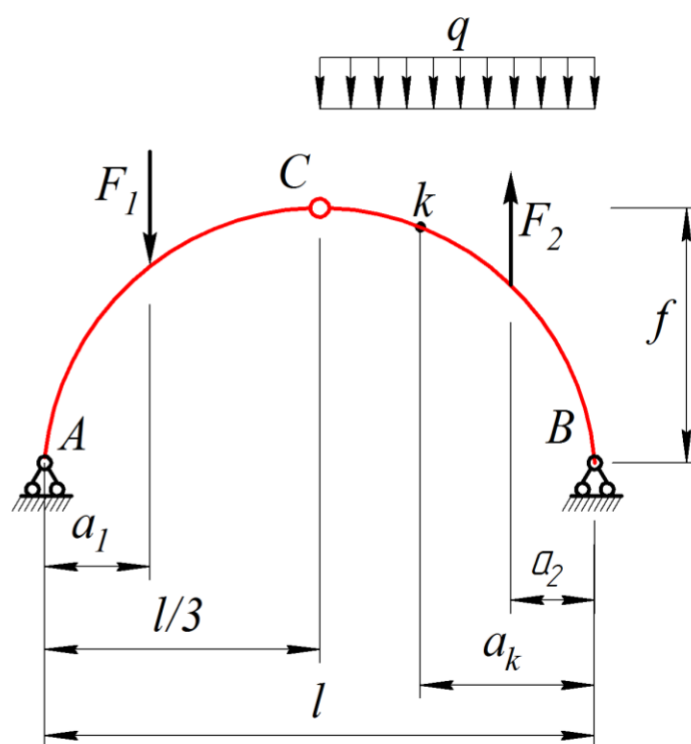
0



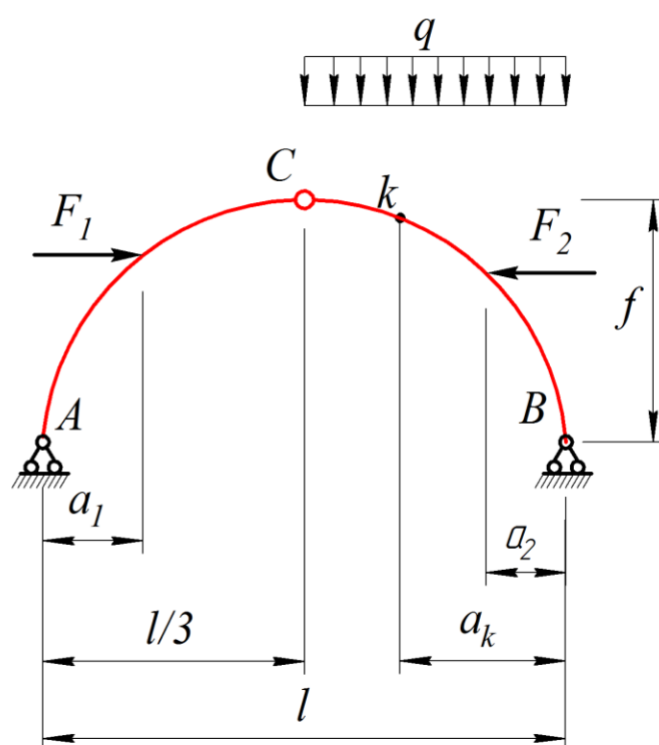
1



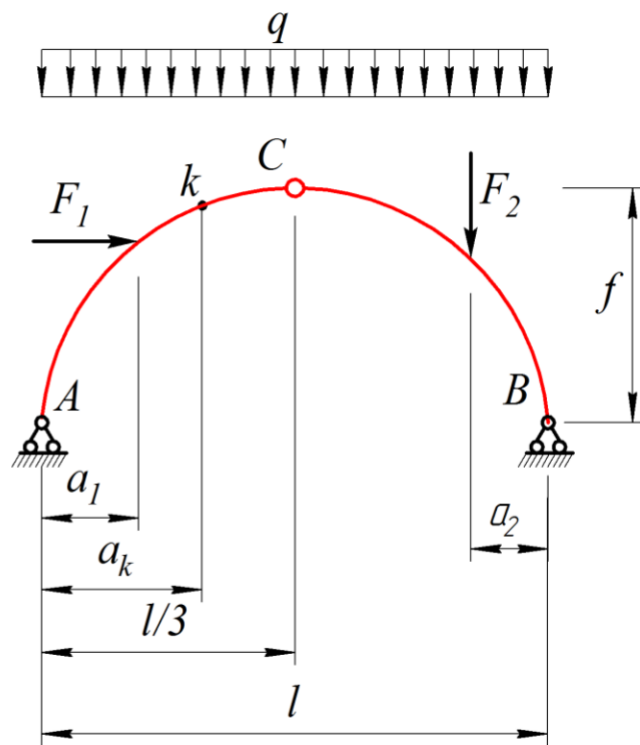
2



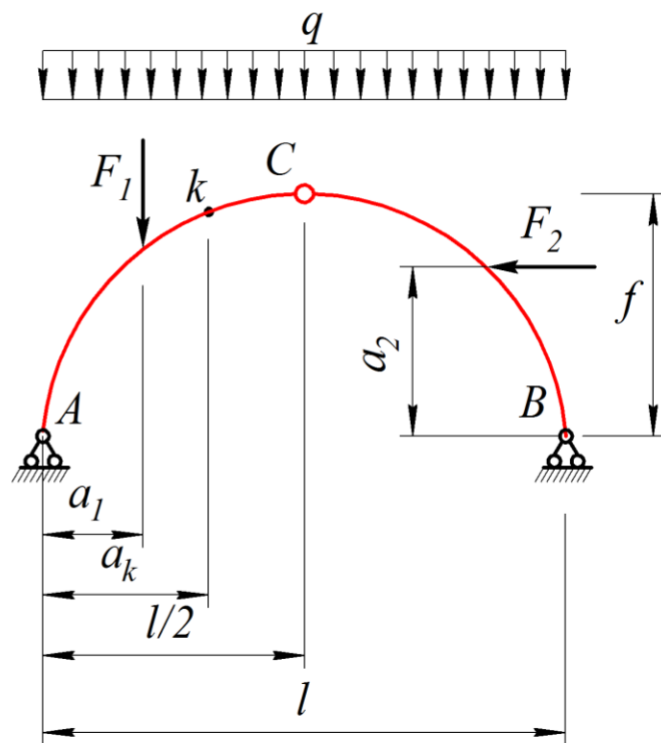
3



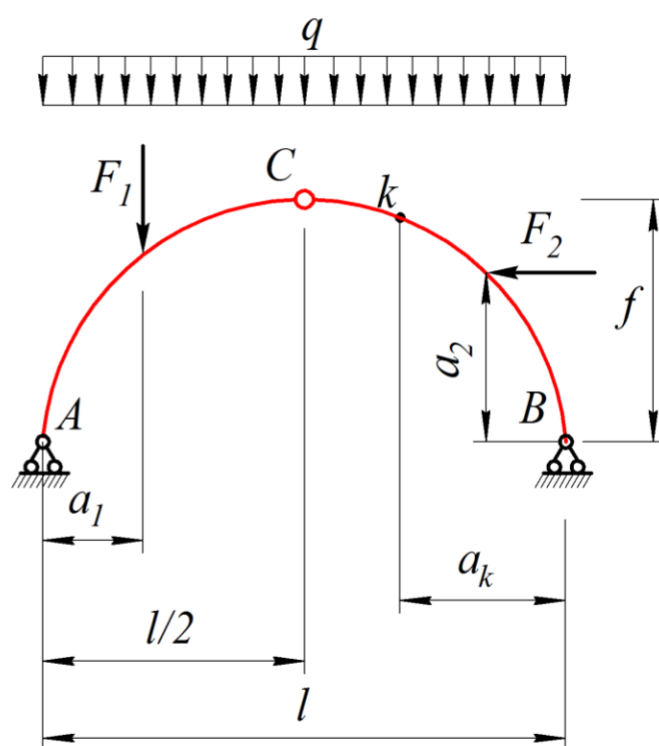
4



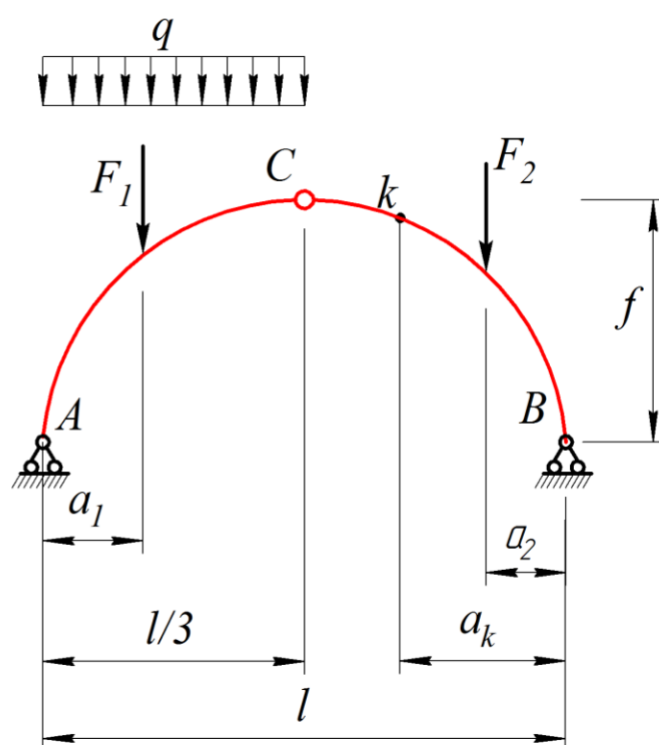
5



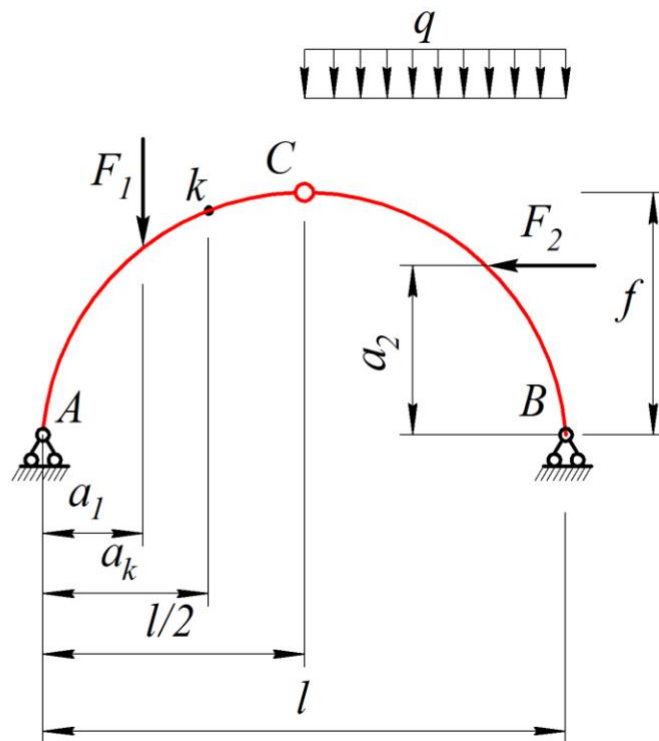
6



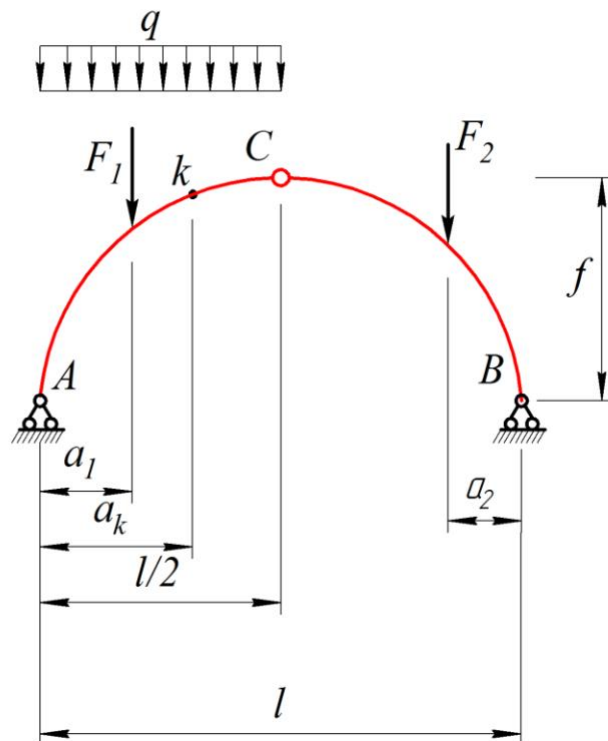
7



8



9



Вариант 3

Задача (задание) 1- Определение центра тяжести сложных фигур

Задания выбирать по двум последним цифрам студенческого билета (зачетной книжки).

По последней цифре выбрать схему задания, по предпоследней числовые значения (таблица).
Пример: номер студенческого билета ОП-123456 соответственно вариант задания 56, схема 6, числовые значения 5.

Для одной из балочных ферм, изображенных на рис. 1.4.1 - 1.4.25 требуется:

1. определить аналитически усилия в отмеченных стержнях от неподвижной нагрузки в виде сосредоточенных сил, приложенных в каждом узле прямолинейного пояса фермы;
2. построить линии влияния опорных реакций;

1. построить линии влияния усилий для отмеченных стержней при «езде» по прямолинейному поясу фермы;

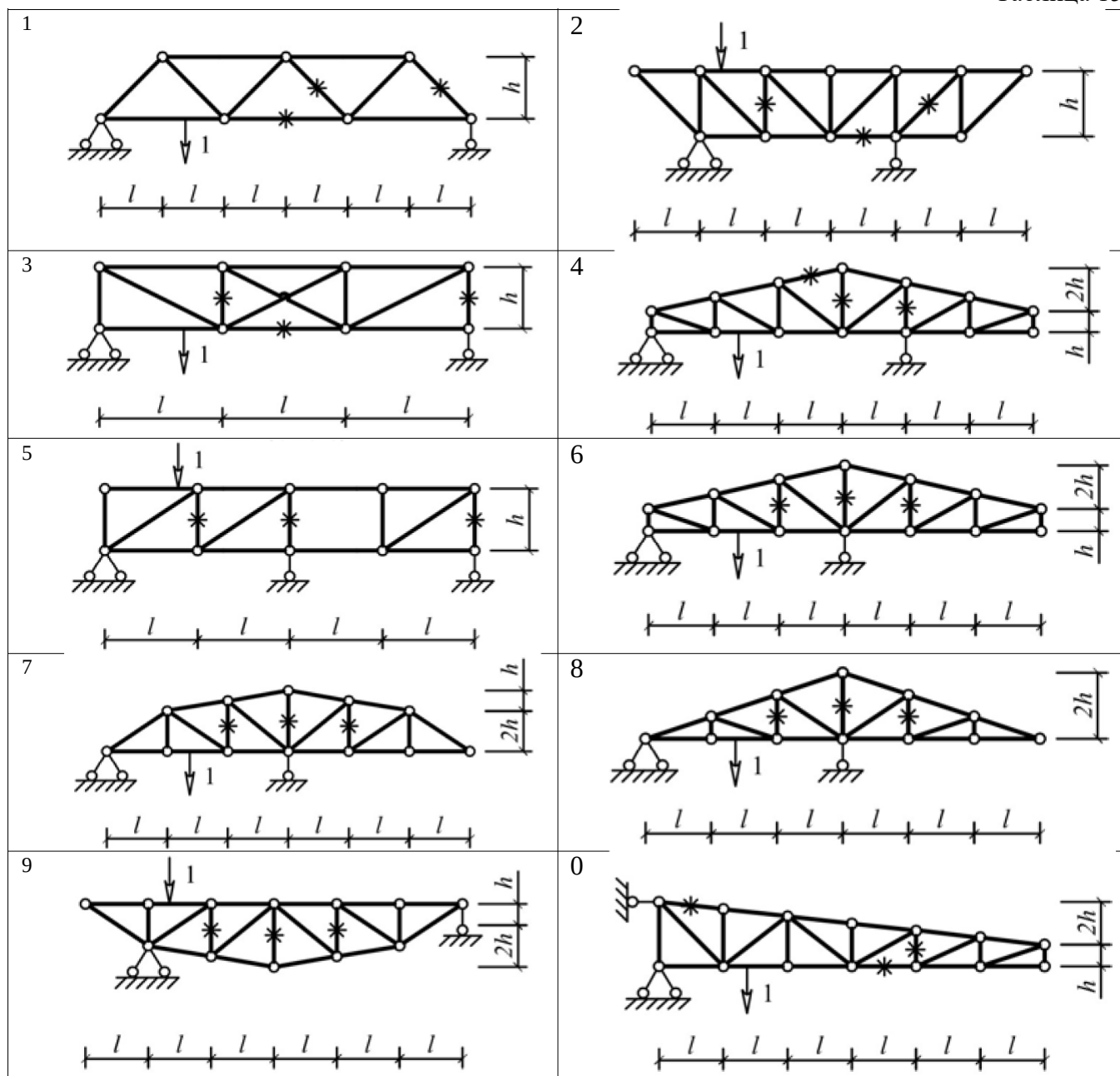
2. вычислить по линиям влияния усилия в отмеченных стержнях от сил и результаты сравнить со значениями усилий, полученными аналитически.

Исходные данные для расчета принять согласно варианту. По предпоследней цифре варианта выбрать числовые значения из табл. 1.4, по последней – схему из таблицы 15.

Таблица 1.4

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
α	3,5	2	1	1,5	1,5	1	2	2,5	3,5	1,5
β, α	1,5	2	1,5	0,75	1,75	2	3	3	2	1,5
γ	3	5	7	9	10	8	6	4	7	5

Таблица 15



3. Общие требования к написанию и оформлению работы

В содержании РГР необходимо показать знание рекомендованной литературы по данной теме, но при этом следует правильно пользоваться первоисточниками, избегать чрезмерного цитирования. При использовании цитат необходимо указывать точные ссылки на используемый источник: указание автора (авторов), название работы, место и год издания, страницы.

В процессе работы над первоисточниками целесообразно делать записи, выписки абзацев, цитат, относящихся к избранной теме. При изучении специальной юридической литературы (монографий, статей, рецензий и т.д.) важно обратить внимание на различные точки зрения авторов по исследуемому вопросу, на его приводимую аргументацию и выводы, которыми опровергаются иные концепции.

Кроме рекомендованной специальной литературы, можно использовать любую дополнительную литературу, которая необходима для раскрытия темы контрольной работы. Если в период написания контрольной работы были приняты новые нормативно-правовые акты, относящиеся к излагаемой теме, их необходимо изучить и использовать при её выполнении.

В конце РГР приводится полный библиографический перечень использованных нормативно-правовых актов и специальной литературы. Данный список условно можно подразделить на следующие части:

1. Нормативно-правовые акты (даются по их юридической силе).
2. Учебники, учебные пособия.
3. Монографии, учебные, учебно-практические пособия.
4. Периодическая печать.

Первоисточники 2,3,4 даются по алфавиту.

Оформление библиографических ссылок осуществляется в следующем порядке:

1. Фамилия и инициалы автора (коллектив авторов) в именительном падеже. При наличии трех и более авторов допускается указывать фамилии и инициалы первых двух и добавить «и др.». Если книга написана авторским коллективом, то ссылка делается на название книги и её редактора. Фамилию и инициалы редактора помещают после названия книги.

2. Полное название первоисточника в именительном падеже.
3. Место издания.
4. Год издания.
5. Общее количество страниц в работе.

Ссылки на журнальную или газетную статью должны содержать кроме указанных выше данных, сведения о названии журнала или газеты.

Ссылки на нормативный акт делаются с указанием Собрания законодательства РФ, исключение могут составлять ссылки на Российскую газету в том случае, если данный нормативный акт еще не опубликован в СЗ РФ.

При использовании цитат, идей, проблем, заимствованных у отдельных авторов, статистических данных необходимо правильно и точно делать внутри текстовые ссылки на первоисточник.

Ссылки на используемые первоисточники можно делать в конце каждой страницы, либо в конце всей работы, нумерация может начинаться на каждой странице.

Структурно РГР состоит только из нескольких вопросов (3-6), без глав. Она обязательно должна содержать теорию и практику рассматриваемой темы.

4. Указания по выполнению задания

РГР излагается логически последовательно, грамотно и разборчиво. Она обязательно должна иметь титульный лист. Он содержит название высшего учебного заведения, название темы, фамилию, инициалы, учёное звание и степень научного руководителя, фамилию, инициалы автора, номер группы.

На следующем листе приводится содержание РГР. Оно включает в себя: введение, название вопросов, заключение, список литературы.

Введение должно быть кратким, не более 1 страницы. В нём необходимо отметить актуальность темы, степень ее научной разработанности, предмет исследования, цель и задачи, которые ставятся в работе. Изложение каждого вопроса необходимо начать с написания заголовка, соответствующему оглавлению, который должен отражать содержание текста. Заголовки от текста следует отделять интервалами. Каждый заголовок обязательно должен предшествовать непосредственно своему тексту. В том случае, когда на очередной странице остаётся место только для заголовка и нет места ни для одной строчки текста, заголовок нужно писать на следующей странице.

Излагая вопрос, каждый новый смысловой абзац необходимо начать с красной строки. Закончить изложение вопроса следует выводом, итогом по содержанию данного раздела.

Изложение содержания всей РГР должно быть завершено заключением, в котором необходимо дать выводы по написанию работы в целом.

Страницы контрольной работы должны иметь нумерацию (сквозной). Номер страницы ставится вверху в правом углу. На титульном листе номер страницы не ставится. Оптимальный объём контрольной работы 10-15 страниц машинописного текста (размер шрифта 12-14) через полуторный интервал на стандартных листах формата А-4, поля: верхнее –15 мм, нижнее –15мм, левое –25мм, правое –10мм.

В тексте контрольной работы не допускается произвольное сокращение слов (кроме общепринятых).

По всем возникшим вопросам студенту следует обращаться за консультацией преподавателю. Срок выполнения контрольной работы определяется преподавателем и она должна быть сдана не позднее, чем за неделю до экзамена. По результатам проверки Контрольная работа оценивается на 2-5 баллов. В случае отрицательной оценки, студент должен ознакомиться с замечаниями и, устранив недостатки, повторно сдать работу на проверку.

5. План – график выполнения задания

№	Этап выполнения задания	Объем часов для выполнения задания (астр.)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Выполнение контрольных заданий											
1	Получение задания на установочном занятии, анализ его с преподавателем	+									
2	Изучение литературы для выполнения заданий контрольной работы		+	+	+	+	+	+	+		
3	Выполнение заданий контрольной работы, её оформление									+	+

6.Критерии оценивания работы

Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено

числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному.

7. Порядок защиты работы

Получив проверенную работу, студент должен внимательно ознакомиться с рецензией, пометками на полях и выполнить все указания научного руководителя. Если работа не допущена до защиты, необходимо ознакомиться с рецензией, доработать контрольную работу, устранив все недостатки, указанные научным руководителем, и в новом варианте сдать на проверку.

В установленный кафедрой срок исполнитель обязан явиться на защиту контрольной работы, имея с собой последний вариант, рецензию на первый вариант с замечаниями руководителя и зачётную книжку.

При защите студент должен быть готов ответить на вопросы научного руководителя по всей теме контрольной работы.

Оценка работы производится по четырёхбалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». После защиты положительная оценка выставляется в зачётную книжку. Защищённые контрольные работы не возвращаются и хранятся в фонде кафедры.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Строительная механика и металлические конструкции машин : учебное пособие / В.А. Глотов, А.В. Зайцев, В.Ю. Игнатьев. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 95 с. : ил., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-5266-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=426940](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=426940) (30.10.2016).
2. Вероятностные методы строительной механики и теория надежности строительных конструкций : учебное пособие : 2-х частях / В.А. Пшеничкина, Г.В. Воронкова, С.С. Рекунов, А.А. Чураков ; Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, Министерство образования и науки Российской Федерации. - Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. - Ч. I. - 92 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-98276-733-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434827](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434827) (30.10.2016).
3. Строительство и механика : краткий справочник / В.В. Леденев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 244 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-8265-1392-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444650](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444650) (30.10.2016).

Дополнительная литература:

1. Нелинейная инкрементальная строительная механика / В.В. Петров.М. : Инфра-Инженерия, 2014. - 480 с. - ISBN 978-5-9729-0076-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=234783](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=234783) (30.10.2016).
2. Строительная механика для архитекторов: учебник : в 2-х т. / Ю.Э. Сеницкий, А.К. Синельник ; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный архитектурно-строительный университет». - Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. - Т. II. - 280 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9585-0563-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256149](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256149) (30.10.2016).