

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра строительных конструкций и технологии строительства**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И. Луковникова

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА**

**Б1.В.ДВ.08.01**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**08.03.01 Строительство**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Экспертиза и управление недвижимостью**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....</b>	<b>3</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ</b>	<b>4</b>
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>4</b>
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости..	5
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	<b>5</b>
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий.....	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам.....	6
4.3 Лабораторные работы.....	18
4.4 Практические занятия.....	18
4.5. Контрольные мероприятия: контрольная работа.....	18
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>20</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ...</b>	<b>21</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>21</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО–ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>22</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>22</b>
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ.....	23
9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы.....	55
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....</b>	<b>56</b>
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....</b>	<b>56</b>
<b>Приложение 1.</b> Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	57
<b>Приложение 2.</b> Аннотация рабочей программы дисциплины.....	62
<b>Приложение 3.</b> Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе.....	63
<b>Приложение 4.</b> Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....	64

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к экспериментально-исследовательскому, изыскательскому и проектно-конструкторскому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель дисциплины

Целью дисциплины является формирование у обучающихся базовых знаний по расчету зданий и сооружений при их проектировании или реконструкции и подготовка будущего бакалавра к решению профессиональных, научно-исследовательских задач.

## Задачи дисциплины

Задачами дисциплины являются:

- изучение методов расчета сооружений на прочность, жесткость и устойчивость;
- получение обучающимися фундаментальных знаний о напряженно-деформированном состоянии стержневых систем под действием различных нагрузок.

Код компетенции <b>1</b>	Содержание компетенций <b>2</b>	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине <b>3</b>
ОПК-2	способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующих физико-математический аппарат	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методы расчета статически определимых и неопределимых стержневых систем при действии статических и динамических нагрузок;</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выявлять естественнонаучную сущность проблем механики, возникающих в ходе профессиональной деятельности;</li> <li>– грамотно выбрать расчетную схему сооружения на основании его фактической работы при действующих нагрузках;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-математическим аппаратом при расчете сооружений на прочность, жесткость и устойчивость.</li> </ul>
ПК-1	знание нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– нормативную базу в области расчета и проектирования зданий и сооружений;</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– использовать современные нормы проектирования строительных конструкций применительно к разным расчетным моделям;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– принципами проектирования зданий и сооружений с учетом инженерных изысканий.</li> </ul>
ПК-14	владение методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированных проектирования, стандартных пакетов авто-	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– компьютерное моделирование поведения конструкций и сооружений при действии нагрузок;</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– использовать универсальные и специализированные программно-вычислительные комплексы для расчета строительных конструкций, зданий и сооружений.</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования при реше-</li> </ul>

	матизации исследований, владение методами испытаний строительных конструкций и изделий, методами постановки и проведения экспериментов по заданным методикам	нии исследовательских задач механики.
--	--	---------------------------------------

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.08.01 Строительная механика относится к дисциплине по выбору. Дисциплина Строительная механика базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как:

- Математика;
- Теоретическая механика;
- Техническая механика.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Строительная механика представляет основу для изучения дисциплин:

- Металлические конструкции;
- Железобетонные конструкции;
- Конструкции из дерева и пластмасс.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

## 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Контрольная работа	Форма промежуточной аттестации
			Всего часов	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Заочная	3	-	108	16	6	-	10	88	Зкр, Зкр	зачет
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудо- емкость (час.)	в т.ч. в интерак- тивной, актив- ной, инновацион- ной формах, (час.)	Распреде- ние по кур- сам, час
			3
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	16	6	16
Лекции (Лк)	6	2	6
Практические занятия (ПЗ)	10	4	10
Контрольная работа	+	-	+
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	88	-	88
Подготовка к практическим занятиям	28	-	28
Подготовка к зачету	30	-	30
Выполнение контрольной работы	30	-	30
<b>III. Форма промежуточной аттестации зачет</b>			
	+	-	+
Общая трудоемкость дисциплины час.	108	-	108
зач. ед.	3	-	3

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

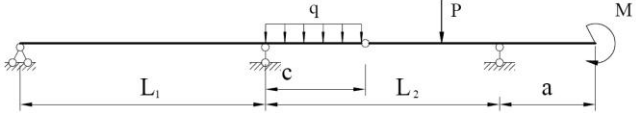
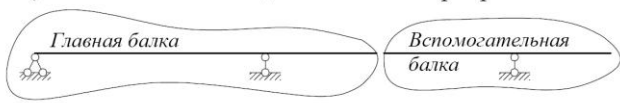

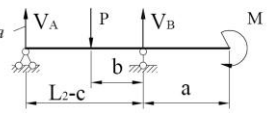
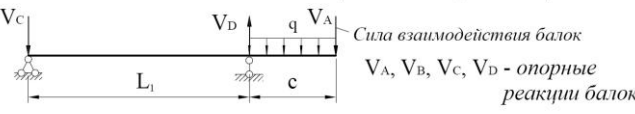
### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для заочной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Общая трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Расчет статически определимых систем</b>	<b>44</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>38</b>
1.1.	Кинематический анализ стержневых систем	10	0,5	-	9,5
1.2.	Основы расчета многопролетных статически определимых балок и рам	12	0,5	2	9,5
1.3.	Расчет ферм	12	0,5	2	9,5
1.4.	Определение перемещений в статически определимых системах	10	0,5	-	9,5
<b>2.</b>	<b>Расчет статически неопределимых систем</b>	<b>44</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>36</b>
2.1.	Расчет статически неопределимых систем методом сил	15	1	2	12
2.2.	Расчет неразрезных балок с помощью уравнения трех моментов	14,5	0,5	2	12
2.3.	Расчет статически неопределимых систем методом перемещений	14,5	0,5	2	12
<b>3.</b>	<b>Основы устойчивости сооружений</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>14</b>
3.1.	Основные понятия устойчивости сооружений: виды потери устойчивости, степень свободы, методы решения	16	2	-	14
	<b>ИТОГО</b>	<b>104</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>88</b>

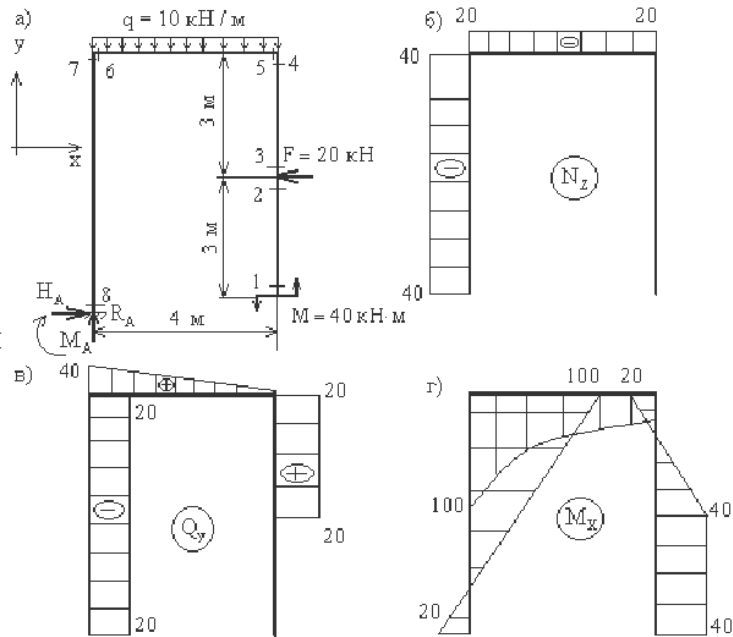
## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

<i>Номер, наименование раздела и темы дисциплины</i>	<i>Содержание лекционных занятий</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	2	3
<b>1. Расчет статически определимых систем</b>		
1.1. Кинематический анализ стержневых систем	<p>Расчет любой задачи по строительной механике должен начинаться с кинематического анализа расчетной схемы сооружения или конструкции, то есть проверки ее геометрической неизменяемости. Свойство системы изменять геометрическую форму при отсутствии деформаций в элементах называется ее изменяемостью. Отдельные конструктивные элементы или все сооружение в целом должны представлять геометрически неизменяемую систему. В плоских системах геометрически неизменяемые тела называются жесткими дисками, а в пространственных системах – жесткими блоками. В число дисков или блоков может входить основание, то есть тело, на которое опирается система. Поэтому следует проверять также неподвижность системы относительно основания.</p> <p>Каждый жесткий диск в плоскости имеет три степени свободы, то есть его положение в плоскости определяется тремя независимыми координатами – двумя поступательными перемещениями по направлению осей <math>x</math> и <math>y</math>, и поворотом в плоскости <math>xy</math>. Каждый жесткий блок пространственной системы обладает шестью степенями свободы: тремя поступательными перемещениями в направлении осей <math>x</math>, <math>y</math> и <math>z</math>, и тремя поворотами вокруг этих осей.</p> <p>Каждая элементарная связь отнимает одну степень свободы. Каждый простой шарнир уничтожает две степени свободы взаимной подвижности связанных им дисков или блоков. Пусть схема содержит <math>D</math>– дисков, <math>Ш</math> – шарниров, <math>C_0</math>– опорных стержней. Тогда легко подсчитать число степеней свободы рассматриваемой системы:</p> $W = 3D - 2Ш - C_0. \quad (1.1)$ <p>Если <math>W &gt; 0</math>, то система является геометрически изменяемой и по определению не может служить в качестве расчетной схемы сооружения.</p> <p>Если <math>W &lt; 0</math>, то система имеет избыточное число связей. В этом случае можно утверждать, что система является статически неопределимой, но ничего определенного сказать нельзя относительно кинематической неизменяемости системы.</p> <p>При <math>W = 0</math> система формально содержит достаточное количество связей, чтобы считать ее геометрически неизменяемой и статически определимой. Действительно, любая геометрически неизменяемая и статически определимая система должна удовлетворять этому условию.</p> <p>Но условие <math>W \leq 0</math> не гарантирует геометрической неизменяемости конструкции, т.е. при наличии лишних связей, эти связи могут быть поставлены так, что в некоторой части система может оказаться геометрически изменяемой, а в другой – не-</p>	Слайд-презентация (0,5 часа)

	<p>изменяемой. Поэтому всегда дополнительно проводится геометрический анализ структуры системы.</p>	
<p>1.2. Основы расчета многопролетных статически определимых балок и рам</p>	<p>Расчету балки должно предшествовать построение ее «поэтажной» схемы (рис.1, а–в). Для этого мысленно удаляют шарниры, соединяющие балки между собой. Те балки, которые способны самостоятельно нести нагрузку (жестко защемленные или имеющие две наземные опоры) будут главными балками (основными). Вспомогательные балки (подвески) имеют только одну наземную опору или не имеют их вовсе (рис.1б). Недостающими опорами для них служат соединительные шарниры (рис. 1в).</p> <p>а) Заданная схема балки</p>  <p>б) Схема балки без соединительного шарнира</p>  <p>в) "Поэтажная" схема балки</p>  <p>г) Расчетная схема I балки</p>  <p>д) Расчетная схема II балки</p>  <p>Рис. 1. Порядок построения «поэтажной» схемы балки</p> <p>После построения «поэтажной» схемы (рис.3в) заданную балку рассматривают как ряд простых двухопорных балок (рис.1г-д). Особенность задачи заключается в том, что для расчета нижележащих балок необходимо знать силы взаимодействия в шарнирах, являющихся опорными реакциями вышележащих балок и нагрузкой для нижележащих. Расчет балок начинают с самого верхнего «этажа». Для расчета необходимо вычертить схемы каждой двухопорной балки (рис.1г-д), а эпюры <math>M</math> и <math>Q</math> можно строить на общей базе под «поэтажной схемой».</p> <p>Рамами называют геометрически неизменяемые стержневые системы, стержни которых жестко связаны между собой во всех или нескольких узлах. Вертикальные элементы рамы называются стойками, а горизонтальные или близкие к ним ригелями.</p> <p>С общих позиций технической механики рама не представляет собой какую-то особую конструкцию. Здесь, так же как и в любой другой стержневой системе, применимы те же законы равновесия.</p> <p>Каждый диск и узел рамы должны находиться в состоянии равновесия. В общем случае под действием нагрузки в сечениях рамы возникают изгибающие моменты, поперечные и</p>	<p>Слайд-презентации (0,5 часа)</p>

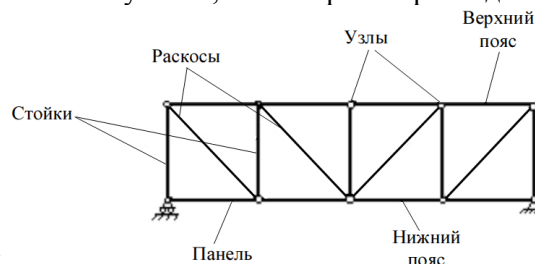
продольные усилия.  
 Диск это часть рамы, изменение первоначальной формы которой вызывается только деформациями материала.  
 Расчет на действие статических нагрузок состоит в следующем:  
 анализ структуры (проверка статической определимости и геометрической неизменяемости);  
 определение опорных реакций и усилий в промежуточных шарнирах, а также их проверка;  
 определение изгибающих моментов в характерных сечениях, построение эпюры моментов  $M$ ;  
 построение эпюры поперечных сил  $Q$ ;  
 построение эпюры продольных сил  $N$ ;  
 проверка построенных эпюр.

Пример



1.3. Расчет ферм

*Фермой* называется жесткая (кинематически неизменяемая) конструкция, состоящая из прямолинейных стержней, соединенных на концах шарнирами. Места соединения стержней называются узлами, к которым прикладываются



внешние силы.  
 Для плоской статически определимой фермы должно выполняться условие:  $C = 2 \cdot U - 3$ , где  $U$  - число узлов фермы,  $C$  - число стержней.  
 Если  $C > 2 \cdot U - 3$  - ферма статически неопределима, если  $C < 2 \cdot U - 3$  - конструкция является кинематической изменяемой системой.  
 Приступая к расчету фермы необходимо установить, нет ли среди стержней таких, усилия в которых равны нулю, т.е. являются «нулевыми».  
 Определение «нулевых» стержней производится согласно *леммах о «нулевых» стержнях*.

Слайд-презентации (0,5 часа)



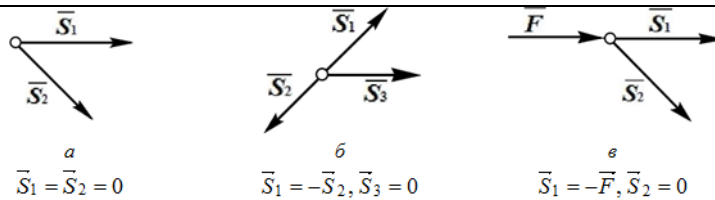


Рис. 1. «Нулевые» стержни фермы

Расчет плоских ферм заключается в определении реакций внешних связей (опорных узлов) и усилий в стержнях.

Последовательность расчета ферм.

1. Проверить, выполняется ли условие статической определимости фермы:  $C = 2 \cdot U - 3$ , где  $C$  – число стержней фермы,  $U$  – количество узлов.
2. Отбросить связи, приложив соответствующие реакции. Составить уравнения равновесия для всей фермы, из которых определить реакции связей. Выполнить проверку правильности решения, составив уравнение равновесия моментов сил относительно точки.
3. Согласно лемме о «нулевых» стержнях следует удалить стержни, усилия в которых равны нулю. Пронумеровать оставшиеся стержни и проверить «исправленную» ферму на статическую определимость.
4. Применить способ вырезания узлов. Составить уравнения равновесия для каждого узла фермы.
5. Совместно решить полученную систему уравнений относительно неизвестных усилий в стержнях фермы. Если в результате расчета значение усилия в стержне получится отрицательным, это означает, что данный стержень сжат.
6. Проверить результаты расчета фермы способом сечений (Риттера). Для этого ферму в каком-либо месте рассекаем плоскостью, действие стержней заменяем их реакциями и составляем уравнения отсеченной части. Уравнения равновесия в форме сил или моментов следует составлять так, чтобы эти уравнения содержали бы не более одной неизвестной силы.
7. Проверить результаты расчета графическим способом (построением диаграммы Максвелла-Кремоны): если расчет выполнен верно, то диаграмма будет замкнута, в противном случае – диаграмма не замкнется.

1.4. Определение перемещений в статически определимых системах

Для определения перемещений при изгибе используют интеграл Мора.

Рассмотрим раму (рис.1, а), нагруженную системой внешних сил  $P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Пусть требуется определить перемещение  $\Delta_A$  точки  $A$  в направлении  $AB$ . Воспользуемся принципом Кастилиано. Внешняя сила в точке  $A$  в направлении  $AB$  может быть, а может и не быть. Приложим в точке  $A$  в направлении  $AB$  статически возможную силу  $\delta P_A$  (рис.1, а)

-

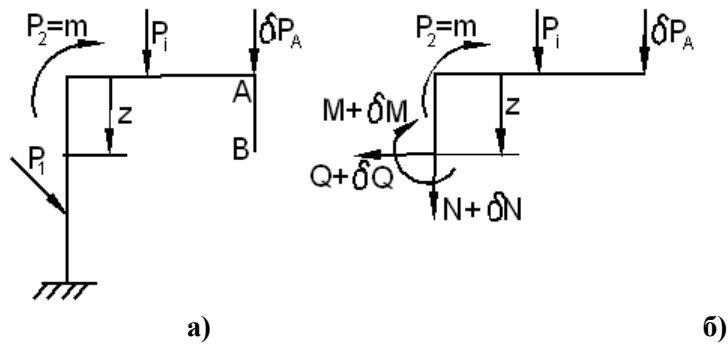


Рисунок 1

Тогда, согласно  $\sum_{i=1}^n \delta P_i \Delta_i = \delta U$ , имеем:  
 $\Delta_A \delta P_A = \delta U$ . (1)

Рассечём раму в стойке на расстоянии  $z$ . В поперечном сечении возникают внутренние силовые факторы  $N, Q, M$  (рис.1, a). От изменения (вариации) силы в точке  $A$  в поперечном сечении рамы внутренние силовые факторы изменятся на бесконечно малые величины  $\delta N, \delta Q, \delta M$ . Эти изменения внутренних сил и моментов будут пропорциональны  $\delta P_A$ , т.е.

$$\delta N = \bar{N} \delta P_A, \quad \delta M_x = \bar{M}_x \delta P_A, \quad \delta M_y = \bar{M}_y \delta P_A, \\ \delta M_z = \bar{M}_z \delta P_A, \dots \quad (2)$$

Из (2) следует,

что при  $\delta P_A = 1$  коэффициенты  $\bar{N}, \bar{M}_x, \bar{M}_y, \bar{M}_z, \bar{Q}_x, \bar{Q}_y$  являются нормальной силой, изгибающим моментом, крутящим моментом, перерезывающими силами в сечении рамы с координатой  $z$ , которые вызваны действием единичной силы в точке  $A$  в направлении  $AB$  искомого перемещения (рис. 2).

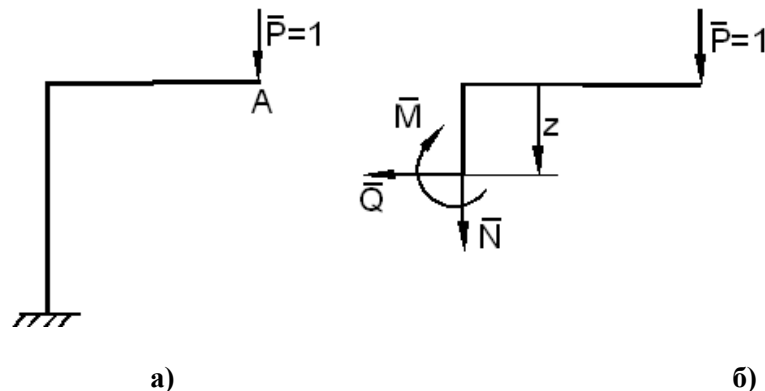


Рисунок 2

Так как оператор вариации  $\delta$  имеет смысл дифференциала, то варьируя формулу потенциальной энергии

$$U = \int_0^l \left[ \frac{N^2}{2EF} + \frac{M_x^2}{2EJ_x} + \frac{M_y^2}{2EJ_y} + \frac{M_z^2}{2GJ_{\text{зп}}} + \frac{K_1 Q_x^2}{2GF} + \frac{K_2 Q_y^2}{2GF} \right] dz$$

получим:

$$\delta U = \int_0^l \left[ \frac{N \delta N}{EF} + \frac{M_x \delta M_x}{EJ_x} + \frac{M_y \delta M_y}{EJ_y} + \frac{M_z \delta M_z}{GJ_{\text{кр}}} + \dots \right] dz.$$

Учитывая  $\delta U = \delta P \Delta$ , подставляя в  $P_i = \sum_{j=1}^n C_{ij} \Delta_j$  и сокращая на  $\bar{P}_A$ , находим формулу

$$\Delta_A = \int_0^l \left[ \frac{N \bar{N}}{EF} + \frac{M_x \bar{M}_x}{EJ_x} + \frac{M_y \bar{M}_y}{EJ_y} + \frac{M_z \bar{M}_z}{GJ_{\text{кр}}} + \dots \right] dz,$$

(3)

называемую **формулой Мора**. Она служит для определения любых обобщённых перемещений в стержневых системах.

Формулу Мора можно получить, пользуясь принципом возможных перемещений. Рассмотрим схему нагружения (см. рис. 2, а), когда в точке А в направлении искомого перемещения  $\Delta_A$  приложена единичная сила  $\bar{P} = 1$ , вызывающая в поперечном сечении системы внутренние силовые факторы  $\bar{N}, \bar{Q}, \bar{M}$  (рис. 2, б). Согласно принципу возможных перемещений работа этих внутренних силовых факторов на любых возможных перемещениях должна равняться работе единичной силы  $\bar{P}$  на возможном перемещении  $\delta \Delta_A$ :

$$\bar{P} \delta \Delta_A = \int_0^l \left[ \bar{N} \delta U + \bar{M}_x \delta \theta_1 + \bar{M}_y \delta \theta_2 + \bar{M}_z \delta \varphi + \dots \right]$$

Выберем возможные перемещения пропорциональными действительным:

$$\delta \Delta_A = \lambda \Delta_A, \delta U = \lambda dU, \delta \varphi = \lambda d\varphi, \delta \theta = \lambda d\theta, \dots$$

Тогда после подстановки получим:

$$\Delta_A = \int \left[ \bar{N} dU + \bar{M}_x d\theta_1 + \bar{M}_y d\theta_2 + \bar{M}_z d\varphi \right] dz.$$

(4)

Если учесть, что

$$dU = \frac{Ndz}{EF}, d\theta_1 = \frac{M_x dz}{EJ_x}, d\theta_2 = \frac{M_y dz}{EJ_y}, d\varphi = \frac{M_z dz}{GJ_{\text{кр}}},$$

то приходим к формуле (3).

Для систем, элементы которых работают на растяжение или сжатие (например, шарнирно-стержневые системы - фермы), в формуле Мора (3) отличен от нуля будет только слагаемое, содержащее продольные силы. При расчете балок или рамных систем, работающих в основном на изгиб, влияние поперечной и продольной силы на перемещение несущественно и в большинстве случаев их влияние не учитывается. В случае пространственной работы стержня или стержневой системы, элементы которой работают, в основном, на изгиб и кручение, в формуле Мора обычно ограничиваются рассмотрением слагаемых, содержащих изгибающие и крутящие моменты.

Подробно рассмотрим случай, когда брус работает только на изгиб ( $M_x \neq 0, N_z = M_z = M_y = Q_x = Q_y = 0$ ). В этой ситуации выражение (3) принимает вид:

$$\Delta_A = \int_0^l \frac{M_x \bar{M}_x}{EJ_x} dz \quad (5)$$

Согласно (5) для определения перемещения произвольной точки в произвольном направлении, последовательно необходимо выполнять следующее:

1. Построить эпюру моментов  $M_x$  от заданной системы внешних сил;

2. Исключая внешние силы и в точке, где необходимо определить перемещение по заданному направлению, прикладывается единичное усилие (сосредоточенная сила - если требуется определить линейное перемещение; сосредоточенный момент - если требуется определить угловое перемещение), и от действия единичного усилия строится эпюра моментов  $\bar{M}_x$ ;

3. По формуле Мора (5) вычисляется искомое перемещение.

Полученный по формуле Мора положительный знак перемещения показывает, что искомое перемещение происходит по направлению, совпадающему с принятым направлением единичной обобщенной силы, отрицательный знак перемещения говорит о том, что точки оси перемещаются (сечения поворачиваются) в сторону, противоположную направлению единичной обобщенной силы.

Формулы Мора пригодны и для элементов, представляющих собой стержни малой кривизны, с заменой элемента длины  $dz$  в подынтегральном выражении элементом дуги  $ds$ .

Способ вычисления интеграла Мора путем замены непосредственного интегрирования перемножением соответствующих эпюр называется способом (или правилом) Верещагина и заключается в следующем: чтобы перемножить две эпюры, из которых хотя бы одна является прямолинейной, нужно площадь одной эпюры (если есть криволинейная эпюра, то обязательно ее площадь) умножить на ординату другой эпюры, расположенную под центром тяжести первой.

Докажем справедливость этого правила. Рассмотрим две эпюры (рис.3). Пусть одна из них ( $M_n$ ) является грузовой и имеет криволинейное очертание, а вторая  $\bar{M}_n$  соответствует единичной нагрузке и является линейной.

Из рис.3 следует, что  $\bar{M}_n = (z + a) \operatorname{tg} \alpha$ . Подставим значения

$$\bar{M}_n \text{ в } \int_0^l \bar{M}_n M_n dz \text{ :}$$

$$\int_0^l \bar{M}_n M_n dz = \operatorname{tg} \alpha \int_0^l (z + a) M_n dz = \operatorname{tg} \alpha \int_0^l (z + a) d\omega_n \text{ ,}$$

где  $d\omega_n = M_n dz$  - дифференциал площади  $\omega_n$  эпюры  $M_n$ .

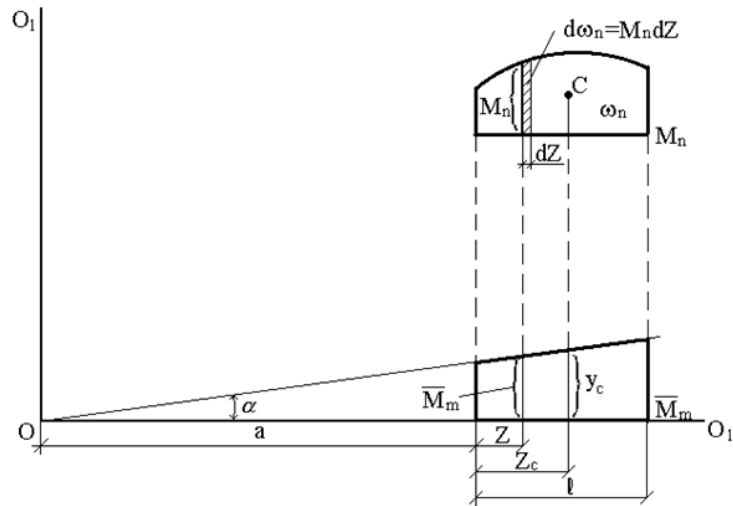


Рис. 3

Интеграл  $\int_0^l (z+a)d\omega_n$  представляет собой статический момент

площади  $\omega_n$  относительно оси  $O - O_1$ , при этом:

$$\int_0^l (z+a)d\omega_n = \omega_n(z_c + a),$$

где  $z_c$  – абсцисса центра тяжести площади  $\omega_n$ , тогда:

$$\int_0^l \bar{M}_n M_n dz = (z_c + a)\omega_n \operatorname{tg} \alpha$$

Учитывая, что  $(z_c + a)\operatorname{tg} \alpha = y_c$ , получим:

$$\int_0^l \bar{M}_n M_n dz = \omega_n y_c \quad (1)$$

Выражение (1) определяет результат перемножения двух эпюр, а не перемещения. Чтобы получить перемещение, этот результат нужно разделить на жесткость, соответствующую внутренним силовым факторам, стоящим под знаком интеграла.

Формула Симпсона относится к приемам численного интегрирования.

Суть метода заключается в приближении подынтегральной функции на отрезке  $[a, b]$  интерполяционным многочленом второй степени  $p_2(x)$ , то есть приближение графика функции на отрезке параболой. Метод Симпсона имеет порядок погрешности 4 и алгебраический порядок точности 3.

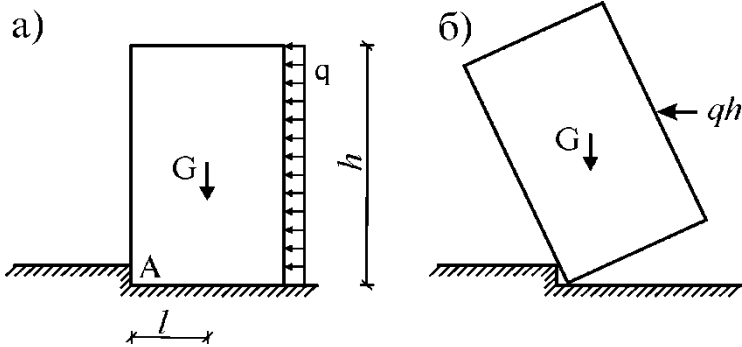
Формулой Симпсона называется интеграл от интерполяционного многочлена второй степени на отрезке  $[a, b]$ :

$$\int_a^b f(x) dx \approx \int_a^b p_2(x) dx = \frac{b-a}{6} \left( f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right),$$

где  $f(a)$ ,  $f((a+b)/2)$  и  $f(b)$  — значения функции в соответствующих точках (на концах отрезка и в его середине).

**2. Расчет статически неопределимых систем**

<p>2.1. Расчет статически неопределимых систем методом сил</p>	<p>Независимо от особенностей рассматриваемой конструкции, можно выделить следующую последовательность расчета статически неопределимых систем методом сил:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определить степень статической неопределимости.</li> <li>2. Выбрать основную систему.</li> <li>3. Сформировать эквивалентную систему.</li> <li>4. Записать систему канонических уравнений.</li> <li>5. Построить единичные и грузовые эпюры внутренних силовых факторов, возникающих в элементах рассматриваемой конструкции.</li> <li>6. Вычислить коэффициенты при неизвестных и свободные члены системы канонических уравнений.</li> <li>7. Построить суммарную единичную эпюру.</li> <li>8. Выполнить универсальную проверку коэффициентов при неизвестных и свободных членах.</li> <li>9. Решить систему канонических уравнений, т.е. определить реакции лишних связей.</li> <li>10. Построить эпюры возникающих внутренних силовых факторов для заданной системы (иначе говоря, окончательные эпюры).</li> <li>11. Выполнить статическую и кинематическую проверки.</li> </ol> <p>Отметим, что пункты 7, 8, 11 приведенного алгоритма не являются безусловно необходимыми, хотя и позволяют контролировать правильность выполнения расчета. А для систем с одной лишней связью пункты 7 и 8 просто лишены смысла, так как в этом случае суммарная единичная эпюра совпадает с единичной.</p>	<p>-</p>
<p>2.2. Расчет неразрезных балок с помощью уравнения трех моментов</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определение степени статической неопределимости системы.</li> <li>2. Определение балочных усилий для каждого пролёта балки. Построение эпюр поперечных сил <math>Q^0</math> и моментов <math>M^0</math></li> <li>3. Определение фиктивных реакций опор.</li> <li>4. Решение системы уравнений трёх моментов, определение неизвестных опорных моментов <math>M_1, \dots, M_n</math>.</li> <li>5. Построение итоговых эпюр изгибающих моментов <math>M</math> и поперечных сил <math>Q</math> по формулам: <math display="block">M = M^0 + M_{оп};</math> <math display="block">Q = Q^0 + \frac{M_{пр} - M_{лев}}{l}</math> </li> <li>6. Определяются итоговые опорные реакции на <math>i</math>-й опоре <math>R_i</math> неразрезной балки по формулам: <math display="block">R_i = R_i^0 - \frac{M_i - M_{i-1}}{l_i} - \frac{M_i - M_{i+1}}{l_{i+1}},</math> <math display="block">R_i^0 = B_i^0 + A_{i+1}^0,</math> <p>где <math>R_i^0</math> – суммарная балочная реакция на <math>i</math>-й опоре;  <math>M_i</math> – момент на <math>i</math>-й опоре; <math>l_i</math> – пролет слева от опоры <math>i</math>; <math>l_{i+1}</math> – пролет справа от опоры <math>i</math>.</p> </li> <li>7. Выполняется проверка: <math>\sum Y = 0</math>.</li> </ol>	<p>Слайд-презентации (0,5 часа)</p>
<p>2.3. Расчет статически неопределимых систем методом перемещений</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определение степени кинематической неопределимости системы по формуле: <math>n = n_y + n_l</math>,</li> <li>2. Выбор основной системы метода перемещений.</li> <li>3. Составляется система канонических уравнений.</li> <li>4. Расчет перемещений, входящих в систему канонических уравнений.</li> <li>5. Решение системы канонических уравнений.</li> <li>6. Построение итоговых эпюр изгибающих моментов <math>M</math> и по-</li> </ol>	<p>-</p>

	<p>перечных сил <math>Q</math>.</p> <p>7. По итоговой эпюре поперечной силы <math>Q</math> определяются реакции опор <math>R</math>.</p> <p>8. Выполняется проверка: <math>\Sigma Y = 0</math>.</p>	
<p><b>3. Основы устойчивости сооружений</b></p>		
<p>3.1. Основные понятия устойчивости сооружений: виды потери устойчивости, степень свободы, методы решения</p>	<p><b>Устойчивость</b> – это способность сооружения сохранять свое первоначальное положение или форму. Переход устойчивого сооружения в неустойчивое состояние называется <b>потерей устойчивости</b>. Граница перехода в неустойчивое состояние называется <b>критическим состоянием</b>. Сила, приводящая сооружение в критическое состояние, называется <b>критической силой</b>. Критическую силу будем обозначать <math>P_{кр}</math>.</p> <p>Различают два вида потери устойчивости – устойчивость положения и устойчивость формы.</p> <p><b>Устойчивость положения</b> – это способность сооружения сохранять свое положение. Например, при действии на подпорную стенку нагрузки <math>q</math> (рис. 1 а), относительно точки <math>A</math> создается опрокидывающий момент <math>M_{опр} = qh^2 / 2</math>, от чего подпорная стенка может потерять устойчивость (рис. 1 б). Этому противостоит собственный вес подпорной стенки <math>G</math>, создающий удерживающий момент <math>M_{уд} = Gl</math>. Устойчивость системы зависит от соотношения этих моментов, так как при:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>M_{опр} &lt; M_{уд}</math> – система устойчива;</li> <li>2) <math>M_{опр} &gt; M_{уд}</math> – система неустойчива;</li> <li>3) <math>M_{опр} = M_{уд}</math> – система безразлична.</li> </ol> <div style="text-align: center;">  <p>The diagram consists of two parts, labeled 'а)' and 'б)'. Part 'а)' shows a rectangular retaining wall of height <math>h</math> and width <math>l</math> resting on a horizontal ground surface. A downward arrow labeled <math>G</math> represents the weight of the wall, acting at the center. A horizontal arrow labeled <math>q</math> represents a distributed load acting on the right side of the wall. The pivot point is labeled <math>A</math> at the bottom-left corner. Part 'б)' shows the same wall tilted clockwise. The weight <math>G</math> still acts vertically downwards from the center. The distributed load <math>q</math> is now represented by a single horizontal arrow labeled <math>qh</math> acting at the top-right corner, causing the wall to tip.</p> </div> <p>Рис.1</p> <p><b>Устойчивость формы</b> – способность сооружения сохранять свою первоначальную форму. Например, если верхний конец стержня с действующей продольной силой <math>P</math> немного отклонить в сторону (рис. 2 а), он при <math>P &lt; P_{кр}</math> вернется в исходное положение. Такая система является устойчивой.</p>	-

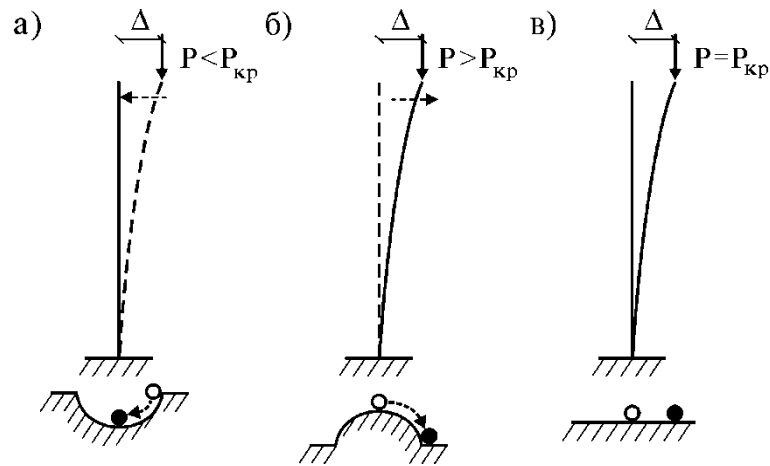


Рис.2

Если же  $P > P_{кр}$ , перемещения стержня начинают возрастать (рис.2 б). Такая система в исходное состояние вернуться не может. Поэтому ее называют неустойчивой.

Если  $P = P_{кр}$ , система остается в безразличном состоянии (рис. 2 в).

Таким образом, в зависимости от величины приложенной нагрузки система может быть устойчивой, неустойчивой или безразличной. Внизу на рисунках 2 а-в показаны схематические аналоги устойчивой, неустойчивой и безразличной систем.

Потеря устойчивости делится на 2 рода.

**Потеря устойчивости первого рода** связана с появлением нового вида деформации и характеризуется нарушением равновесия между нагрузкой и внутренними усилиями. Она может быть трех типов:

- потеря устойчивости центрального сжатия (рис.2 б);
- потеря устойчивости симметричной формы деформации (рис. 3 а, б);
- потеря устойчивости плоской деформации (рис.3 в).

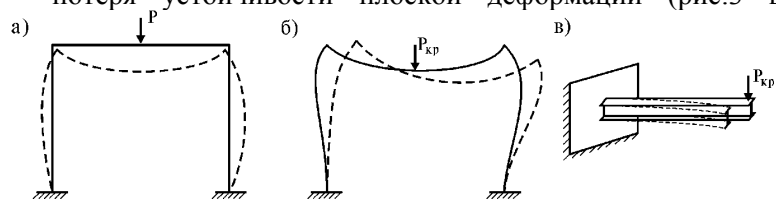


Рис.3

**Потеря устойчивости второго рода** наблюдается при потере несущей способности всего сооружения и характеризуется резким возрастанием предыдущих деформаций. В этом случае равновесие между нагрузкой и внутренними усилиями нарушается даже без появления новых видов деформаций (рис. 4 а-в):



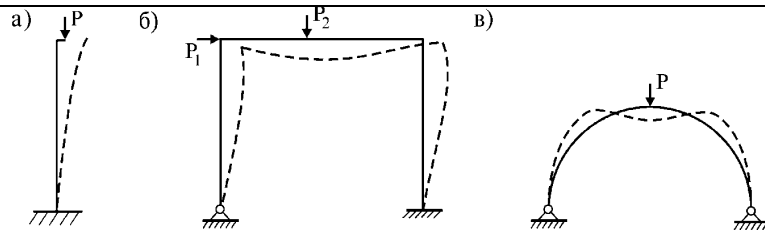


Рис.4

**Основной задачей теории устойчивости** является определение критической силы  $P_{кр}$ . Поскольку потерявшее устойчивость сооружение обычно непригодно для дальнейшей эксплуатации, определять форму потери устойчивости сооружения во многих случаях не требуется.

Если на систему действует несколько сил (рис. 5 а), определять их критические значения одновременно довольно трудно. Поэтому одну из сил (обычно наибольшую) принимают за основную и обозначают  $P$ , а остальные выражают через него (рис.5 б). Тогда вместо определения нескольких критических сил можно определять только одну (наибольшую).

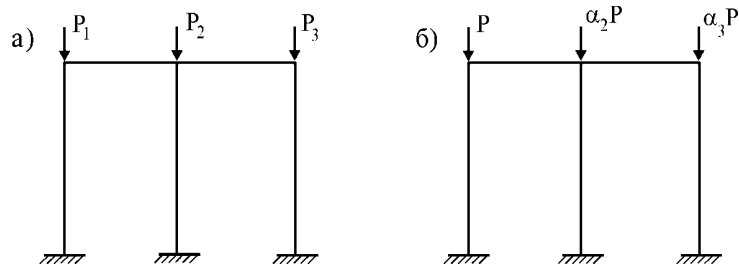


Рис. 5

Расчет на устойчивость можно вести тремя методами: статическим, энергетическим и динамическим.

**Статический метод** основан на составлении уравнений статики. Он базируется на критерии Эйлера: *критической силой является наименьшая сила, способная вызвать потерю устойчивости сооружения.*

Алгоритм статического метода состоит из трех этапов:  
 – задать системе малые перемещения;  
 – составить уравнения равновесия внешних и внутренних сил;  
 – из этих уравнений определить критическую силу.

**Энергетический метод** основан на исследовании полной потенциальной энергии системы и базируется на энергетическом критерии: *критической является сила, при которой приращение работы внешних сил равно приращению работы внутренних сил, т.е. когда  $\delta W = \delta V$ .*

Алгоритм энергетического метода состоит из трех этапов:  
 – задать системе малые перемещения;  
 – определить приращения работ внешних и внутренних сил;  
 – из условия их равенства определить критическую силу.

**Динамический метод** основан на изучении колебаний систе-

	<p>мы. Он базируется на динамическом критерии: <i>критической является сила, при которой частота собственных колебаний системы равняется нулю.</i></p> <p>Алгоритм динамического метода также состоит из трех этапов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– задать системе малые перемещения;</li> <li>– записать уравнение движения системы;</li> <li>– из условия равенства нулю частоты собственных колебаний системы определить критическую силу.</li> </ul>	
--	---	--

### 4.3. Лабораторные работы

Учебным планом не предусмотрено.

### 4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование тем практических занятий</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1.	Расчет многопролетной статически определимой балки.	1	Работа в малых группах (0,5 часа)
2	1.	Расчет плоской статически определимой рамы.	1	Работа в малых группах (0,5 часа)
3	1.	Расчет плоской статически определимой фермы.	2	Работа в малых группах (1 час)
4	2.	Расчет статически неопределимой рамы методом сил.	2	Работа в малых группах (1 час)
5	2.	Расчет неразрезных балок с помощью уравнения трех моментов.	2	Работа в малых группах (1 час)
6	2.	Расчет неразрезных балок методом перемещений.	2	-
<b>ИТОГО</b>			<b>10</b>	<b>4</b>

### 4.5. Контрольные мероприятия: контрольная работа

**Цель:** Освоение практических навыков решения задач по строительной механике.

**Структура:**

работа должна содержать: исходные данные для расчета, расчетные схемы, типовой расчет заданных конструкций, эпюры внутренних усилий, расчет на прочность, жесткость и устойчивость.

**Основная тематика:** расчет статически определимых и неопределимых систем: определение внутренних усилий. Расчет на прочность, жесткость и устойчивость.

**Рекомендуемый объем:** контрольная работа выполняется в виде пояснительной записки объемом 10-12 страниц формата А4 и включает в себя: титульный лист, задания, расчетную часть.

Выдача задания, прием контрольной работы проводится в соответствии с календарным учебным планом.

<b>Оценка</b>	<b>Критерии оценки контрольной работы</b>
зачтено	<p>Ставится обучающемуся, который в срок, в полном объеме и на высоком уровне выполнил контрольную работу; обучающийся умеет применять теоретические знания основной и дополнительной литературы; тема, заявленная в работе раскрыта полностью; все выводы подтверждены расчетами; отчет подготовлен в соответствии с предъявляемыми требованиями; при защите обучающийся успешно отвечает более чем на 80% заданных вопросов; знает основные методы и приемы расчета стержневых систем; умеет правильно выбирать расчетную схему сооружения, наиболее рациональный метод расчета; владеет основными современными методами постановки, исследования и решения задач механики; способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекает их для решения соответствующий физико-математический аппарат; знает нормативную базу в области принципов проектирования зданий, сооружений; владеет методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированного проектирования.</p>
не зачтено	<p>допущены существенные недостатки в оформлении : имеются отступления от содержания контрольной работы; не раскрыты тема; изложение материала поверхностно, отсутствуют выводы; общая безграмотность текста, неумение пользоваться профессиональной терминологией; обучающийся допускал арифметические ошибки в работе; не способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, не привлекает их для решения соответствующий физико-математический аппарат; не знает нормативную базу в области принципов проектирования зданий, сооружений; не владеет методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированного проектирования; не знает основные методы и приемы расчета стержневых систем; не умеет правильно выбирать расчетную схему сооружения, наиболее рациональный метод расчета; не владеет основными современными методами постановки, исследования и решения задач механики.</p>

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>			<i>Σ комп.</i>	<i>t<sub>ср</sub>, час</i>	<i>Вид учебной работы</i>	<i>Оценка результатов</i>
		<i>ОПК-2</i>	<i>ПК-1</i>	<i>ПК-14</i>				
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>1.</b> Расчет статически определимых систем	44	+	+	+	3	14,67	Лк, ПЗ, СР	зачет, кр
<b>2.</b> Расчет статически неопределимых систем	44	+	+	+	3	14,67	Лк, ПЗ, СР	зачет, кр
<b>3.</b> Основы устойчивости сооружений	16	+	+	+	3	5,33	Лк, СРС	зачет
<i>всего часов</i>	<b>104</b>	<b>34,7</b>	<b>34,7</b>	<b>34,7</b>	<b>3</b>	<b>34,7</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Коваленко, Г. В. Примеры расчета плоских стержневых систем: учебно-методическое пособие / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2014. - 126 с. Рекомендации для самостоятельной работы – стр. 4-120.

2. Коваленко, Г. В. Строительная механика: методические указания и контрольные задания / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2013. - 35 с. Рекомендации для самостоятельной работы – стр. 7-34.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	<i>Наименование издания</i>	<i>Вид занятия (Лк, ПЗ, СР, кр)</i>	<i>Количество экземпляров в библиотеке, шт.</i>	<i>Обеспеченность, экз./чел.</i>
1	2	3	4	5
<b>Основная литература</b>				
1.	Шеин, А.И. Краткий курс строительной механики : учебник для вузов / А. И. Шеин. - Москва : Бастет, 2011. - 272 с.	Лк, ПЗ, кр, СР	20	1
2.	Васильков, Г. В. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений : учебное пособие / Г. В. Васильков, З. В. Буйко. - Санкт-Петербург : Лань, 2013. - 256 с.	Лк, СР	10	1
3.	Старцева, Л. В. Строительная механика в примерах и задачах : учебное пособие / Л. В. Старцева, В. Г. Архипов, А. А. Семенов. - М. : АСВ, 2014. - 224 с.	ПЗ, кр, СР	15	1
<b>Дополнительная литература</b>				
4.	Анохин, Н. Н. Строительная механика в примерах и задачах. В 2-х ч. : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Анохин. - 2-е изд., доп. и перераб. - М. : АСВ, 2007 - . Ч.1 : Статически определимые системы. - 335 с.	ПЗ, кр, СР	19	1
5.	Анохин, Н. Н. Строительная механика в примерах и задачах. В 2-х ч. : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Анохин. - 2-е изд., доп. и перераб. - М. : АСВ, 2007 - . Ч.2 : Статически неопределимые системы. - 464 с.	ПЗ, кр, СР	20	1
6.	Строительная механика. В 2 кн. : учебник для вузов / А. В. Александров, С. Б. Косицын, Д. Б. Долотказин и др.; Под ред. В. Д. Потапова. - Москва : Высшая школа, 2007 - . Кн.1 : Статика упругих систем. - 511 с.	Лк, ПЗ, кр, СР	12	1
7.	Масленников, А. М. Основы динамики и устойчивости стержневых систем : учебное пособие для вузов / А. М. Масленников. - Москва : АСВ, 2000. - 204 с.	Лк, СР	22	1
8.	Коваленко, Г. В. Строительная механика: методические указания и контрольные задания / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2013. - 35 с.	кр, СР	141	1
9.	Коваленко, Г. В. Примеры расчета плоских стержневых систем: учебно-методическое пособие / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2014. - 126 с.	Лк, ПЗ, кр, СР	52	1

## **8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО - ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ

[http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).

2. Электронная библиотека БрГУ

<http://ecat.brstu.ru/catalog> .

3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»

<http://biblioclub.ru> .

4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»

<http://e.lanbook.com> .

5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"

<http://window.edu.ru> .

6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .

7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)

<https://uisrussia.msu.ru/> .

8. Национальная электронная библиотека НЭБ

<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

## **9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для освоения обучающимися дисциплины и достижения запланированных результатов обучения, учебным планом предусмотрены практические занятия, самостоятельная работа, подготовка контрольных работ.

В условиях рейтинговой системы контроля результаты текущего оценивания студента используются как показатель его текущего рейтинга.

Текущий контроль успеваемости осуществляется в течение семестра, в ходе повседневной учебной работы. Данный вид контроля стимулирует у обучающихся стремление к систематической самостоятельной работе по изучению дисциплины. Внутренняя установка обучающегося на самостоятельную работу делает его учебную деятельность целеустремленным, активным и творческим процессом, насыщенным личностным смыслом обязательных достижений. Обучающийся, пользуясь рабочей программой, основной и дополнительной литературой, сам организует процесс познания. В этой ситуации преподаватель лишь опосредованно управляет его деятельностью.

Самостоятельная работа способствует сознательному усвоению, углублению и расширению теоретических знаний; формируются необходимые профессиональные умения и навыки и совершенствуются имеющиеся; происходит более глубокое осмысление методов научного познания конкретной науки, овладение необходимыми умениями творческого познания.

Основными формами такой работы являются:

- конспектирование лекций и прочитанного источника;
- проработка материалов прослушанной лекции;
- самостоятельное изучение программных вопросов, указанных преподавателем на лекциях и выполнение домашних заданий;
- формулирование тезисов;
- обзор и обобщение литературы по интересующему вопросу;
- подготовка к практическим занятиям, зачету;
- подготовка контрольных работ.

## 9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ

### Практическое занятие №1 – Расчет многопролетной статически определимой балки.

Цель работы: научиться строить эпюры внутренних усилий в балках.

Задание: для заданной балки требуется выполнить кинематический анализ и построить эпюры изгибающих моментов  $M$  и поперечных сил  $Q$ .

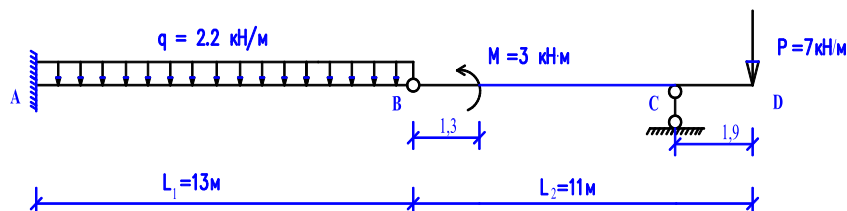


Рис. 1

Порядок выполнения:

#### 1. Кинематический анализ и составление поэтажной схемы балки

Число степеней свободы для геометрически неизменяемой системы должно соответствовать условию:

$$W = 3D - 2Ш - C_{\text{оп}} \leq 0, \quad (1)$$

где  $D$  – количество дисков в системе;  $Ш$  – количество шарниров;  $C_{\text{оп}}$  – количество опорных стержней.

Для заданной балки  $D = 2$ ,  $Ш = 1$ ,  $C_{\text{оп}} = 4$ . Подставим данные параметры в формулу (1) и получаем:

$$W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 1 - 4 = 0.$$

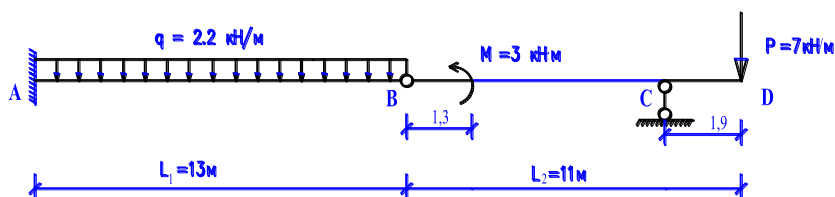
Система является статически определимой и может быть геометрически неизменяемой.

Для окончательной проверки геометрической неизменяемости выполняем структурный анализ системы (сборку-разборку дисков): диск  $AB$  крепится к неподвижному основанию с помощью трех опорных стержней (в заделке  $A$ ), которые не параллельны и не пересекаются в одной точке.

Таким образом, диск  $AB$  с основанием образует новый укрупненный диск  $I$ , к которому крепится диск  $BCD$  с помощью шарнира в т.  $B$  и опорного стержня в т.  $C$ , который не проходит через данный шарнир.

Следовательно, вся балка является геометрически неизменяемой системой, которая неподвижна относительно основания.

Расчет многопролетной заданной балки начинается с составления поэтажной расчетной схемы. Балка  $AB$  крепится к основанию неподвижно, является основной балкой, на консоль которой в т.  $B$  опирается второстепенная балка  $BCD$  (рис. 2).



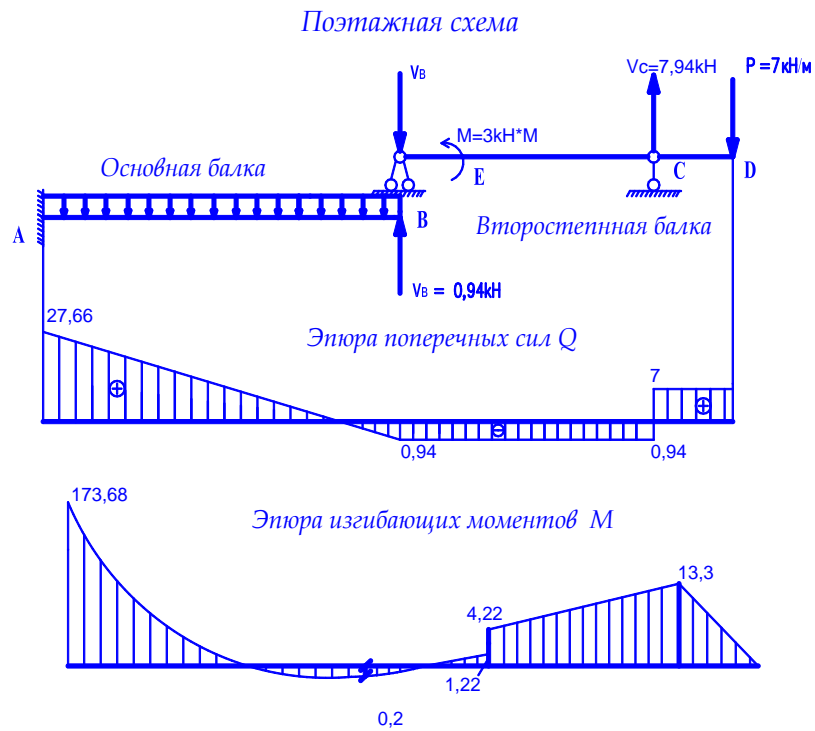


Рис. 2

## 2. Определение внутренних усилий в балке. Построение эпюр $M, Q$

Расчет заданной балки начинается с расчета вышележащих второстепенных балок, в данном случае, с балки  $BCD$ .

Затем начинаем определение опорных реакций. Определим реакции подвешенного элемента  $BC$ , т.к. для расчета основного элемента  $AB$  необходима числовая величина давления от подвешенного элемента в шарнире  $B$  (рис. 3).

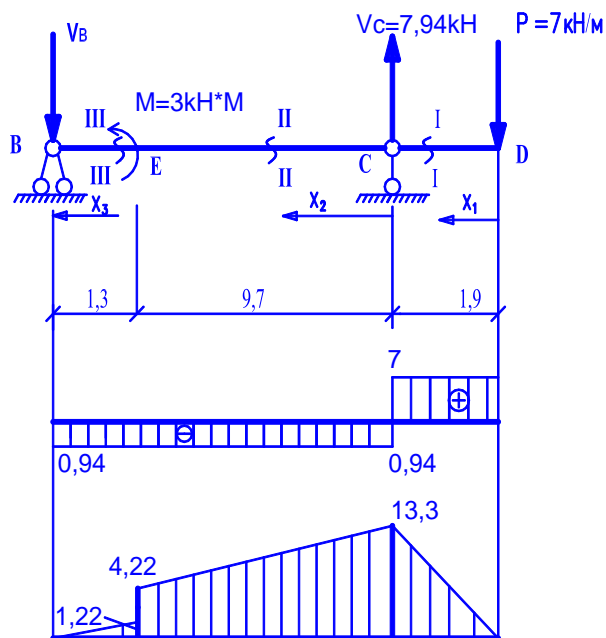


Рис. 3

Сумма моментов, относительно опоры  $B$ :

$$\sum M_B = 0: \quad -P(l_2 + a) + M + l_2 \cdot V_c = 0,$$

$$-7 \cdot 12,9 + 3 + 11V_c = 0,$$

$$11V_c = 87,3 \text{ кН} \Rightarrow V_c = 7,94 \text{ кН}.$$



Сумма моментов относительно опоры  $C$ :

$$\sum M_C = 0: \quad -V_B l_2 + M - a \cdot P = 0,$$

$$-11V_B = 10,3 \text{ кН} \Rightarrow V_B = -0,94 \text{ кН}.$$

Проверка: сумма проекций всех сил в элементе  $BC$  на ось  $Y$  должна равняться нулю:

$$\sum y = 0: \quad V_C + V_B - P = 0,$$

$$7,94 - 0,94 - 7 = 0,$$

$$7,94 - 7,94 = 0.$$

Следовательно, опорные реакции во второй балке найдены верно.

Для построения эпюры  $Q$ , рассмотрим I и II участки элемента  $BC$ :

участок  $DC$ , сечение I-I;  $0 \leq X_1 \leq 1,9$  м.

Поперечная сила на этом участке:

$$Q_1 = P = 7 \text{ кН}.$$

На эпюре  $Q$  под силой  $P$  в точке  $D$  будет скачок на величину этой силы равной 7 кН.

Изгибающий момент на этом участке будет определяться зависимостью:

$$M = -P \cdot X_1;$$

при  $X_1 = 0$  м:  $M_D = -7 \cdot 0 = 0;$

при  $X_1 = 1,9$  м:  $M_C = -7 \cdot 1,9 = -13,3 \text{ кН} \cdot \text{м}.$

Участок  $CE$ , сечение II-II;  $0 \leq X_2 \leq 9,7$  м:

$$Q = P - V_C = 7 - 7,94 = -0,94 \text{ кН}.$$

Изгибающий момент:

$$M = -P(1,9 + X_2) + V_C \cdot X_2;$$

при  $X_2 = 0$  м:  $M_C = -7(1,9 + 0) + 7,94 \cdot 0 = -13,3 \text{ кН} \cdot \text{м};$

при  $X_2 = 9,7$  м:  $M_E = -7(1,9 + 9,7) + 7,94 \cdot 9,7 = -81,2 + 77,018 = -4,22 \text{ кН} \cdot \text{м}.$

Участок  $EB$ , сечение III-III;  $0 \leq X_3 \leq 1,3$  м:

Поперечная сила:

$$Q = -0,94 \text{ кН}.$$

Изгибающий момент:

$$M = V_B \cdot X_3;$$

при  $X_3 = 0$  м:  $M_B = -0,94 \cdot 0 = 0;$

при  $X_3 = 1,3$  м:  $M_E = -0,94 \cdot 1,3 = -1,22 \text{ кН} \cdot \text{м}.$

Откладываем полученные значения поперечных сил и изгибающих моментов на соответствующих эпюрах (см. рис.3).

Положительная сила  $Q$  в балке откладывается со стороны верхних волокон, отрицательная – со стороны нижних.

Изгибающий момент откладывается со стороны растянутых волокон, т.е. положительный момент откладывается вниз от оси балки. Знак на эпюре  $M$  не ставится.

Рассмотрим расчет основной балки  $AB$  (рис.4):

Давление  $V_B$  на основной элемент  $AB$  в шарнире  $B$  по числовой величине равно реакции  $V_B$ , но направлено в обратную сторону, т.е. вверх.

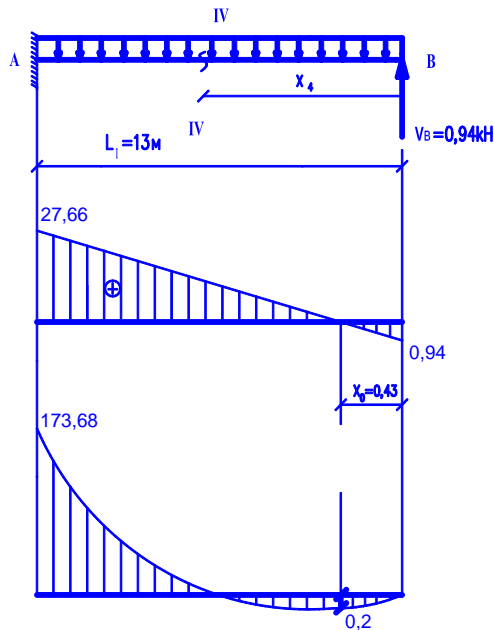


Рис. 4

Вычислим поперечную силу  $Q$  как сумму проекций на вертикальную ось всех сил, расположенных по правую сторону от сечения IV-IV.

Участок  $AB$ , сечение IV-IV;  $0 \leq X_4 \leq 13$  м:

$$Q = -V_B + q \cdot X_4;$$

при  $X_4 = 0$  м:  $Q_B = -0,94$  кН;

при  $X_4 = 13$  м:  $Q_A = -0,94 + 2,2 \cdot 13 = 27,66$  кН.

Изгибающий момент:

$$M = V_B \cdot X_4 - q \cdot X_4 \cdot \frac{X_4}{2};$$

при  $X_4 = 0$  м:  $M_B = 0,94 \cdot 0 - 2,2 \cdot \frac{0^2}{2} = 0;$

при  $X_4 = 13$  м:  $M_A = 0,94 \cdot 13 - 2,2 \cdot \frac{13^2}{2} = 12,22 - 185,9 = -173,68$  кН·м.

Так как на элементе  $AB$  приложена равномерно распределенная нагрузка, эпюра  $M$  ограничена параболой, а эпюра  $Q$  – наклонной прямой.

В сечении, где поперечная сила равна нулю, изгибающий момент имеет максимум ( $M_{\max}$ )

$$Q = -0,94 + 2,2X_0 = 0 \text{ м};$$

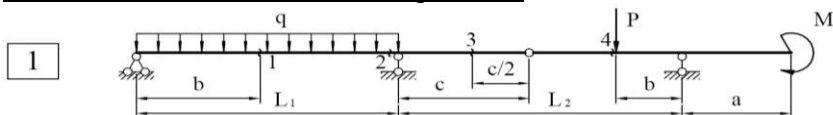
$$2,2X_0 = 0,94 \text{ м.}$$

При  $X_0 = 0,43$  м величина максимального значения изгибающего момента на эпюре  $M$ :

$$\begin{aligned} M_{\max} &= V_B \cdot X_0 - q \cdot \frac{X_0^2}{2} = \\ &= 0,94 \cdot 0,43 - 2,2 \cdot \frac{0,43^2}{2} = 0,404 - 0,203 \approx 0,2 \text{ кН·м.} \end{aligned}$$

Форма отчетности: контрольная работа.

### Задания для самостоятельной работы:



$P=20$  кН,  $q=10$  кН/м,  $M=5$  кНм,  $L_1=6$  м,  $L_2=6$  м,  $a=2$  м,  $b=3$  м,  $c=2$  м.

### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию Проработка лекционного материала.

Основная литература:

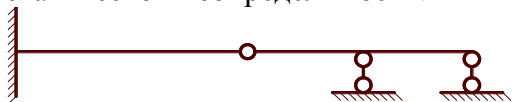
№ 1,3 согласно раздела 7

Дополнительная литература:

№ 4,6,8,9 согласно раздела 7

### Контрольные вопросы для самопроверки:

1. По формуле Чебышева ( $L = C_0 + 2Ш - 3D$ ) верное решение при определении степени статической неопределимости.



- 1)  $L = 1$
- 2)  $L = 0$
- 3)  $L = 3$

2. Принципы образования геометрически неизменяемых систем.
3. Правила знаков для построения эпюр  $Q$  и  $M$ .
4. Правила составления поэтажной схемы в многопролетных шарнирных балках.
5. Проверка правильности построения эпюр.

### Практическое занятие №2 – Расчет плоской статически определимой рамы.

Цель работы: научиться строить эпюры внутренних усилий в статически определимой раме.

Задание: для заданной рамы требуется:

1. Выполнить кинематический анализ и проверить статическую определимость;
2. Построить эпюры внутренних усилий  $M$ ,  $Q$  и  $N$ ;
3. Выполнить проверку правильности построения эпюр.

Порядок выполнения:

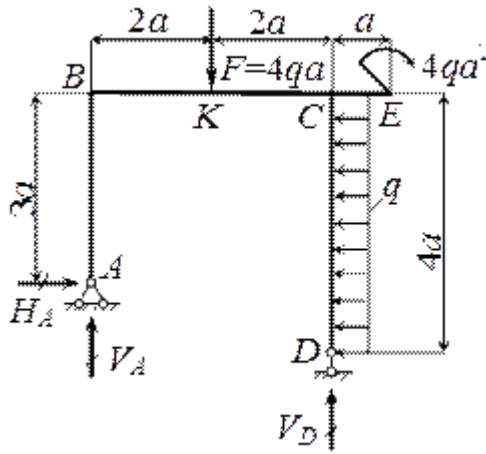


Рис. 1

**Решение.**

1. *Определение опорных реакций.*

Составляем уравнения равновесия:

$$\sum X = 0, H_A = 4qa;$$

$$\sum m_A = 0, V_D \cdot 4a - 4qa^2 + q \cdot 4a \cdot a - F \cdot 4a = 0, \text{ отсюда } V_D = 2qa;$$

$$\sum m_D = 0, -V_A \cdot 4a - H_A \cdot a - 4qa^2 + q \cdot 4a \cdot 2a + F \cdot 2a = 0, \text{ отсюда } V_A = 2qa.$$

Проверка:  $\sum Y = V_A + V_D - F = 0.$

2. *Построение эюр  $N_z, Q_y, M_x.$*

Э п ю р а  $N_z.$  В стойках:  $N_{AB} = -V_A = -2qa, N_{CD} = -V_D = -2qa.$

Ригель BC сжимается силой  $H_A$ , поэтому  $N_{DC} = -H_A = -4qa$ . На консоли CE продольная сила отсутствует, т.е.  $N_{CE} = 0.$

Э п ю р а  $Q_y.$  На участках AB, BC и CE нет погонной нагрузки, поэтому поперечная сила постоянна. В стойке CD поперечная сила изменяется по линейному закону. Вычисляем поперечную силу в характерных точках  $Q_A = -H_A = -4qa, Q_{BK} = V_A = 2qa, Q_{CK} = Q_{BK} - F = -2qa, Q_{CD} = H_A = 4qa, Q_D = 0, Q_E = 0$  и строим эюру  $Q_y.$

Э п ю р а  $M_x.$  В стойке AB изгибающий момент изменяется по линейному закону от  $M_A = 0$  до  $M_B = -H_A \cdot 3a = -12qa^2$  (растяжение с наружной стороны контура). Аналогичный характер имеет эюра  $M_x$  на участках BK и KC.

Находим  $M_K = V_A \cdot 2a - H_A \cdot 3a = -8qa^2$  растяжение снаружи и  $M_{CK} = V_A \cdot 4a - H_A \cdot 3a - F \cdot 2a = -12qa^2.$

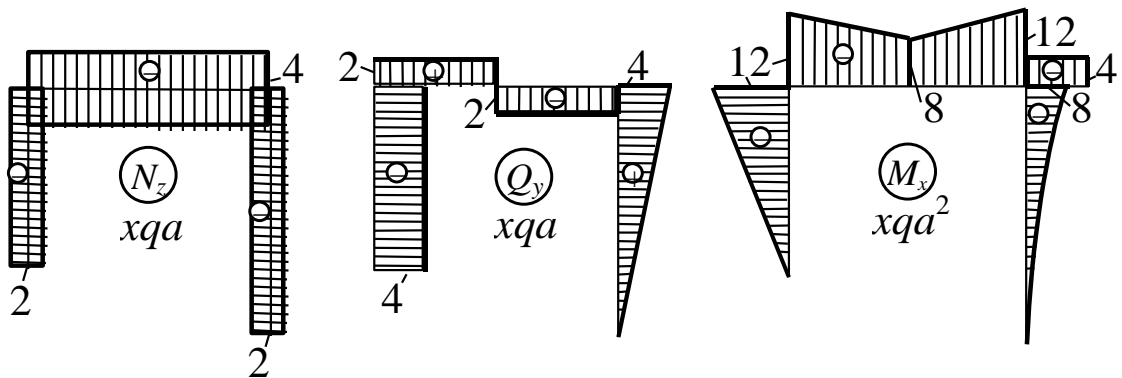


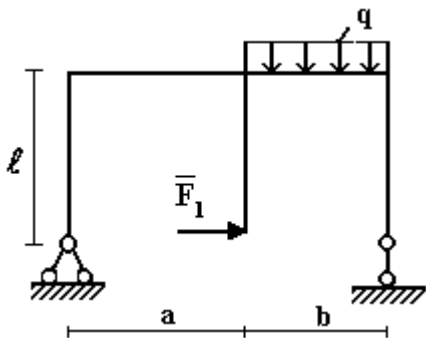
Рис. 2

На консоли CE изгибающий момент постоянен ( $Q_y = 0$ ) и равен  $M_{CE} = -4qa^2$  (растяжение сверху). В стойке CD, загруженной равномерно распределенной нагрузкой, момент изменяется по закону квадратной параболы, обращенной выпуклостью в сторону погонной нагрузки (влево). По условию загрузки на опоре D  $M_D = 0$ , а в сечении C изгибающий момент вычисляем как сумму моментов всех сил, расположенных ниже этого сечения  $M_{CD} = -q \cdot 4a \cdot 2a = -8qa^2$  (растяжение с наружной стороны контура). По двум точкам (C и D) приближенно строим параболу.

Эпюры  $N_z, Q_y$  и  $M_x$  показаны на рис.2.

Форма отчетности: контрольная работа.

Задания для самостоятельной работы:  $q=10$  кН/м,  $F_1=15$  кН,  $l=4$  м,  $a=b=3$  м.



Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию  
Проработка лекционного материала.

Основная литература:

№ 1,3 согласно раздела 7

Дополнительная литература:

№ 4,6,8,9 согласно раздела 7

Контрольные вопросы для самопроверки:

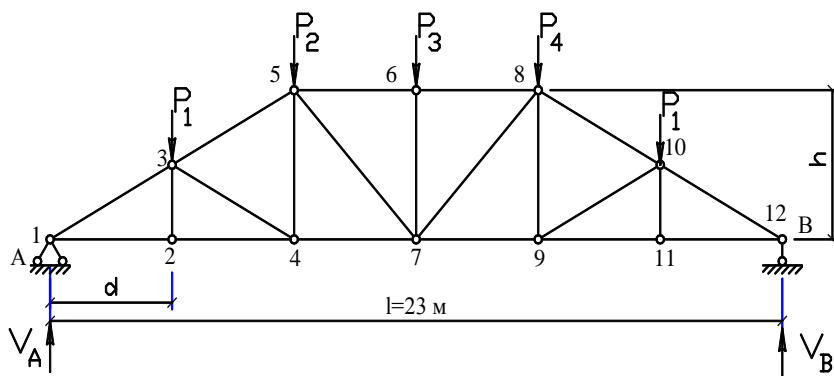
1. Какую конструкцию называют плоской рамой?
2. Как определяют внутренние усилия в плоской раме?
3. Какие правила знаков используют при определении внутренних усилий в плоской раме?

**Практическое занятие №3** – Расчет плоской статически определимой фермы.

Цель работы: научиться определять внутренние усилия в статически определимой ферме.

Задание: для заданной фермы требуется:

1. Методом вырезания узлов определить усилия во всех стержнях фермы.
2. Методом моментных точек или способом проекций определить усилия в стержнях заданной панели.



Дано:

Пролет фермы  $l = 23$  м.

Узловые силы  $P=P_1=P_2=P_3=P_4=P_5 = 1,6$  кН.

Высота фермы  $h = 4,5$  м.

Задана панель № 2 для построения линий влияния усилий.

Ширина панели  $d = 3,83$  м.

Порядок выполнения:

Решение:

*1. Кинематический анализ*

Условие статической определимости ферм, как шарнирно-стержневых систем проверяется по формуле

$$S = 2K - 3,$$

где  $S$  – число стержней фермы;  $K$  – число узлов.

Данная ферма имеет 21 стержень и 12 узлов.

Проверяем условие статической определимости и геометрической неизменяемости сооружения:

$$S = 2K - 3 = 2 \cdot 12 - 3 = 21, \text{ т.е. условие соблюдается.}$$

Окончательно геометрическая неизменяемость фермы подтверждается на основании ее структурного анализа.

На основании простейших правил образования геометрически неизменяемых систем ферма получается путем последовательного присоединения узлов (с помощью двух стержней, не лежащих на одной прямой) к первоначально выделенному шарнирно-стержневому треугольному диску. При сборке диск постепенно укрупняется и таким образом производится сборка всей фермы.

*2. Определение усилий в стержнях фермы  
аналитическим методом*

Определим опорные реакции фермы из условий ее равновесия:

$$\begin{aligned} \sum M = 0; \quad -V_B \cdot l + P_5 \cdot \frac{l \cdot 5}{6} + P_4 \cdot \frac{l \cdot 4}{6} + P_3 \cdot \frac{l \cdot 3}{6} + P_2 \cdot \frac{l \cdot 2}{6} + P_1 \cdot \frac{l}{6} &= 0; \\ -V_B \cdot 23 + \frac{184}{6} + \frac{73,6}{3} + \frac{36,8}{2} + \frac{36,8}{3} + \frac{36,8}{6} &= 0; \\ -V_B \cdot 23 + \frac{184 + 147,2 + 110,4 + 73,6 + 36,8}{6} &= 0; \\ -V_B \cdot 23 = -92 \Rightarrow V_B = 4 \text{ кН.} \end{aligned}$$

Поскольку нагрузки симметричны, то:

$$V_A = V_B = 4 \text{ кН.}$$

Определим внутренние усилия в стержнях заданной панели способом *моментных точек*.

Проведем через данную панель сквозные сечения (рис. 1).

Так как вся ферма представляет собой диск, который соединен с основанием (диском) с помощью трех опорных стержней, которые не параллельны и не пересекаются в одной точке, то вся система геометрически неизменяема и неподвижна относительно основания.

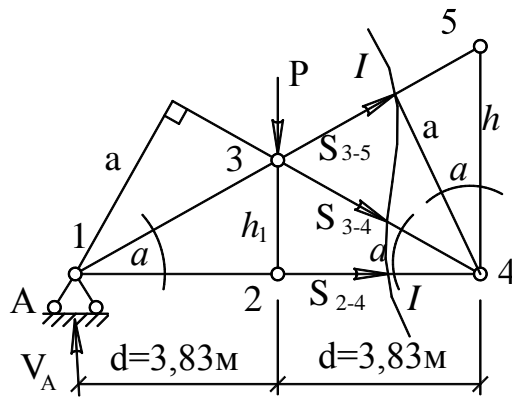


Рис. 1

Определим моментные точки, где попарно пересекаются стержни из рассматриваемой панели. В данном случае получаем следующие моментные точки:

$A$  – точка пересечения стержней 3-5 и 2-4;

$3$  – точка пересечения стержней 3-5 и 3-4;

$4$  – точка пересечения стержней 3-4 и 2-4.

При составлении уравнений равновесия все неизвестные усилия в стержне фермы условно считаются положительными (растягивающими) и направлены от узлов.

Размер панели фермы:

$$P = 1,6 \text{ кН}; h_1 = \frac{1}{2} \cdot h = 2,25 \text{ м}; d = \frac{l}{6} = 3,83 \text{ м}; V_A = 4 \text{ кН}.$$

Найдем усилие в стержне  $S_{2-4}$ :

$$\sum M_3 = V_A \cdot d - S_{2-4} \cdot h_1 = 0;$$

$$4 \cdot 3,83 - S_{2-4} \cdot 2,25 = 0;$$

$$15,32 = S_{2-4} \cdot 2,25 \Rightarrow$$

$S_{2-4} = 6,81 \text{ кН}$  – стержень растянут и усилие в нем направлено от узла.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{2d} = \frac{4,5}{7,66} \approx 0,5874 \Rightarrow \alpha \approx 30^\circ 25';$$

$$\cos \alpha = 0,8617.$$

Усилие в стержне  $S_{3-5}$ :

$$\sum M_4 = V_A \cdot 2d - P \cdot d + S_{3-5} \cdot a = 0.$$

Плечо усилия  $S_{3-5}$ :

$$a = h \cdot \cos \alpha;$$

$$a = 4,5 \cdot 0,8617 = 3,877 \text{ м};$$

$$4 \cdot 2 \cdot 3,83 - 1,6 \cdot 3,83 = -S_{3-5} \cdot 3,877;$$

$$24,51 = -S_{3-5} \cdot 3,877 \Rightarrow$$

$S_{3-5} = -6,32 \text{ кН}$  – отрицательное усилие означает, что оно является сжимающим и направлено к узлу.

Усилие в стержне  $S_{3-4}$  найдем из уравнения:

$$\sum M_A = V_A \cdot 0 + P \cdot d + S_{3-4} \cdot a = 0;$$

$$1,6 \cdot 3,83 = -S_{3-4} \cdot 3,877 \Rightarrow S_{3-4} = -1,58 \text{ кН} \text{ – стержень сжат.}$$

Для определения усилия в стойке 4-5, рассечем ферму сечением II-II, в которое попадают 3 стержня (3-5; 4-5; 4-7).

Сумма моментов всех сил, действующих на левую часть фермы, относительно точки пересечения рассеченных стержней 3-5 и 4-7 (моментная точка A):

$$\sum M_A = V_A \cdot 0 + P \cdot d - S_{4-5} \cdot 2d = 0;$$

$$1,6 \cdot 3,83 = S_{4-5} \cdot 7,66;$$

$$6,128 = S_{4-5} \cdot 7,66 \Rightarrow$$

$S_{4-5} = 0,8 \text{ кН}$  – стержень растянут (направление усилия).

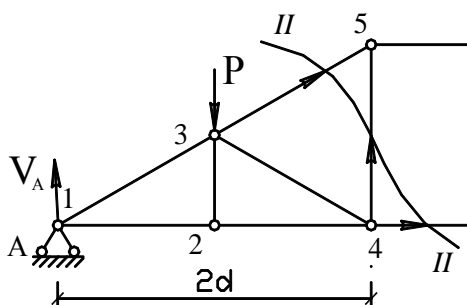


Рис. 2

Усилия в остальных стержнях определим по методу вырезания узлов.

**Узел 1:**

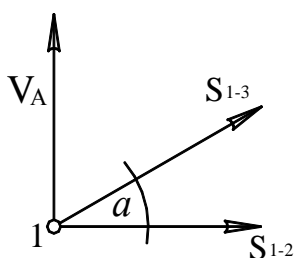


Рис. 3

Условия равновесия в узле:

$$\begin{cases} \sum X = 0 \\ \sum Y = 0 \end{cases}$$

$$\sum Y = V_A + S_{1-3} \cdot \sin \alpha = 0;$$

$$S_{1-3} = -\frac{V_A}{\sin \alpha};$$

$$\sin \alpha = \frac{h_{2-3}}{l_{1-3}} = \frac{2,25}{\sqrt{2,25^2 + (23/6)^2}} = 0,5061 \Rightarrow$$

$S_{1-3} = -\frac{4}{0,5061} = -7,9 \text{ кН}$  – стержень сжат, направлен к узлу.

$$\sum X = 0 \quad S_{1-2} + S_{1-3} \cdot \cos \alpha = 0 \quad S_{1-2} = -S_{1-3} \cdot \cos \alpha;$$



$$\cos \alpha = \frac{l_{1-2}}{l_{1-3}} = \frac{23/6}{\sqrt{2,25^2 + (23/6)^2}} = 0,8624 \Rightarrow$$

$S_{1-2} = 7,9 \cdot 0,8624 = 6,81$  кН – стержень растянут, усилие направлено от узла.

**Узел 2:**

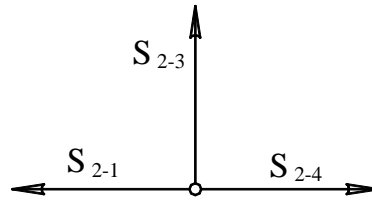


Рис. 4

$$S_{1-2} = S_{2-4} = 6,81 \text{ кН};$$

$$S_{2-3} = ?$$

Если в узле, в котором сходятся три стержня и узел не загружен, два стержня направлены по одной прямой, то усилие в примыкающем стержне равно нулю, т.е.  $S_{2-3} = 0$  ( $\sum Y = 0$ ).

**Узел 4:**

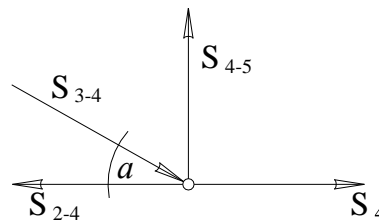


Рис. 5

$$S_{2-4} = 6,81 \text{ кН};$$

$$S_{3-4} = 1,58 \text{ кН};$$

$$S_{4-5} = 0,8 \text{ кН};$$

$$S_{4-7} = ?.$$

$$\sum X = 0; S_{4-7} - S_{2-4} + S_{3-4} \cdot \cos \alpha = 0;$$

$$S_{4-7} = 6,81 - 1,58 \cdot 0,8624 = 5,447 \text{ кН} \text{ – стержень растянут.}$$

**Узел 5:**

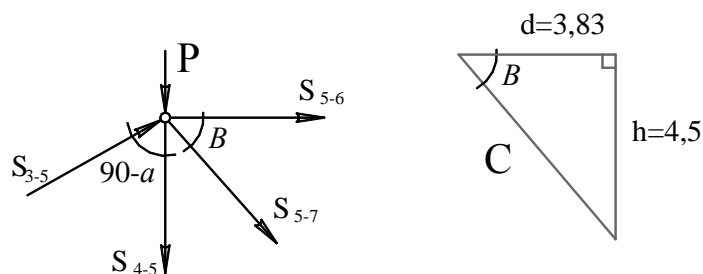


Рис. 6

По теореме Пифагора:  $a^2 + b^2 = c^2$ ;

$$3,83^2 + 4,5^2 = 34,92 ;$$

$$c = 5,9 \text{ м}; \quad \sin \beta = \frac{4,5}{5,9} = 0,762 ; \quad \cos \beta = \frac{3,83}{5,9} = 0,649 ;$$

$$S_{3-5} = 6,32 \text{ кН}; \quad S_{4-5} = 0,8 \text{ кН} .$$

Записываем систему уравнений:

$$\begin{cases} \sum X = 0, \\ \sum Y = 0, \end{cases}$$

$$\begin{cases} S_{5-6} + S_{5-7} \cdot \cos \beta + S_{3-5} \cdot \cos \alpha = 0, & \begin{cases} S_{5-6} + S_{5-7} \cdot 0,649 = -5,45, \\ -P - S_{4-5} - S_{5-7} \cdot \sin \beta + S_{3-5} \cdot \sin \alpha = 0, \end{cases} \\ -P - S_{4-5} - S_{5-7} \cdot \sin \beta + S_{3-5} \cdot \sin \alpha = 0, & \begin{cases} -S_{5-7} \cdot 0,762 = -3,198 + 1,6 + 0,8, \\ -1,6 - 0,8 - S_{5-7} \cdot 0,762 = -3,198; \end{cases} \end{cases}$$

$$-1,6 - 0,8 - S_{5-7} \cdot 0,762 = -3,198 ;$$

$$-S_{5-7} \cdot 0,762 = -0,798 \Rightarrow$$

$$S_{5-7} = 1,04 \text{ кН} - \text{ стержень растянут} .$$

Подставляем значение усилия  $S_{5-7} = 1,04 \text{ кН}$  в уравнение (\*):

$$S_{5-6} + 1,04 \cdot 0,649 = -5,45 ;$$

$$S_{5-6} = -5,45 - 0,67 \Rightarrow$$

$$S_{5-6} = -6,12 \text{ кН} - \text{ стержень сжат} .$$

**Узел 6:**

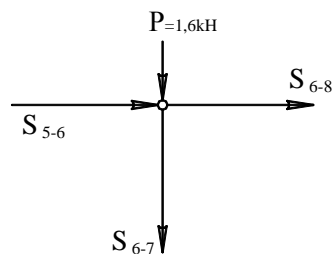


Рис. 7

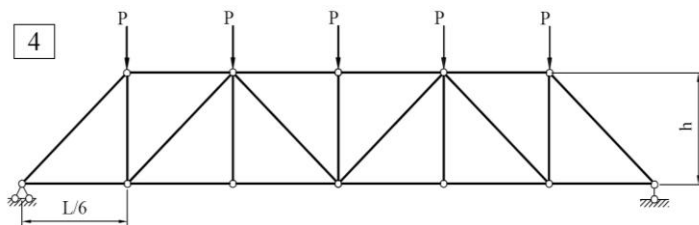
Так как 2 стержня (5-6 и 6-8) направлены по одной прямой, а по линии примыкающего стержня (6-7) приложена сила  $P$ , то усилие примыкающего стержня равно значению приложенной силы с обратным знаком.

$$S_{6-7} = -1,6 \text{ кН} - \text{ стержень сжат};$$

$$S_{6-8} = -S_{5-6} = -6,12 \text{ кН} - \text{ стержень сжат} .$$

Форма отчетности: контрольная работа.

Задания для самостоятельной работы:  $P=10 \text{ кН}$ ,  $h=4 \text{ м}$ ,  $L= 18 \text{ м}$ .



Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию  
Проработка лекционного материала.

Основная литература:

№ 1,3 согласно раздела 7

Дополнительная литература:

№ 4,6,8,9 согласно раздела 7

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Последовательность расчета фермы методом вырезания узлов. Достоинства и недостатки метода.
2. Последовательность расчета фермы методом моментных точек (методом проекций).
3. Частные случаи определения усилий в стержнях фермы.
4. Классификация ферм.

**Практическое занятие №4** – Расчет статически неопределимой рамы методом сил.

Цель работы: научиться строить эпюры внутренних усилий в статически неопределимой раме.

Задание: Для заданной рамы (рис. 1) требуется построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил; проверить правильность построения эпюр.

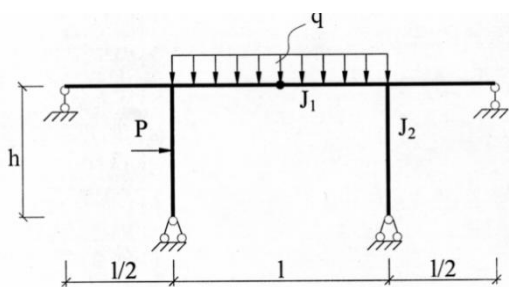


Рис. 1

Дано:

$$P = 4 \text{ кН}$$

$$l = 13 \text{ м}$$

$$q = 2 \text{ кН/м}$$

$$h = 4 \text{ м}$$

$$J_1 : J_2 = 3 : 2$$

$$J_1 = 1,5J;$$

$$J_2 = J$$

Порядок выполнения:

Решение:

*Определение степени статической  
неопределимости системы*

Число лишних связей, которое определяет степень статической неопределимости системы, принимая  $C_{оп} = 6$ ;  $\Pi = 1$ ;  $D = 2$ . Итак,  $L = 6 + 2 \cdot 1 - 3 \cdot 2 = 2$ . Отсюда следует, что данная система два раза статически неопределима.

*Выбор основной системы метода сил*

Основная система рамы при расчете методом сил показана на рис. 2, а.

Составим систему из двух канонических уравнений метода сил, которые выражают перемещения по направлению отброшенных связей:

$$\begin{cases} X_1 \cdot \delta_{11} + X_2 \cdot \delta_{12} + \Delta_{1P} = 0, \\ \dots \end{cases}$$

$$X_1 \cdot \delta_{21} + X_2 \cdot \delta_{22} + \Delta_{2p} = 0,$$

Для определения коэффициентов  $\delta_{ij}$  и свободных членов  $\Delta_{ip}$  системы канонических уравнений рассмотрим следующие состояния основной системы: 1-е состояние от  $X_1 = 1$ ; 2-е состояние от  $X_2 = 1$ ; 3-е состояние от действующей нагрузки.

Построим эпюры изгибающих моментов для каждого из этих состояний.

Находим реакции опор в 1-ом состоянии от  $X_1=1$ :

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0: \quad & V_F \cdot 6,5 - X_1 \cdot 4 = 0, \\ & V_F \cdot 6,5 = 4 \Rightarrow V_F = 0,615 \text{ кН}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_F = 0: \quad & -V_A \cdot 6,5 - H_A \cdot 4 = 0, \\ & -V_A \cdot 6,5 = 4 \Rightarrow V_A = -0,615 \text{ кН}; \\ & V_K = V_F = 0,615 \text{ кН}; V_B = V_A = -0,615 \text{ кН} \end{aligned}$$

(ввиду симметрии системы и действующей нагрузки).

Построение эпюры  $\bar{M}_1$  (рис. 8.2, б):

участок  $FD$ , сечение I-I,  $0 \leq X_1 \leq 6,5$  м:

$$\begin{aligned} M = V_F \cdot X_1: \quad & M_F(X_1 = 0) = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}; \\ & M_D(X_1 = 6,5) = 0,615 \cdot 6,5 = 4 \text{ кН}\cdot\text{м}; \end{aligned}$$

участок  $AD$ , сечение II-II,  $0 \leq X_2 \leq 4$  м:

$$\begin{aligned} M_A(X_2 = 0) &= 0 \text{ кН}\cdot\text{м}; \\ M_D(X_2 = 4) &= -1 \cdot 4 = -4 \text{ кН}\cdot\text{м}. \end{aligned}$$

Находим реакции опор во втором состоянии от  $X_2 = 1$ :

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0: \quad & V_F \cdot 6,5 - X_2 \cdot 6,5 = 0, \\ & V_F \cdot 6,5 = 6,5 \Rightarrow V_F = 1 \text{ кН}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_F = 0: \quad & -V_A \cdot 6,5 - X_2 \cdot 13 = 0, \\ & -V_A \cdot 6,5 = 13 \Rightarrow V_A = -2 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Построение эпюры  $\bar{M}_2$  (рис. 8.2, в):

участок  $FD$ , сечение I-I,  $0 \leq X_1 \leq 6,5$  м:

$$\begin{aligned} M = V_F \cdot X: \quad & M_F(X_1 = 0) = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}; \\ & M_D(X_1 = 6,5) = 1 \cdot 6,5 = 6,5 \text{ кН}\cdot\text{м}; \end{aligned}$$

участок  $EC$ , сечение III-III,  $0 \leq X_3 \leq 6,5$  м:

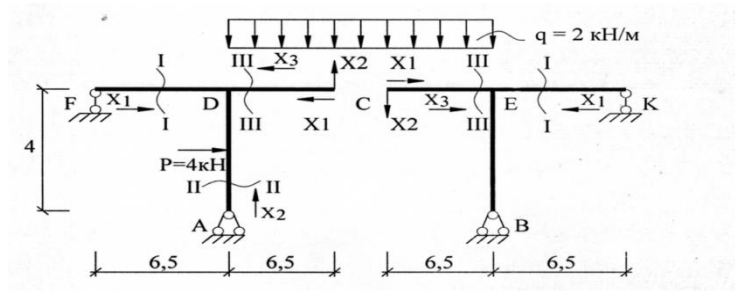
$$\begin{aligned} M = -X_3 \cdot X_2: \quad & M_C(X_3 = 0) = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}; \\ & M_E(X_3 = 6,5) = -1 \cdot 6,5 = -6,5 \text{ кН}\cdot\text{м}; \end{aligned}$$

участок  $CD$ , сечение III-III,  $0 \leq X_3 \leq 6,5$  м:

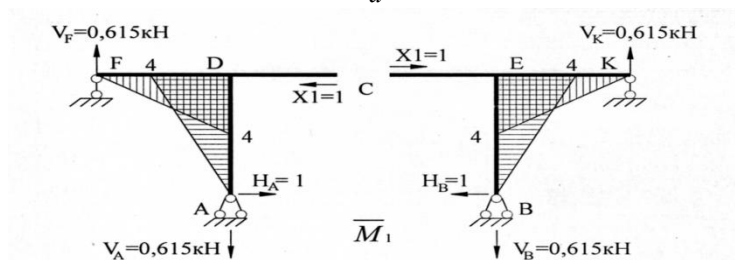
$$\begin{aligned} M = X_2 \cdot X_3: \quad & M_C(X = 0) = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}; \\ & M_D(X = 6,5) = 1 \cdot 6,5 = 6,5 \text{ кН}\cdot\text{м}; \end{aligned}$$

участок  $EK$ , сечение I-I,  $0 \leq X_1 \leq 6,5$  м:

$$\begin{aligned} M = -V_K \cdot X_1: \quad & M_K(X_1 = 0) = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}; \\ & M_E(X_1 = 6,5) = -1 \cdot 6,5 = -6,5 \text{ кН}\cdot\text{м}. \end{aligned}$$



a



б

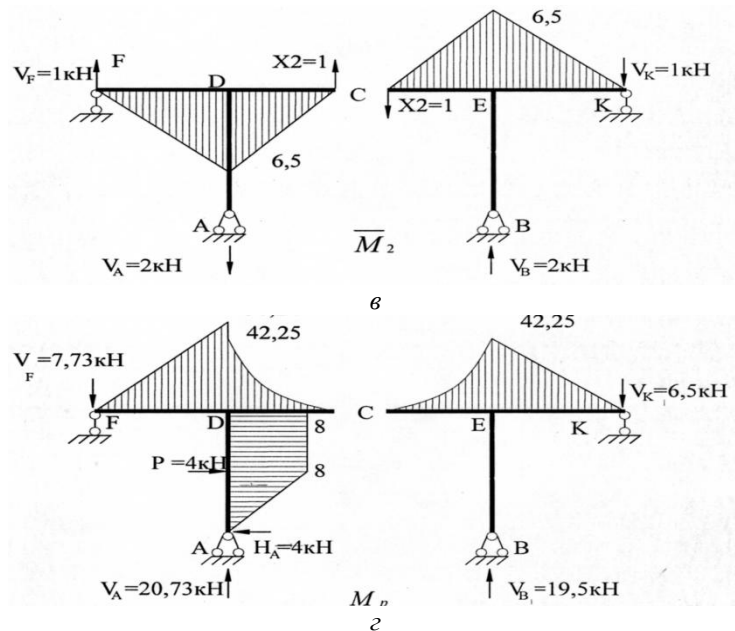


Рис. 2

Находим реакции в опорах в третьем состоянии (от нагрузки):

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0: \quad & V_F \cdot 6,5 + q \cdot \frac{6,5^2}{2} + P \cdot 2 = 0, \\ & V_F \cdot 6,5 = -6,5^2 - 8, \\ & V_F \cdot 6,5 = -50,24 \Rightarrow V_F = -7,73 \text{ кН}; \\ \sum M_F = 0: \quad & -V_A \cdot 6,5 + q \cdot 6,5 \left( \frac{6,5}{2} + 6,5 \right) + P \cdot 2 = 0, \\ & -V_A \cdot 6,5 = -126,75 - 8, \\ & -V_A \cdot 6,5 = -134,75 \Rightarrow V_A = 20,73 \text{ кН}; \\ \sum M_B = 0: \quad & V_K \cdot 6,5 + q \cdot \frac{6,5^2}{2} = 0, \\ & V_K \cdot 6,5 = -42,25 \Rightarrow V_K = -6,5 \text{ кН}; \\ \sum M_K = 0: \quad & -V_B \cdot 6,5 + q \cdot 6,5 \left( \frac{6,5}{2} + 6,5 \right) = 0, \\ & -V_B \cdot 6,5 = -126,75 \Rightarrow V_B = 19,5 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Находим реакцию  $H_A$  из уравнения моментов относительно шарнира C:

$$\begin{aligned} \sum M_C = V_A \cdot 6,5 - H_A \cdot 4 - P \cdot 2 - V_F \cdot 13 - q \cdot 6,5 \cdot 3,25 &= 0, \\ 20,73 \cdot 6,5 - H_A \cdot 4 - 4 \cdot 2 - 7,73 \cdot 13 - 2 \cdot \frac{6,5^2}{2} &= 0, \\ 134,74 - H_A \cdot 4 - 8 - 100,49 - 42,25 &= 0, \\ -H_A \cdot 4 = 8 + 100,49 + 42,25 - 134,74 \Rightarrow H_A &= -4 \text{ кН}, \\ H_A &= 0. \end{aligned}$$

Построение эпюры изгибающих моментов  $M_p$  (рис 8.2, з)

участок FD: сечение I-I,  $0 \leq X_1 \leq 6,5$  м:

$$\begin{aligned} M = -V_F \cdot X: \quad M_F(X_1 = 0) &= 0 \text{ кН}\cdot\text{м}; \\ M_D(X_1 = 6,5) &= -7,73 \cdot 6,5 = -50,24 \text{ кН}\cdot\text{м}; \end{aligned}$$

участок DC: сечение III-III,  $0 \leq X_3 \leq 6,5$  м:

$$\begin{aligned} M = -q \cdot \frac{X^2}{2}: \quad M_C(X_3 = 0) &= 0 \text{ кН}\cdot\text{м}; \\ M_D(X_3 = 6,5) &= \frac{-2 \cdot 6,5^2}{2} = -42,25 \text{ кН}\cdot\text{м}; \end{aligned}$$

участок AP: сечение I-I,  $0 \leq X_1 \leq 2$  м:

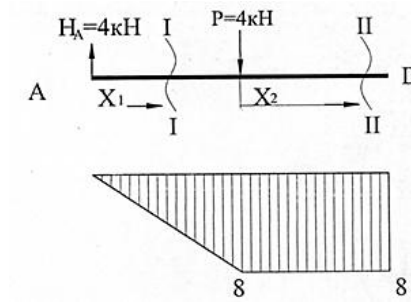
$$M = H_A \cdot X_1: \quad M_A(X_1 = 0) = 0 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_P(X_1 = 2) = 4 \cdot 2 = 8 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

участок PD: сечение II-II,  $0 \leq X_2 \leq 2$  м:

$$M = H_A(2 + X_2) - PX_2: \quad M_P(X_2 = 0) = 4 \cdot 2 = 8 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_D(X_2 = 2) = 4 \cdot 4 - 4 \cdot 2 = 8 \text{ кН}\cdot\text{м};$$



участок CE: сечение III-III,  $0 \leq X_3 \leq 6,5$  м:

$$M = -q \cdot \frac{X^2}{2}: \quad M_C(X_3 = 0) = 0 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_E(X_3 = 6,5) = -2 \cdot \frac{6,5^2}{2} = -42,25 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

участок KE: сечение I-I,  $0 \leq X_1 \leq 6,5$  м:

$$M = -V_K \cdot X_1: \quad M_K(X_1 = 0) = 0 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

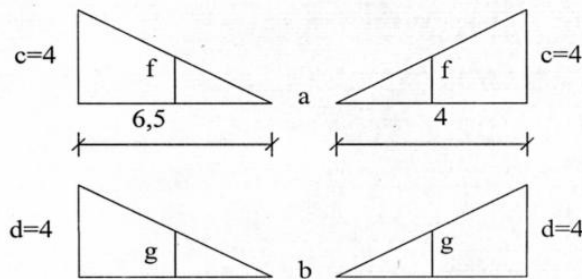
$$M_E(X_1 = 6,5) = -6,5 \cdot 6,5 = -42,25 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

### Определение коэффициентов $\delta_{ij}$ и свободных членов $\Delta_{ip}$ системы канонических уравнений

Определение перемещений производим по правилу Верещагина или формуле Симпсона

$$\Delta_{ip} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{6(EJ)_i} (ab + 4fg + cd),$$

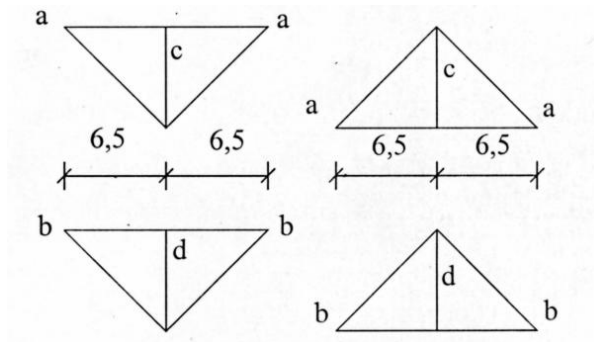
$$\begin{aligned} \delta_{11} &= \frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_1}{EJ} = \frac{2 \cdot 6,5}{6EJ_1} (0 + 4 \cdot 2 \cdot 2 + 4 \cdot 4) + \frac{2 \cdot 4}{6EJ_2} (0 + 4 \cdot 2 \cdot 2 + 4 \cdot 4) = \\ &= \frac{208}{3EJ_1} + \frac{128}{3EJ}. \end{aligned}$$



Учитывая, что  $J_1 = \frac{3}{2}J$ , получаем

$$\delta_{11} = \frac{208}{3 \cdot \frac{3}{2} EJ} + \frac{128}{3EJ} = \frac{416}{9EJ} + \frac{128}{3EJ} = \frac{800}{9EJ}.$$

На основании теоремы о взаимности перемещений получаем,  $\delta_{12} = \delta_{21} = 0$ .



Перемещение  $\delta_{22} = \frac{\overline{M}_2 \cdot \overline{M}_2}{EJ}$ , при этом  $a = 0; b = 0; c = 6,5;$   
 $d = 6,5; f = 3,25; g = 3,25$

$$\delta_{22} = \frac{2 \cdot 6,5}{6EJ_1} (0 + 4 \cdot 3,25 \cdot 3,25 + 6,5 \cdot 6,5) +$$

$$+ \frac{2 \cdot 6,5}{6EJ_1} (0 + 4 \cdot 3,25 \cdot 3,25 + 6,5 \cdot 6,5) = \frac{1098,5}{3EJ_1}$$

Учитывая, что  $J_1 = \frac{3}{2} J$ , получаем  $\delta_{22} = \frac{1098,5}{3 \cdot \frac{3}{2} EJ} = \frac{2197}{9EJ}$ .

Коэффициент  $\delta_{11}$  представляет собой перемещение в основной системе по направлению  $X_1$ , вызванное действием силы  $X_1 = 1$ . Коэффициент  $\delta_{22}$  – перемещение в основной системе по направлению второй связи  $X_2$ , вызванное действием силы  $X_2 = 1$ .

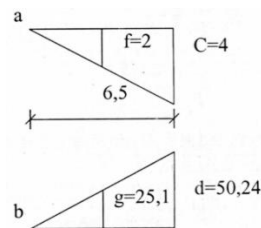
Определим перемещение  $\Delta_{1P}$  по направлению первой связи от заданной нагрузки:

$$\Delta_{1P} = \frac{M_P \cdot \overline{M}_1}{EJ}$$

$$\Delta_{1P}(DF) = \frac{6,5}{6EJ_1} (0 + 4 \cdot 2 \cdot (-25,12) +$$

$$+ 4 \cdot (-50,24)) = \frac{6,5}{6EJ_1} \cdot (-401,92) =$$

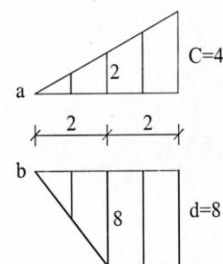
$$= -\frac{2612,48}{6EJ_1} = -\frac{2612,48}{9EJ}$$



$$\Delta_{1P}(AD) = \frac{2}{6EJ_2} (0 + 4 \cdot (-1) \cdot 4 + (-2) \cdot 8) +$$

$$+ \frac{2}{6EJ_2} (-2 \cdot 8 + 4 \cdot (-3) \cdot 8 + (-4) \cdot 8) =$$

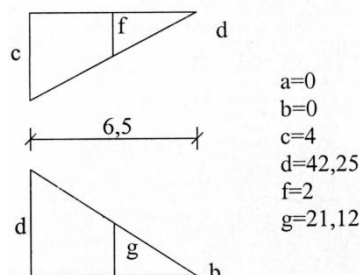
$$= \frac{1}{3EJ} \cdot (-32) + \frac{1}{3EJ} \cdot (-144) = -\frac{176}{3EJ}$$



$$\Delta_{1P}(DC) = 0,$$

$$\Delta_{1P}(KE) = \frac{6,5}{6EJ_1} (0 + 4 \cdot 2 \cdot (-21,125) +$$

$$+ 4 \cdot (-42,25)) = -\frac{2197}{6EJ_1}$$



Так как  $J_1 = \frac{3}{2} J$ ,  $-\frac{2197}{6 \cdot \frac{3}{2} EJ} = -\frac{2197}{9EJ}$ .

Суммируем результаты перемножения эпюр на трех участках:

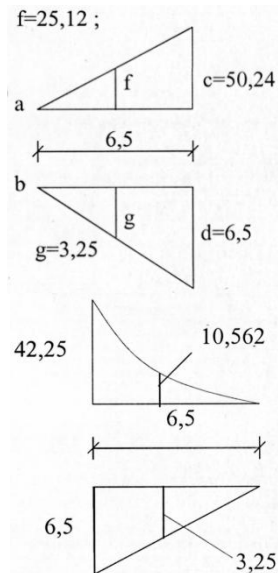
$$\Delta_{1P} = \frac{-2612,48}{9EJ} - \frac{176}{3EJ} - \frac{2197}{9EJ} = -\frac{5337,48}{9EJ}.$$

Определяем  $\Delta_{2P}$  – перемещение по направлению второй связи, вызванное действием заданной нагрузки:

$$\Delta_{2P} = \frac{M_P \cdot \bar{M}_2}{EJ}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{2P}(DF) &= \frac{6,5}{6EJ_1} (0 + 4 \cdot 3,25 \cdot (-25,12) + \\ &+ 6,5 \cdot (-50,24)) = \frac{6,5}{6EJ_1} (-653,12) = \\ &= -\frac{4245,28}{6EJ_1}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{2P}(DC) &= \frac{-6,5}{6EJ_1} (42,25 \cdot 6,5 + \\ &+ 4 \cdot 10,562 \cdot 3,25 + 0) = -\frac{892,52}{3EJ}. \end{aligned}$$

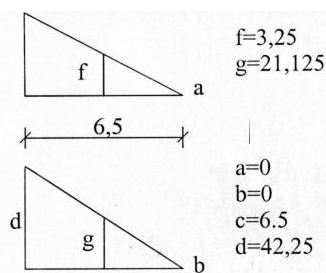


$\Delta_{2P}(CE)$ : на этом участке перемещение равно перемещению на участке  $DC$ , только с противоположным знаком, т.е.:

$$\Delta_{2P}(CE) = \frac{892,52}{3EJ}, \quad \Delta_{2P}(EK) = \frac{6,5}{6EJ_1} (0 + 4 \cdot 3,25 \cdot 21,125 + 6,5 \cdot 42,25) = \frac{3570,125}{6EJ_1}.$$

Учитывая  $J_1 = \frac{3}{2}J$ , получаем

$$\Delta_{2P}(EK) = \frac{3570,125}{9EJ}.$$



Суммируем результат перемножения эпюр на каждом участке:

$$\Delta_{2P} = \frac{4245,28}{9EJ} - \frac{892,52}{3EJ} + \frac{892,52}{3EJ} + \frac{3570,125}{9EJ} = -\frac{675,155}{9EJ}.$$

*Проверка правильности определения коэффициентов и свободных членов системы канонических уравнений*

Построим суммарную единичную эпюру моментов  $\bar{M}_S$

(рис. 3):  $\bar{M}_S = \bar{M}_1 + \bar{M}_2$ .

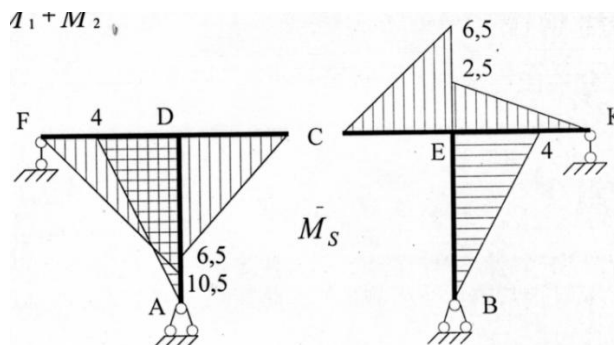


Рис. 3

Умножим суммарную эпюру  $\bar{M}_S$ , поочередно на каждую из единичных эпюр. В результате получим суммарные значения коэффициентов  $\delta_{ij}$  для каждой строки канонических уравнений, т.е.:

$$\sum \delta_{1j} = \frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_S}{EJ}; \quad \sum \delta_{2j} = \frac{\bar{M}_2 \cdot \bar{M}_S}{EJ};$$



$$\frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_s}{EJ} = \frac{546}{9EJ} - \frac{130}{9EJ} + \frac{128}{3EJ} = \frac{546 - 130 + 384}{9EJ} = \frac{800}{9EJ};$$

$$\sum \delta_{1j} = \delta_{11} + \delta_{22} = \frac{800}{9EJ} + 0 = \frac{800}{9EJ};$$

т.е. коэффициенты  $\delta_{1j}$  первой строки найдены верно;

$$\frac{\bar{M}_2 \cdot \bar{M}_s}{EJ} = \frac{887.25}{9EJ} + \frac{211.25}{9EJ} + \frac{1098.5}{9EJ} = \frac{2197}{9EJ},$$

$$\sum \delta_{2j} = \delta_{21} + \delta_{22} = 0 + \frac{2197}{9EJ} = \frac{2197}{9EJ},$$

$$\sum \delta_{2j} = \frac{\bar{M}_2 \cdot \bar{M}_s}{EJ};$$

$$\frac{2197}{9EJ} = \frac{2197}{9EJ},$$

следовательно, коэффициенты  $\delta_{2j}$  второй строки системы канонических уравнений определены верно. Далее осуществляем проверку свободных членов:

$$\sum \Delta_{ip} = \frac{M_p \cdot \bar{M}_s}{EJ} = -\frac{6012,635}{9EJ}.$$

Сложим результаты перемножений эпюр на каждом участке:

$$\Delta_{1p} + \Delta_{2p} = -\frac{5337,48}{9EJ} - \frac{675,155}{9EJ} = -\frac{6012,635}{9EJ}.$$

Отсюда следует, что коэффициенты и свободные члены системы канонических уравнений определены верно.

#### *Определение неизвестных усилий $X_1$ , $X_2$ и построение итоговой эпюры $M$*

После определения коэффициентов  $\delta_{11}$ ,  $\delta_{12}$ ,  $\delta_{21}$ ,  $\delta_{22}$  и свободных членов  $\Delta_{1p}$  и  $\Delta_{2p}$  решаем систему канонических уравнений и находим  $X_1$  и  $X_2$ :

$$X_1 \frac{800}{9EJ} = \frac{5337,48}{9EJ} \Rightarrow X_1 = \frac{5337,48}{9EJ} \cdot \frac{9EJ}{800} = 6,672 \text{ кН};$$

$$X_2 \frac{2197}{9EJ} = \frac{675,155}{9EJ} \Rightarrow X_2 = \frac{675,155}{9EJ} \cdot \frac{9EJ}{2197} = 0,307 \text{ кН}.$$

Затем с использованием принципа независимости действия сил строим итоговую (окончательную) эпюру моментов

$$M = \bar{M}_p + \bar{M}_1 \cdot X_1 + \bar{M}_2 \cdot X_2.$$

Для построения эпюры  $\bar{M}_1 \cdot X_1$  (рис. 4) умножим все ординаты эпюры  $\bar{M}_1$  на  $X_1 = 6,672$ .

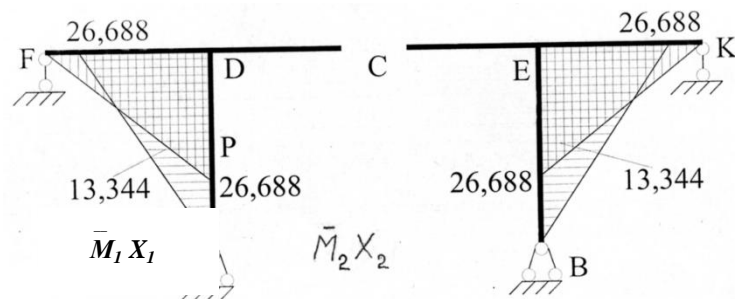


Рис. 4

Для построения эпюры  $\bar{M}_2 \cdot X_2$  (рис. 5) умножим все ординаты эпюры  $\bar{M}_2$  на  $X_2 = 0,307$ .

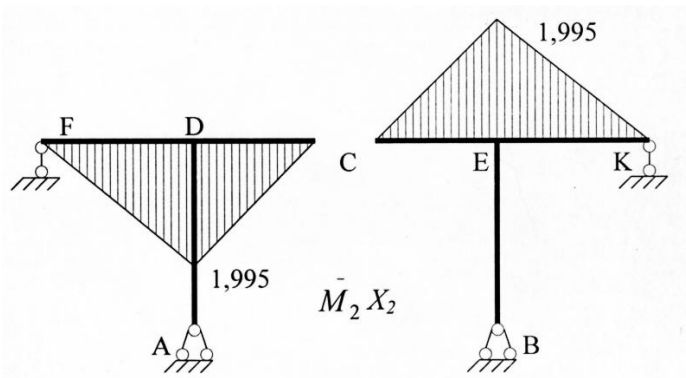


Рис. 5

Для построения итоговой эпюры  $M$  сложим все ординаты эпюр  $\bar{M}_1 \cdot X_1$ ;  $\bar{M}_2 \cdot X_2$  и  $M_p$  на соответствующих участках.

Для рассмотренной рамы (рис 6, а) итоговая эпюра изгибающих моментов показана на рис. 6, б.

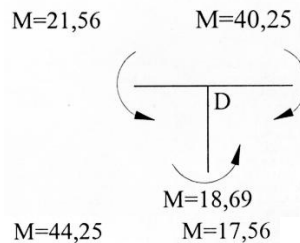
### Проверка правильности построения эпюры моментов

Статическая проверка итоговой эпюры  $M$  производится путем вырезания жестких узлов и проверки их равновесия:

а) вырезаем узел  $D$ :

$$\sum M = 0; 40,25 - 21,56 - 18,69 = 0$$

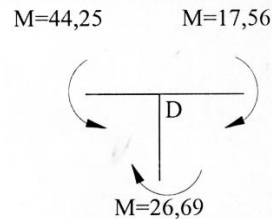
$$0 = 0;$$



б) вырезаем узел  $E$ :

$$\sum M = 0; -44,25 + 17,56 + 26,69 = 0$$

$$0 = 0.$$



Кинематическая проверка (деформационная) заключается в определении обобщенного перемещения по направлению отброшенных связей, которое должно равняться нулю:

$$\Delta_{12} = \frac{M \cdot \bar{M}_s}{EJ} \approx 0.$$

Перемножаем эпюры  $M$  и  $\bar{M}_s$  на каждом участке, суммируем результаты перемножений на всех участках:

$$\Delta = \frac{M \cdot \bar{M}_s}{EJ} = -\frac{2942,94}{9EJ} - \frac{2508,383}{9EJ} + \frac{501,96}{6EJ} + \frac{2846,213}{9EJ} +$$

$$+ \frac{570,7}{9EJ} + \frac{854,08}{6EJ} = -\frac{5451,32}{9EJ} + \frac{5450,97}{9EJ} = -\frac{0,35}{9EJ} \approx 0.$$

Определяем точность вычислений по формулам

$$\Delta = \frac{M \cdot \bar{M}_s}{EJ} = A + (-B);$$

$$\varepsilon = \frac{|A + (-B)|}{|A|_{\min}} \leq 0,001,$$

где  $|A|_{\min}$  – минимальное положительное или отрицательное число по модулю;  $\varepsilon$  – ошибка вычислений, должна быть меньше 0,001:

$$|A|_{\min} = \frac{5450,97}{9EJ},$$

$$\varepsilon = \frac{0,35}{9EJ} \cdot \frac{5450,97}{9EJ} = \frac{0,35}{9EJ} \cdot \frac{9EJ}{5450,97} = 0,000064.$$

Ошибка вычислений  $\varepsilon = 0,000064 < 0,001$ , значит эпюра  $M$  построена верно.

### 8.8. Построение эпюры поперечных сил $Q$

Эпюру  $Q$  строим по формуле Журавского

$$Q_x = Q_x^0 + (M_{\text{пр}} - M_{\text{лев}}) / l,$$

где  $Q_x^0$  – балочная поперечная сила на данном участке рамы.

Участок AD:

$$M_{\text{пр}} = -18,69 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_{\text{лев}} = 0;$$

$$\frac{-18,69 - 0}{4} = -4,672 \text{ кН};$$

$$Q_A = 2 - 4,672 = -2,672 \text{ кН},$$

$$Q_P = 2 - 4,672 = -2,672 \text{ кН},$$

$$Q_D = -2 - 4,672 = -6,672 \text{ кН}.$$

Участок DF:

$$(M_{\text{пр}} - M_{\text{лев}}) / l = \frac{-21,56 - 0}{6,5} = -3,316 \text{ кН}.$$

Так как на участке DF нет никакой нагрузки, то на эпюре  $Q$  значение поперечных сил равно  $-3,316$  кН:

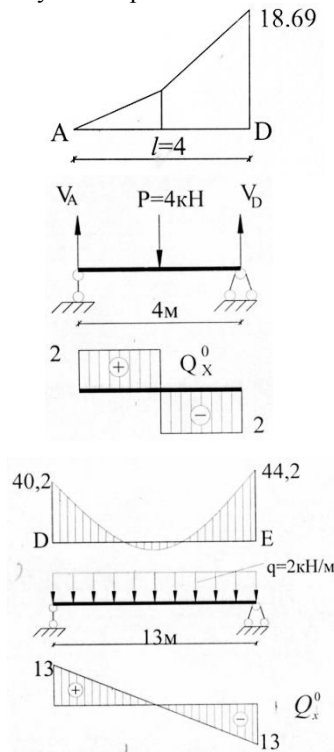
$$Q = -3,316 \text{ кН (const)}.$$

Участок DE:

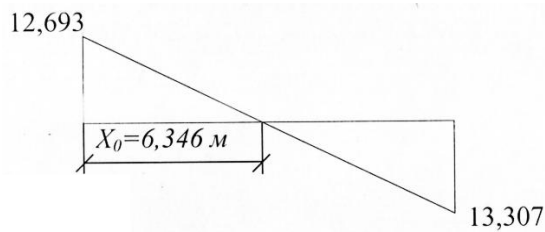
$$(M_{\text{пр}} - M_{\text{лев}}) / l = \frac{-44,25 - (-40,25)}{13} = -0,307 \text{ кН},$$

$$Q_D = 13 - 0,307 = 12,693 \text{ кН};$$

$$Q_E = -13 - 0,307 = -13,307 \text{ кН}.$$



На участке DC эпюра поперечных сил  $Q$  имеет вид



Из подобия треугольников найдем координату  $X_0$  для сечения, в котором  $Q = 0$ ,  $X_0 = 6,396$  м. В этом сечении на эпюре  $M$  будет экстремальное значение момента:  $M_{\text{max}} = 0,023$  кН·м.

Участок EK:

$Q_x^0 = 0$ , так как на этом участке нет нагрузки.

$$Q_x = Q_x^0 + ((M_{\text{пр}} - M_{\text{лев}}) / l) = 0 + \frac{0 - (-17,56)}{6,5} = 2,702 \text{ кН (const)}.$$

Участок BE:

$$Q_x^0 = 0;$$

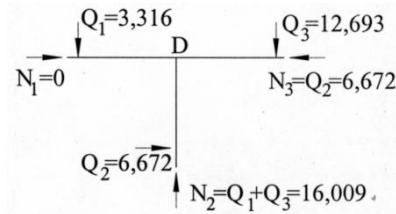
$$Q_x = Q_x^0 + ((M_{\text{пр}} - M_{\text{лев}}) / l) = 0 + \frac{0 - (-26,69)}{4} = 6,672 \text{ кН (const)}.$$

Эпюра поперечных сил  $Q$  показана на рис. 8.6, в.

### Построение эпюры продольных сил $N$

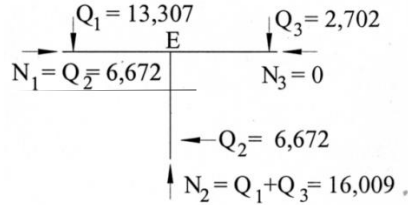
Эпюру  $N$  получаем из условия равновесия узлов эпюры поперечных сил  $Q$ . Вырезаем узел D и выполняем проверку его равновесия, принимая

$$\begin{aligned} \sum X = 0; Q_2 + N_1 - N_3 &= \\ &= 6,672 + 0 - 6,672 = 0, \\ \sum Y = 0; N_2 - Q_1 - Q_3 &= \\ &= 16,009 - 3,316 - 12,693 = 0. \end{aligned}$$

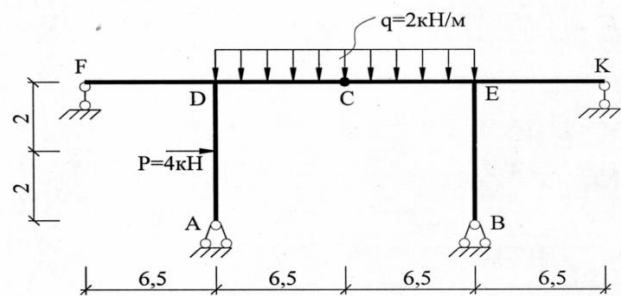


Продольные силы  $N_2$  и  $N_3$  отрицательны т.к. вызывают сжатие. Вырезаем узел  $E$  и выполняем проверку его равновесия:

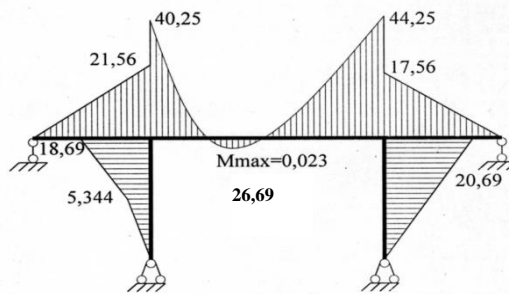
$$\begin{aligned} \sum X = 0; N_1 - N_3 - Q_2 &= \\ &= 6,672 - 0 - 6,672 = 0, \\ \sum Y = 0; Q_1 + Q_3 - N_2 &= \\ &= 13,307 + 2,702 - 16,009 = 0. \end{aligned}$$



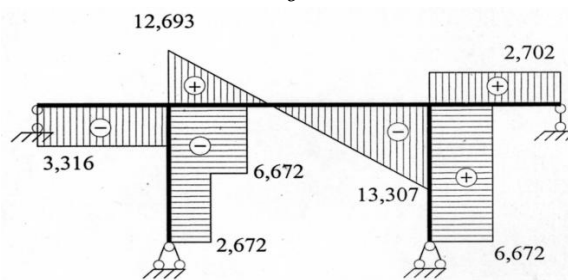
Силы  $N_1$ ,  $N_2$  сжимающие, т.е. на опоре  $N$  (рис. 6,  $z$ ) ставим для этих элементов отрицательный знак.



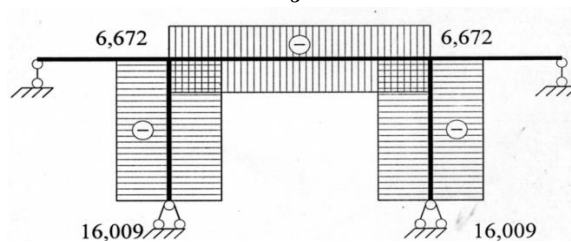
*a*



*б*



*в*

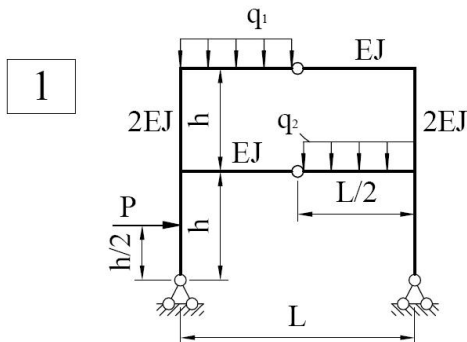


*z*

Рис. 6

Форма отчетности: решение задачи в ученической тетради.

Задания для самостоятельной работы:



Дано:

$P = 5 \text{ кН}$ ,  $l = 12 \text{ м}$ ,  $q = 4 \text{ кН/м}$ ,  $h = 3 \text{ м}$ ,  $J = \text{const}$ .

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию  
Проработка лекционного материала.

Основная литература:

№ 1,3 согласно раздела 7

Дополнительная литература:

№ 5,8,9 согласно раздела 7

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Как определяется степень статической неопределимости?
2. Как осуществляется рациональный выбор основной системы метода сил?
3. Последовательность расчета метода сил.

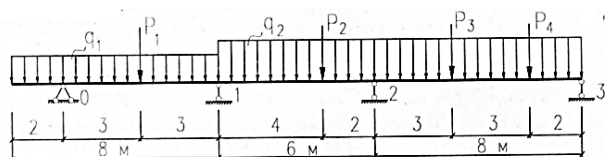
**Практическое занятие №5** – Расчет неразрезных балок с помощью уравнения трех моментов.

Задание: для заданной многопролетной неразрезной балки требуется:

1. Определить степень статической неопределимости балки;
2. Найти с помощью уравнений трех моментов опорные моменты;
3. Построить эпюры изгибающих моментов  $M$  и поперечных сил  $Q$ .

Порядок выполнения:

*1. Исходные данные*



Дано:

$q_1 = 10 \text{ кН/м}$

$q_2 = 20 \text{ кН/м}$

$P_1 = P_2 = 20 \text{ кН}$

$P_3 = P_4 = 30 \text{ кН}$

Рис. 1

$EJ = \text{const}$

*2. Определение степени*

*статической неопределимости системы*

Степень статической неопределимости системы вычисляем по формулам

$$CCH = -W, \quad (1)$$

$$W = 3Д - 2Ш - C_{оп}, \quad (2)$$

где  $W$  – число степеней свободы системы;  $Д$  – количество дисков;  $Ш$  – количество шарниров;  $C_{оп}$  – количество опорных стержней.

Выполним расчёт

$$CCH = 2Ш + C_{оп} - 3Д = 2 \cdot 0 + 5 - 3 \cdot 1 = 2.$$

Данная система дважды статически неопределима. Расчет балки можно выполнить методом сил, при этом канонические уравнения сводятся к уравнениям трех моментов, которые составляются для каждой промежуточной опоры. В качестве неизвестных принимаются опорные моменты  $M_i$  на всех промежуточных опорах.

Если  $EJ = \text{const}$ , то уравнение трёх моментов для  $i$ -й опоры записывается в следующем виде:

$$M_{i-1} \cdot l_i + 2M_i (l_i + l_{i+1}) + M_{i+1} \cdot l_{i+1} = -6(B_i^\Phi + A_{i+1}^\Phi). \quad (3)$$

Так как система дважды статически неопределима, то составляется система из двух уравнений трёх моментов:

$$\begin{cases} M_0 \cdot l_1 + 2M_1(l_1 + l_2) + M_2 \cdot l_2 = -6(B_1^\Phi + A_2^\Phi), \\ M_1 \cdot l_2 + 2M_2(l_2 + l_3) + M_3 \cdot l_3 = -6(B_2^\Phi + A_3^\Phi), \end{cases} \quad (4)$$

где  $B_1^\Phi, A_2^\Phi, B_2^\Phi, A_3^\Phi$  – фиктивные реакции, которые определяются от фиктивной нагрузки  $\omega_i$ , за которую принимается в  $i$ -м пролете площадь эпюры балочных моментов  $M^0$ .

### 3. Определение балочных усилий для каждого пролёта балки. Построение эпюр поперечных сил $Q^0$ и моментов $M^0$

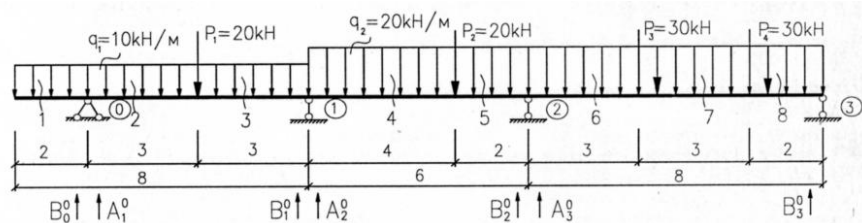


Рис. 2

Рассчитываем консоль как статически определимый элемент:

$$\sum Y = 0; -q_1 \cdot 2 + B_0^0 = 0; B_0^0 = q_1 \cdot 2; B_0^0 = 20 \text{ кН};$$

$$M_1 = -q_1 \cdot \frac{x_1^2}{2}; \quad M_1|_{x_1=0} = 0, \quad M_1|_{x_1=2} = -20 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_1 = -q_1 \cdot x_1; \quad Q_1|_{x_1=0} = 0 \text{ кН}; \quad Q_1|_{x_1=2} = -20 \text{ кН}.$$

Схема загрузки балки и построение балочных эпюр представлено на рис. 3, а, б, в.

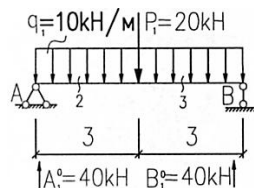
Рассмотрим первый пролет:

$$\sum M_A = 0; q_1 \cdot 6 \cdot 3 + P_1 \cdot 3 - B_1^0 \cdot 6 = 0:$$

$$B_1^0 = \frac{q_1 \cdot 6 \cdot 3 + P_1 \cdot 3}{6} = \frac{10 \cdot 6 \cdot 3 + 20 \cdot 3}{6} = 40 \text{ кН};$$

$$\sum M_B = 0; -q_1 \cdot 6 \cdot 3 - P_1 \cdot 3 + A_1^0 \cdot 6 = 0:$$

$$A_1^0 = \frac{q_1 \cdot 6 \cdot 3 + P_1 \cdot 3}{6} = \frac{10 \cdot 6 \cdot 3 + 20 \cdot 3}{6} = 40 \text{ кН}.$$



Выполняем проверку правильности определения реакций:

$$\Sigma Y = 0,$$

$$A_1^0 + B_1^0 - q_1 \cdot 6 - P_1 = 40 + 40 - 10 \cdot 6 - 20 = 0.$$

Следовательно, реакции найдены верно.

Для определения усилий балку разбиваем на два участка (сечения 2,3). Вычисление усилий в пособии не приводится. Значения  $M^0$  и  $Q^0$  представлены на эпюрах (рис. 3).

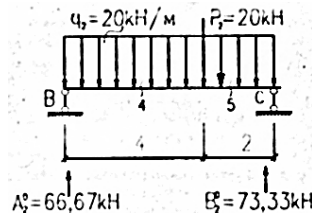
Рассмотрим второй пролет.

$$\Sigma M_B = 0; q_2 \cdot 6 \cdot 3 + P_2 \cdot 4 - B_2^0 \cdot 6 = 0:$$

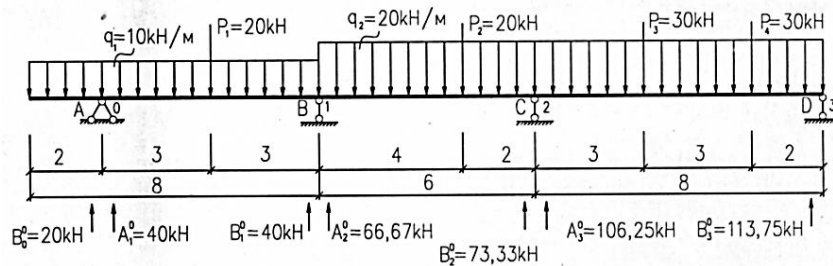
$$B_2^0 = \frac{q_2 \cdot 6 \cdot 3 + P_2 \cdot 4}{6} = \frac{20 \cdot 6 \cdot 3 + 20 \cdot 4}{6} = 73,33 \text{ кН};$$

$$\Sigma M_C = 0; -q_2 \cdot 6 \cdot 3 - P_2 \cdot 2 + A_2^0 \cdot 6 = 0:$$

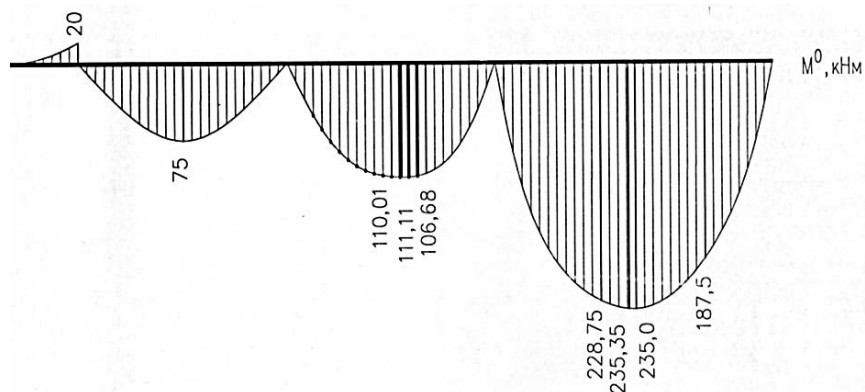
$$A_2^0 = \frac{q_2 \cdot 6 \cdot 3 + P_2 \cdot 2}{6} = \frac{20 \cdot 6 \cdot 3 + 20 \cdot 2}{6} = 66,67 \text{ кН}.$$



Выполняем проверку правильности определения реакций во втором пролете ( $\Sigma Y = 0$ ) и вычисляем усилия в сечениях 4 и 5.



a



б

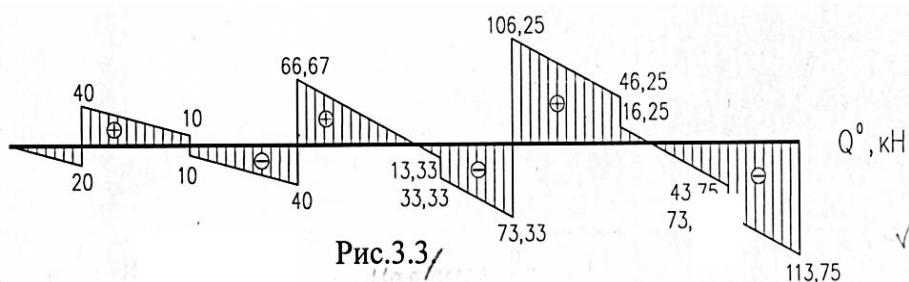


Рис.3.3/

Рис. 3

Рассмотрим третий пролет:

$$\Sigma M_C = 0; q_2 \cdot 8 \cdot 4 + P_3 \cdot 3 + P_4 \cdot 6 - B_3^0 \cdot 8 = 0:$$

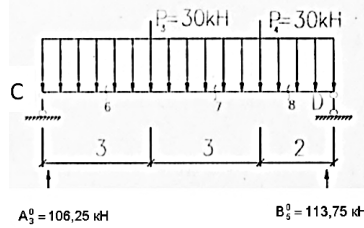
$$B_3^0 = \frac{q_2 \cdot 8 \cdot 4 + P_3 \cdot 3 + P_4 \cdot 6}{8} =$$

$$= \frac{20 \cdot 8 \cdot 4 + 30 \cdot 3 + 30 \cdot 6}{8} = 113,75 \text{ кН};$$

$$\Sigma M_D = 0; -q_2 \cdot 8 \cdot 4 - P_3 \cdot 5 - P_4 \cdot 2 + A_3^0 \cdot 8 = 0:$$

$$A_3^0 = \frac{q_2 \cdot 8 \cdot 4 + P_3 \cdot 5 + P_4 \cdot 2}{8} =$$

$$= \frac{20 \cdot 8 \cdot 4 + 30 \cdot 5 + 30 \cdot 2}{8} = 106,25 \text{ кН}.$$



Выполняем проверку правильности определения реакций в третьем пролете ( $\Sigma Y = 0$ ) и определяем усилия  $M^0$  и  $Q^0$  в сечениях 6, 7, 8.

#### 4. Определение фиктивных реакций опор

Фиктивные опорные реакции в зависимости от способа нагружения балки определяются по прил. Б, при этом используется принцип независимости действия сил:

$$B_1^\phi = \frac{20 \cdot 6^2}{16} + \frac{10 \cdot 6^3}{24} = 45 + 90 = 135 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$A_2^\phi = \frac{20 \cdot 4 \cdot 2 \cdot (6+2)}{6 \cdot 6} + \frac{20 \cdot 6^3}{24} = 35,56 + 180 = 215,56 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$B_2^\phi = \frac{20 \cdot 4 \cdot 2 \cdot (6+4)}{6 \cdot 6} + \frac{20 \cdot 6^3}{24} = 44,44 + 180 = 224,44 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$A_3^\phi = \frac{30 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (8+5)}{6 \cdot 8} + \frac{30 \cdot 6 \cdot 2 \cdot (8+2)}{6 \cdot 8} + \frac{20 \cdot 8^3}{24} =$$

$$= 121,875 + 75 + 426,67 = 623,55 \text{ кН} \cdot \text{м}^2.$$

#### 5. Решение системы уравнений трёх моментов, определение неизвестных опорных моментов $M_1$ и $M_2$

Система уравнений трёх моментов после подстановки известных моментов ( $M_0$  и  $M_3$ ) и фиктивных реакций записывается в виде

$$\begin{cases} -20 \cdot 6 + 2M_1 \cdot (6+6) + M_2 \cdot 6 = -6 \cdot (135 + 215,56), \\ M_1 \cdot 6 + 2M_2 \cdot (6+8) = -6 \cdot (224,44 + 623,55), \end{cases}$$

$$\begin{cases} -120 + 24M_1 + 6M_2 = -2103,36, \\ 6M_1 + 28M_2 = -5087,94, \end{cases}$$

$$M_2 = -330,56 - 4M_1,$$

$$6M_1 - 9255,68 - 112M_1 = -5087,94.$$

Определяем неизвестные опорные моменты:

$$M_1 = -39,32 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$M_2 = -173,29 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$



6. Построение итоговых эпюр изгибающих моментов  $M$   
и поперечных сил  $Q$

Для заданной балки (рис 4, а) предварительно строим эпюру опорных моментов  $M_{оп}$  (рис. 4, б).

Затем строим итоговую эпюру моментов  $M$  по принципу независимости действия сил:

$$M = M^0 + M_{оп} . \quad (5)$$

Итоговую эпюру поперечных сил  $Q$  строим исходя из формулы Журавского

$$Q = Q^0 + \frac{M_{пр} - M_{лев}}{l} , \quad (6)$$

где  $M_{пр}$ ,  $M_{лев}$  – моменты соответственно на правом и левом концах рассматриваемого пролета балки, которые принимаются с учетом знаков.

При действии распределенной нагрузки в каждом пролете определяются координаты сечений  $X_0$ , в которых  $Q = 0$ . В этих сечениях пролетные моменты будут максимальные ( $M_{max}$ ), их вычисляем при соответствующих значениях  $X_0$ , используя формулу (5). Также нужно определить моменты в других характерных точках: под сосредоточенными силами, в середине пролета. Эпюра изгибающих моментов представлена на рис. 4, в. Эпюра поперечных сил  $Q$  – на рис. 4, г.

Выполним расчёт:

$$Q_2^н = 40 + \frac{-39,32 + 20}{6} = 40 - 3,22 = 36,78 \text{ кН},$$

$$Q_2^к = 10 + \frac{-39,32 + 20}{6} = 10 - 3,22 = 6,78 \text{ кН},$$

$$Q_3^н = -10 + \frac{-39,32 + 20}{6} = -10 - 3,22 = -13,22 \text{ кН},$$

$$Q_3^к = -40 + \frac{-39,32 + 20}{6} = -40 - 3,22 = -43,22 \text{ кН},$$

$$Q_4^н = 66,67 + \frac{-173,29 + 39,32}{6} = 66,67 - 22,33 = 44,34 \text{ кН},$$

$$Q_4^к = -13,33 + \frac{-173,29 + 39,32}{6} = -13,33 - 22,33 = -35,66 \text{ кН},$$

$$Q_5^н = -33,33 + \frac{-173,29 + 39,32}{6} = -33,33 - 22,33 = -55,66 \text{ кН},$$

$$Q_5^к = -73,33 + \frac{-173,29 + 39,32}{6} = -73,33 - 22,33 = -95,66 \text{ кН},$$

$$Q_6^н = 106,25 + \frac{0 + 173,29}{8} = 106,25 + 21,66 = 127,91 \text{ кН},$$

$$Q_6^к = 46,25 + \frac{0 + 173,29}{8} = 46,25 + 21,66 = 67,91 \text{ кН},$$

$$Q_7^н = 16,25 + \frac{0 + 173,29}{8} = 16,25 + 21,66 = 37,91 \text{ кН},$$

$$Q_7^к = -43,75 + \frac{0 + 173,29}{8} = -43,75 + 21,66 = -22,09 \text{ кН},$$

$$Q_8^к = -73,75 + \frac{0 + 173,29}{8} = -73,75 + 21,66 = -52,09 \text{ кН},$$

$$Q_8^к = -113,75 + \frac{0 + 173,29}{8} = -113,75 + 21,66 = -92,09 \text{ кН}.$$

Определяются итоговые опорные реакции на  $i$ -й опоре  $R_i$  неразрезной балки по формулам

$$R_i = R_i^0 - \frac{M_i - M_{i-1}}{l_i} - \frac{M_i - M_{i+1}}{l_{i+1}}, \quad (7)$$

$$R_i^0 = B_i^0 + A_{i+1}^0, \quad (8)$$

где  $R_i^0$  – суммарная балочная реакция на  $i$ -й опоре;  $M_i$  – момент на  $i$ -й опоре;  $l_i$  – пролет слева от опоры  $i$ ;  $l_{i+1}$  – пролет справа от опоры  $i$ .

Выполним расчёт:

$$R_0 = 20 + 40 - \frac{-20 - (-39,32)}{6} = 20 + 40 - 3,22 = 56,78 \text{ кН},$$

$$R_1 = 40 + 66,67 - \frac{-39,32 - (-20)}{6} - \frac{-39,32 - (-173,29)}{6} =$$

$$= 40 + 66,67 + 3,22 - 22,33 = 87,56 \text{ кН},$$

$$R_2 = 73,33 + 106,25 - \frac{-173,29 - (-39,32)}{6} - \frac{-173,29}{8} =$$

$$= 179,58 + 22,33 + 21,66 = 223,57 \text{ кН},$$

$$R_3 = 113,75 - \frac{-(-173,29)}{8} = 113,75 - 21,66 = 92,09 \text{ кН}.$$

Выполним проверку:

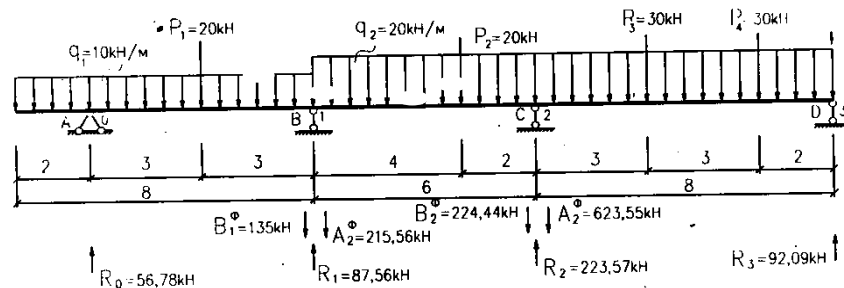
$$\Sigma Y = 0;$$

$$R_0 + R_1 + R_2 + R_3 = q_1 \cdot 8 + q_2 \cdot 14 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4;$$

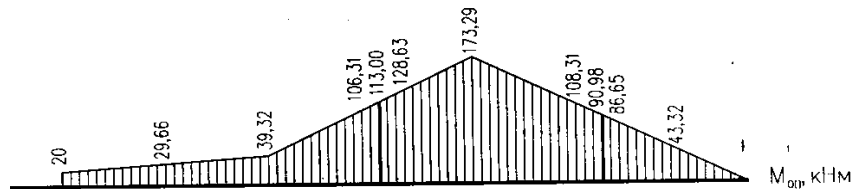
$$56,78 + 87,56 + 223,57 + 92,09 = 80 + 280 + 20 + 20 + 30 + 30;$$

$$460 - 460 = 0.$$

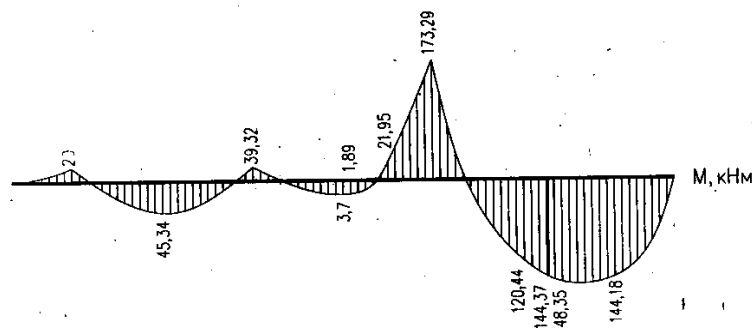
Следовательно, расчет балки выполнен верно.



a



б



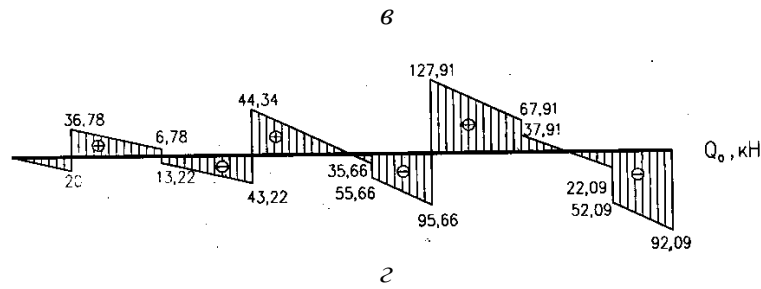


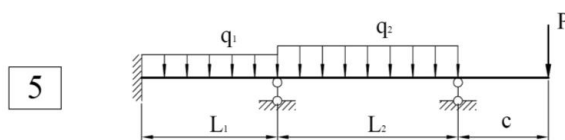
Рис. 4

Форма отчетности: контрольная работа.

Задания для самостоятельной работы:

Исходные данные к расчету неразрезной балки  
 $L_1=6$  м,  $L_2=6$  м,  $c=2$  м,  $P=5$  кН,  $q_1=4$  кН/м,  $q_2=5$  кН/м

Расчетная схема неразрезной балки



Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию  
 Проработка лекционного материала.

Основная литература:

№ 1,3 согласно раздела 7

Дополнительная литература:

№ 5,8,9 согласно раздела 7

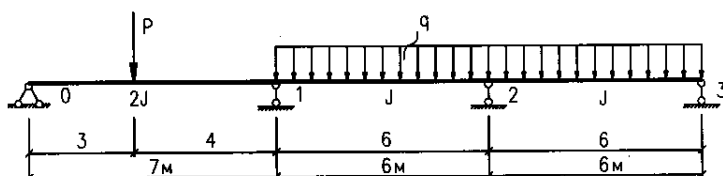
Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Уравнение трех моментов?
2. Последовательность расчета неразрезных балок с помощью уравнения трех моментов.
3. Определение степени статической неопределимости в неразрезных балках.

**Практическое занятие №6** – Расчет неразрезных балок методом перемещений.

Цель работы: построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов в неразрезной балке методом перемещений.

Задание:



Дано:  
 $P = 30$  кН  
 $q = 20$  кН/м

Порядок выполнения:

Решение:

*Определение степени кинематической неопределимости системы*

Степень кинематической неопределимости системы вычисляем по формулам

$$n = n_y + n_{\text{л}}, \quad (1)$$

где  $n_y$  – количество жёстких узлов;  $n_{\text{л}}$  – количество возможных линейных перемещений;

$$n_{\text{л}} = W^0 = 2U - C - C_{\text{оп}}, \quad (2)$$

где  $W^0$  – число степеней свободы условной шарнирно-стержневой системы;  $U$  – количество узлов, включая опорные;  $C$  – количество стержней;  $C_{\text{оп}}$  – количество опорных стержней.

Количество возможных линейных смещений балки  $n_{\text{л}} = 0$ ; количество жёстких узлов  $n_y = 2$ . Тогда  $n = 2 + 0 = 2$ . Таким образом, система дважды кинематически неопределима.

*Выбор основной системы метода перемещений*

Для заданной балки (рис 2, а) при выборе основной системы метода перемещений (рис. 2, б) вводим фиктивные связи, препятствующие возможным угловым перемещениям в узлах (жёсткие заделки). Систему канонических уравнений метода перемещений записываем в виде

$$\begin{cases} r_{11} \cdot Z_1 + r_{12} \cdot Z_2 + R_{1P} = 0, \\ r_{21} \cdot Z_1 + r_{22} \cdot Z_2 + R_{2P} = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где  $r_{ij}$  – реакции в  $i$ -ой фиктивной связи от перемещения  $Z_j = 1$ ;  $R_{ip}$  – реакции в  $i$ -ой фиктивной связи от нагрузки.

Для определения этих реакций необходимо построить эпюры моментов от единичных грузовых перемещений ( $\bar{M}_i$ ) и от заданной нагрузки в основной системе. Построение эпюр выполняется с помощью прил. В. Эпюры в основной системе от единичных перемещений представлены на рис. 2, в, г; а от заданной нагрузки – на рис. 2, д.

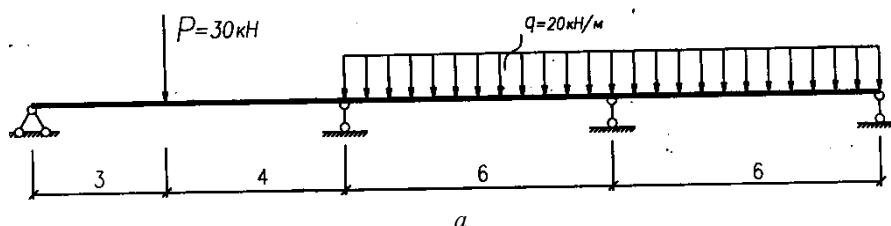
*Расчёт системы канонических уравнений  
метода перемещений*

Необходимо из условия равновесия жестких узлов определить неизвестные реакции, а затем решить полученную систему (3)

$$\begin{cases} 1,53 \cdot Z_1 + 0,33 \cdot Z_2 - 23,27/EJ = 0, \\ 0,33 \cdot Z_1 + 1,17 \cdot Z_2 - 30/EJ = 0. \end{cases}$$

Определяем неизвестные перемещения:

$$\begin{aligned} Z_2 &= 70,52 - 4,64 \cdot Z_1, \\ 0,33 \cdot Z_1 + 82,51 - 5,43 \cdot Z_1 - 30 &= 0, \\ 5,1 \cdot Z_1 &= 52,51, \\ Z_1 &= 10,296/EJ, \\ Z_2 &= 70,52 - 4,64 \cdot 10,296, \\ Z_2 &= 22,44/EJ. \end{aligned}$$



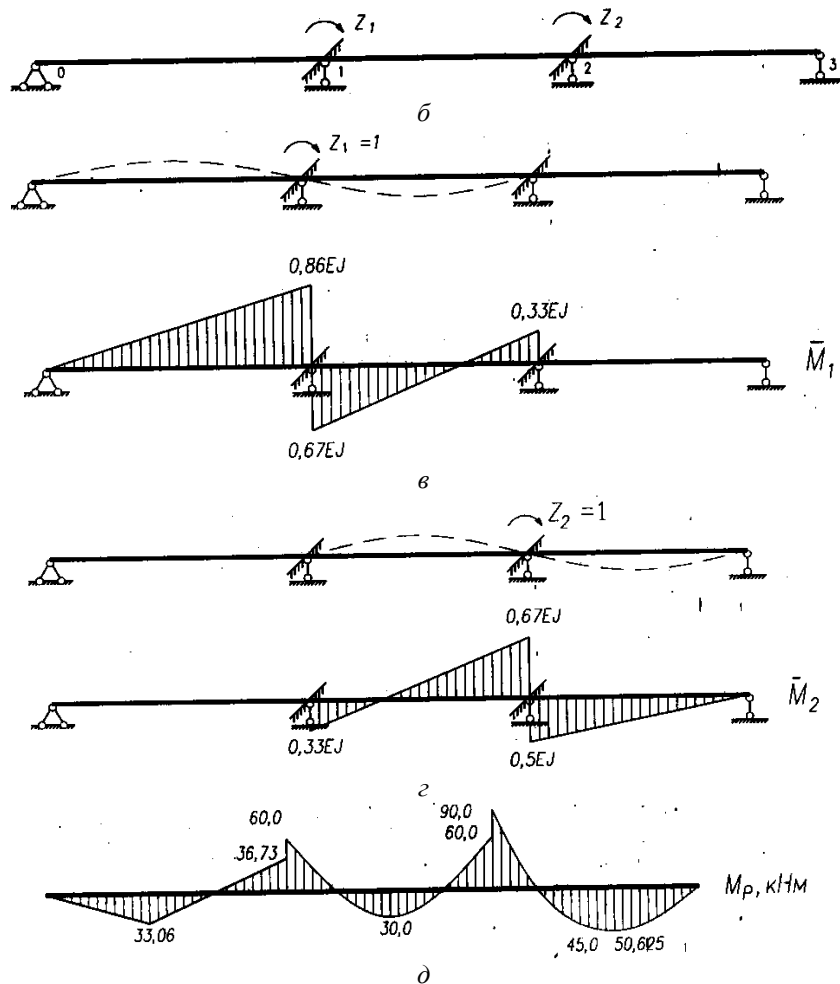


Рис. 2

*Построение итоговых эпюр  
изгибающих моментов  $M$  и поперечных сил  $Q$*

Итоговая эпюра моментов строится по формуле

$$M = M_p + \bar{M}_1 \cdot Z_1 + \bar{M}_2 \cdot Z_2. \quad (4)$$

Эпюра изгибающих моментов представлена на рис. 3, б. Итоговая эпюра поперечной силы  $Q$  строится по формуле

$$Q = Q^0 + \frac{M_{\text{пр}} - M_{\text{лев}}}{l}, \quad (5)$$

где  $Q^0$  – значение балочной поперечной силы в данном сечении;  $M_{\text{пр}}$ ,  $M_{\text{лев}}$  – моменты на правом и левом концах с учётом знаков;

$l$  – длина пролёта.

Выполним расчёт

$$Q_1^{\text{н}} = 17,14 + \frac{-45,64}{7} = 17,14 - 6,52 = 10,62 \text{ кН},$$

$$Q_1^{\text{к}} = -12,86 + \frac{-45,64}{7} = -12,86 - 6,52 = -19,38 \text{ кН},$$

$$Q_2^{\text{н}} = 60 + \frac{-78,61 - (-45,64)}{6} = 60 - 5,5 = 54,5 \text{ кН},$$

$$Q_2^{\text{к}} = -60 + \frac{-78,61 - (-45,64)}{6} = -60 - 5,5 = -65,5 \text{ кН},$$

$$Q_3^{\text{н}} = 60 + \frac{0 - (-78,61)}{6} = 60 + 13,1 = 73,1 \text{ кН},$$

$$Q_3^k = -60 + \frac{0 - (-78,61)}{6} = -60 + 13,1 = -46,9 \text{ кН.}$$

Необходимо в каждом пролете определить максимальные моменты, в которых  $Q = 0$ .  
Эпюра поперечных сил  $Q$  показана на рис. 3, в.

По итоговой эпюре поперечной силы  $Q$  определяем реакции опор  $R$ :

$$R_0 = 10,62 \text{ кН}, \quad R_1 = 73,88 \text{ кН}, \quad R_2 = 138,6 \text{ кН}, \quad R_3 = 46,9 \text{ кН.}$$

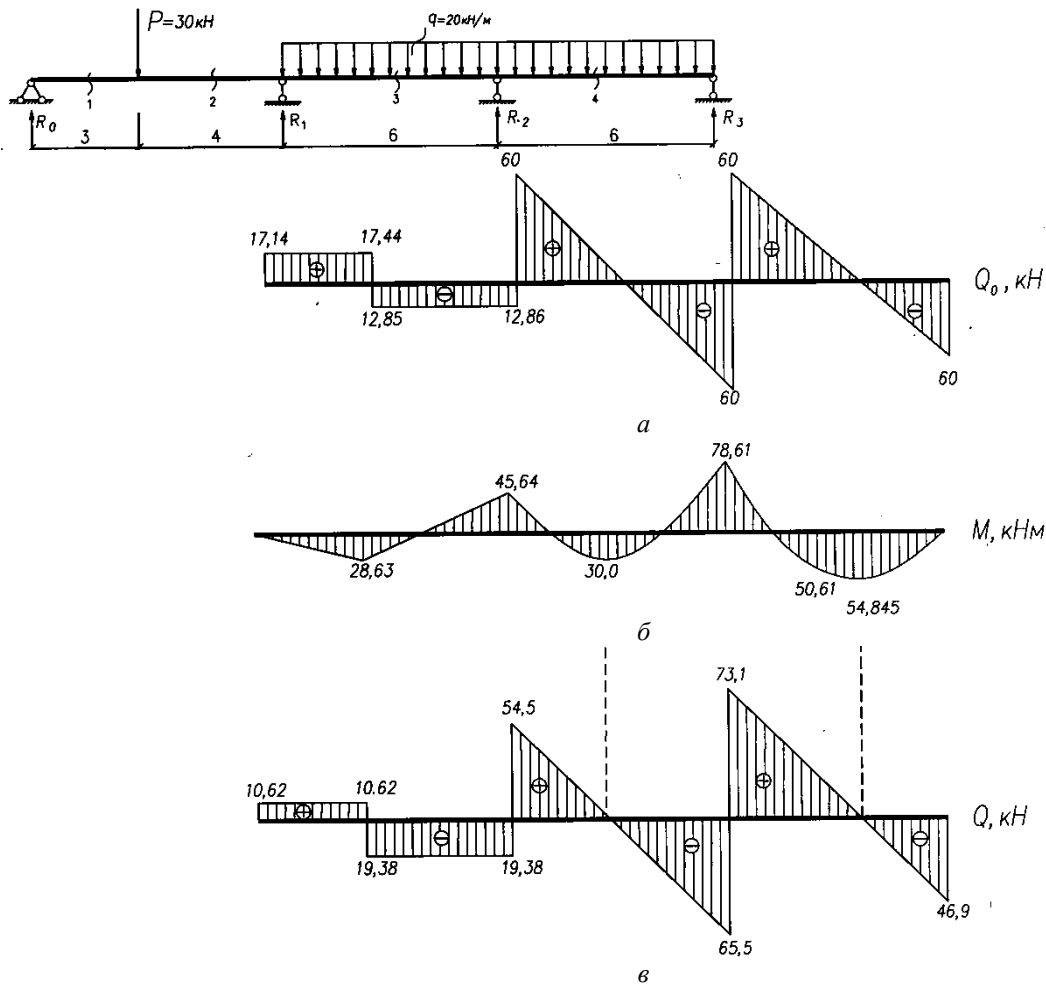


Рис. 3

Осуществляем проверку:

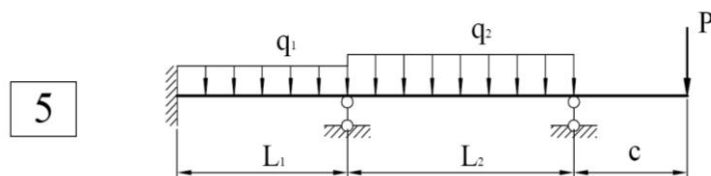
$$\begin{aligned} \Sigma Y = 0; \quad R_0 + R_1 + R_2 + R_3 &= -P - q \cdot 12; \\ 10,62 + 73,88 + 138,6 + 46,9 &= -30 - 240; \\ 270 - 270 &= 0. \end{aligned}$$

Следовательно, расчет балки выполнен верно.

Форма отчетности: решение задачи в ученической тетради.

Задания для самостоятельной работы:

Исходные данные к расчету неразрезной балки  
 $L_1=6$  м,  $L_2=6$  м,  $c=2$  м,  $P=5$  кН,  $q_1=4$  кН/м,  $q_2=5$  кН/м,  $J=\text{const}$ .



5

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию  
Проработка лекционного материала.

Основная литература:

№ 1,3 согласно раздела 7

Дополнительная литература:

№ 5,8,9 согласно раздела 7

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Как определить степень кинематической неопределимости?
2. Выбор основной системы метода перемещений.
3. Последовательность расчета неразрезных балок методом перемещений.

## **9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы**

Контрольная работа (кр) – это самостоятельное исследование студента. Выполняя кр, студент совершенствует знания и умения, полученные в процессе изучения дисциплины, а именно: определять цель, выделять задачи, формулировать проблемы и находить способы их решения. Работая над кр, студент получает умения и навыки, которые будут полезными в будущем – при выполнении более сложных задач (дипломная работа, диссертация, научное исследование).

Целью написания кр является:

- систематизация, закрепление и расширение теоретических знаний и практических умений студента;
- приобретение опыта работы с литературой и другими источниками информации, умение обобщать и анализировать научную информацию, вырабатывать собственное отношение к проблеме;
- развитие навыков овладения специализированным программным обеспечением;
- проведение глубокого анализа результатов собственных исследований и формирование содержательных выводов относительно качества полученных результатов.

Контрольная работа выполняется в два этапа.

Первый этап кр включает следующее:

- выбор темы кр,
- определение актуальности и цели работы,
- подбор литературы и источников информации согласно избранной теме,
- сбор данных, необходимых для раскрытия избранной темы,
- систематизацию и структурирование данных,
- оформление результата выполнения первого этапа в текстовом редакторе.

Результат выполнения первого этапа предоставляется в распечатанном виде.

Второй этап кр включает следующее:

- выбор метода обработки информации,
- обоснование и описание избранного метода,
- обработку информации,
- получение результатов,
- интерпретацию результатов,
- формулирование выводов,
- оформление отчета.

**10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Microsoft Imagine Premium.
2. Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN No Level.
3. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.
4. Информационно-справочная система «Кодекс».
5. SCAD Office 7.31 R5.

**11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

<i>Вид занятия (Лк, ПЗ, кр, СР)</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ПЗ</i>
Лк	лекционная аудитория (мультимедийный класс)	Маркерная доска Интерактивная доска SMART Board X885ix со встроенным проектором UX 60 ПК: Intel(R) Core(TM) i5-2500CPU @ 3.30GHz, 4ГБ	-
ПЗ	лекционная аудитория (мультимедийный класс)	Маркерная доска Интерактивная доска SMART Board X885ix со встроенным проектором UX 60 ПК: Intel(R) Core(TM) i5-2500CPU @ 3.30GHz, 4ГБ	ПЗ № 1-6
кр	Ч31	Оборудование 10-ПК i5-2500/Н67/4Gb(монитор TFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D	-
СР	Ч31	Оборудование 10-ПК i5-2500/Н67/4Gb(монитор TFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D	-



**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ  
АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
1	2	3	4	5
ОПК-2	способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат	<b>1. Расчет статически определимых систем.</b>	<b>1.1</b> Кинематический анализ стержневых систем. <b>1.2</b> Основы расчета многопролетных статически определимых балок и рам. <b>1.3</b> Расчет ферм. <b>1.4</b> Определение перемещений в статически определимых системах.	вопросы и задачи к зачету
ПК-1	знание нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест	<b>2. Расчет статически неопределимых систем.</b>	<b>2.1</b> Расчет статически неопределимых систем методом сил. <b>2.2</b> Расчет неразрезных балок с помощью уравнения трех моментов. <b>2.3</b> Расчет статически неопределимых систем методом перемещений.	вопросы и задачи к зачету
ПК-14	владение методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированных проектирования, стандартных пакетов автоматизации исследований, владение методами испытаний строительных конструкций и изделий, методами постановки и проведения экспериментов по заданным методикам	<b>3. Основы устойчивости сооружений.</b>	<b>3.1</b> Основные понятия устойчивости сооружений: виды потери устойчивости, степень свободы, методы решения.	вопросы к зачету

## 2. Вопросы к зачету

№ п/п	Компетенции		ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ОПК-2	способность выявить естественную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат	<p><b>1.1.</b> Кинематический анализ стержневых систем.</p> <p><b>1.2.</b> Основы расчета многопролетных статически определимых балок и рам.</p> <p><b>1.3.</b> Расчет ферм.</p> <p><b>1.4.</b> Определение перемещений в статически определимых системах.</p>	1. Расчет статически определимых систем.
2.	ПК-1	знание нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест	<p><b>2.1.</b> Расчет статически неопределимых систем методом сил.</p> <p><b>2.2.</b> Расчет неразрезных балок с помощью уравнения трех моментов.</p> <p><b>2.3.</b> Расчет статически неопределимых систем методом перемещений.</p>	2. Расчет статически неопределимых систем.
3.	ПК-14	владение методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированных проектирования, стандартных пакетов автоматизации исследований, владение методами испытаний строительных конструкций и изделий, методами постановки и проведения экс-	<p><b>3.1.</b> Основные понятия устойчивости сооружений: виды потери устойчивости, степень свободы, методы решения.</p>	3. Основы устойчивости сооружений.

		периментов по заданным методам	
--	--	--------------------------------	--

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать</b>  <b>ОПК-2:</b>  – методы расчета статически определенных и неопределенных стержневых систем при действии статических и динамических нагрузок;  <b>ПК-1:</b>  нормативную базу в области расчета и проектирования зданий и сооружений;  <b>ПК-14:</b>  компьютерное моделирование поведения конструкций и сооружений при действии нагрузок;</p> <p><b>Уметь</b>  <b>ОПК-2:</b>  – выявлять естественнонаучную сущность проблем механики, возникающих в ходе профессиональной деятельности;  – грамотно выбрать расчетную схему сооружения на основании его фактической работы при действующих нагрузках;  <b>ПК-1:</b>  – использовать современные нормы проектирования строительных конструкций применительно к разным расчетным моделям;  <b>ПК-14:</b>  – использовать универсальные и специализированные программно-вычислительные комплексы для расчета строительных конструкций, зданий и сооружений.</p>	<p><b>зачтено</b></p>	<p>выставляется обучающемуся, твердо знающему программный, в том числе лекционный, материал, грамотно и по существу отвечающему на вопрос и не допускающему при этом существенных неточностей (неточностей, которые не могут быть исправлены наводящими вопросами или не имеют важного практического значения); обучающийся показал систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности; знает основные методы и приемы расчета стержневых систем; умеет правильно выбирать расчетную схему сооружения, наиболее рациональный метод расчета; владеет основными современными методами постановки, исследования и решения задач механики; способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекает их для решения соответствующий физико-математический аппарат; знает нормативную базу в области принципов проектирования зданий, сооружений; владеет методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированного проектирования; дополнительным условием получения оценки «зачтено» могут стать хорошие успехи при выполнении самостоятельной и расчетно-графической работы, систематическая активная работа на практических занятиях.</p>

<p>Владеть <i>ОПК-2:</i> – физико-математическим аппаратом при расчете сооружений на прочность, жесткость и устойчивость;</p> <p><i>ПК-1:</i> – принципами проектирования зданий и сооружений с учетом инженерных изысканий;</p> <p><i>ПК-14:</i> – методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования при решении исследовательских задач механики.</p>	<p><b>не зачтено</b></p>	<p>выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного, в том числе лекционного, материала, допускает существенные ошибки в решении практически важных вопросов с точки зрения проектировщиков, выставляется также при незнании одного из основных разделов курса даже в том случае, если ответы на остальные вопросы могут быть оценены положительно; не способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, не привлекает их для решения соответствующий физико-математический аппарат; не знает нормативную базу в области принципов проектирования зданий, сооружений; не владеет методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированного проектирования; не знает основные методы и приемы расчета стержневых систем; не умеет правильно выбирать расчетную схему сооружения, наиболее рациональный метод расчета; не владеет основными современными методами постановки, исследования и решения задач механики.</p>
---	--------------------------	--

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Б1.В.ДВ.08.01 Строительная механика направлена на ознакомление обучающихся с фундаментальными понятиями механики, принципами и методами расчета строительных конструкций; на получение теоретических знаний и практических навыков о напряженно-деформированном состоянии стержней и стержневых систем под действием различных нагрузок для их дальнейшего использования в практической деятельности.

Изучение дисциплины Б1.В.ДВ.08.01 Строительная механика предусматривает:

- лекции,
- практические занятия;
- контрольные работы;
- зачет;
- самостоятельная работа.

В ходе освоения:

- раздела 1 - обучающиеся должны усвоить кинематический анализ сооружений, определение внутренних усилий и построение эпюр в статически определимых балках, рамах, фермах, определение перемещений от силового воздействия в статически определимых системах;

- раздела 2 - обучающиеся должны уяснить как определяется степень статической и кинематической неопределимости, выбор основной системы метода сил и метода перемеще-

ний, определение внутренних усилий и построение эпюр в статически неопределимых системах, выполнение проверок;

- раздела 3– обучающиеся должны усвоить основные понятия устойчивости сооружений: виды потери устойчивости, степень свободы, методы решения, расчет плоских рам на устойчивость.

Необходимо овладеть навыками и умениями применения изученных методов для расчета строительных конструкций на прочность, жесткость и устойчивость.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется на первом этапе обратить внимание на выбор расчетной схемы сооружения и на определение опорных реакций в конструкциях, то есть на знания, полученные при изучении дисциплин «Теоретическая механика», «Техническая механика».

Овладение ключевыми понятиями является неотъемлемой частью освоения данной дисциплины.

При подготовке к зачету рекомендуется особое внимание уделить решению задач.

В процессе проведения практических занятий происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков реализации представления об инженерных методах расчета строительных конструкций.

Самостоятельную работу необходимо начинать с конспекта лекций, просмотра рекомендуемой литературы и выполнения практических занятий. Производить проверку терминов, понятий с помощью справочной литературы с выписыванием основных моментов в тетрадь.

В процессе консультации с преподавателем обучающийся должен обозначить вопросы, термины, материалы, которые вызывают у него трудности.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой литературы по данной дисциплине. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и глобальной сети Интернет.

По данной дисциплине предусмотрено проведение аудиторных занятий (в виде лекций и практических занятий) в сочетании с внеаудиторной работой.

В период подготовки к зачету обучающиеся обращаются к пройденному учебному материалу. При этом они не только скрепляют полученные знания, но и получают новые. Подготовка к зачету включает в себя три этапа:

- самостоятельная работа в течение семестра;
- непосредственная подготовка в дни, предшествующие зачету по темам курса;
- подготовка к ответу на вопросы и просмотр прорешенных задач.

Литература для подготовки к зачету рекомендуется преподавателем, либо указана в учебно-методическом комплексе. Для полноты учебной информации и ее сравнения лучше использовать не менее двух учебников.

Основным источником подготовки к зачету является конспект лекций, где учебный материал дается в систематизированном виде, основные положения его детализируются, подкрепляются современными фактами и информацией, которые в силу новизны не вошли в опубликованные печатные источники. В ходе подготовки к зачету студентам необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания излагаемых проблем.

Зачет проводится по вопросам и задачам, охватывающим весь пройденный материал. По окончании ответа экзаменатор может задать студенту дополнительные и уточняющие вопросы. На решение задачи отводится 60 минут, и на ответ по вопросам студенту дается 30 минут. Положительным также будет стремление студента изложить различные точки зрения на рассматриваемую проблему. Результаты зачета объявляются обучающемуся после окончания ответа в день сдачи.

**АННОТАЦИЯ**  
**рабочей программы дисциплины**  
**Строительная механика**

**1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является формирование у обучающихся базовых знаний по расчету зданий и сооружений при их проектировании или реконструкции и подготовка будущего бакалавра к решению профессиональных, научно-исследовательских задач.

Задачами изучения дисциплины являются:

- изучение методов расчета сооружений на прочность, жесткость и устойчивость;
- получение обучающимися фундаментальных знаний о напряженно-деформированном состоянии стержневых систем под действием различных нагрузок.

**2. Структура дисциплины**

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк – 6 час.; ПЗ – 10 час.; СР – 88 час.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 час, 3 зачетных единицы.

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Расчет статически определимых систем.
2. Расчет статически неопределимых систем.
3. Основы устойчивости сооружений.

**3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-2 - способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат;

ПК-1 - знание нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест;

ПК-14 - владение методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированного проектирования, стандартных пакетов автоматизации исследований, владение методами испытаний строительных конструкций и изделий, методами постановки и проведения экспериментов по заданным методикам.

**4. Вид промежуточной аттестации:** зачет.

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

---

---

---

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

---

Протокол заседания кафедры №\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.,

Заведующий кафедрой СКИТС \_\_\_\_\_

Коваленко Г.В.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО  
КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
1	2	3	4	5
ОПК-2	способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат	1. Расчет статически определимых систем.	1.1 Кинематический анализ стержневых систем. 1.2 Основы расчета многопролетных статически определимых балок и рам. 1.3 Расчет ферм. 1.4 Определение перемещений в статически определимых системах.	кр
ПК-1	знание нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест	2. Расчет статически неопределимых систем.	2.1 Расчет статически неопределимых систем методом сил. 2.2 Расчет неразрезных балок с помощью уравнения трех моментов. 2.3 Расчет статически неопределимых систем методом перемещений.	кр
ПК-14	владение методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированных проектирования, стандартных пакетов автоматизации исследований, владение методами испытаний строительных конструкций и изделий, методами постановки и проведения экспериментов по заданным методикам	3. Основы устойчивости сооружений.	3.1 Основные понятия устойчивости сооружений: виды потери устойчивости, степень свободы, методы решения.	—



## 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать</b> <i>ОПК-2:</i> – методы расчета статически определенных и неопределенных стержневых систем при действии статических и динамических нагрузок; <i>ПК-1:</i> нормативную базу в области расчета и проектирования зданий и сооружений; <i>ПК-14:</i> компьютерное моделирование поведения конструкций и сооружений при действии нагрузок;</p> <p><b>Уметь</b> <i>ОПК-2:</i> – выявлять естественнонаучную сущность проблем механики, возникающих в ходе профессиональной деятельности; – грамотно выбрать расчетную схему сооружения на основании его фактической работы при действующих нагрузках; <i>ПК-1:</i> – использовать современные нормы проектирования строительных конструкций применительно к разным расчетным моделям; <i>ПК-14:</i> – использовать универсальные и специализированные программно-вычислительные комплексы для расчета строительных конструкций, зданий и сооружений.</p>	<p><b>зачтено</b></p> <hr/> <p><b>не зачтено</b></p>	<p>Ставится обучающемуся, который в срок, в полном объеме и на высоком уровне выполнил контрольную работу; обучающийся умеет применять теоретические знания основной и дополнительной литературы; тема, заявленная в работе раскрыта полностью; все выводы подтверждены расчетами; отчет подготовлен в соответствии с предъявляемыми требованиями; при защите обучающийся успешно отвечает более чем на 80% заданных вопросов; знает основные методы и приемы расчета стержневых систем; умеет правильно выбирать расчетную схему сооружения, наиболее рациональный метод расчета; владеет основными современными методами постановки, исследования и решения задач механики; способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекает их для решения соответствующий физико-математический аппарат; знает нормативную базу в области принципов проектирования зданий, сооружений; владеет методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированного проектирования.</p> <p>допущены существенные недостатки в оформлении : имеются отступления от содержания контрольной работы; не раскрыты тема; изложение материала поверхностно, отсутствуют выводы; общая безграмотность текста, неумение пользоваться профессиональной терминологией; обучающийся допускал арифметические ошибки в работе; не способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, не привлекает их для решения соответствующий физико-математический аппарат; не знает нормативную базу в области принципов проектирования зданий, сооружений; не владеет методами и средствами физического и математического (компьютерного)</p>

<p>Владеть</p> <p><i>ОПК-2:</i></p> <p>– физико-математическим аппаратом при расчете сооружений на прочность, жесткость и устойчивость;</p> <p><i>ПК-1:</i></p> <p>– принципами проектирования зданий и сооружений с учетом инженерных изысканий;</p> <p><i>ПК-14:</i></p> <p>– методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования при решении исследовательских задач механики.</p>		<p>моделирования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированного проектирования; не знает основные методы и приемы расчета стержневых систем; не умеет правильно выбирать расчетную схему сооружения, наиболее рациональный метод расчета; не владеет основными современными методами постановки, исследования и решения задач механики.</p>
---	--	--

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство от «12» марта 2015 г. № 201

для набора 2015 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «01» октября 2015 г. № 587

для набора 2016 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «06» июня 2016 г. № 429

для набора 2017 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «06» марта 2017 г. № 125

для набора 2018 года и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «12» марта 2018 г. № 130

**Программу составил:**

Дудина И.В., доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры СКИТС от «17» декабря 2018 г., протокол № 6.

Заведующий кафедрой СКИТС \_\_\_\_\_ Коваленко Г.В.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий выпускающей кафедрой СКИТС \_\_\_\_\_ Коваленко Г.В.

Директор библиотеки \_\_\_\_\_ Сотник Т.Ф.

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИСФ от «20» декабря 2018 г., протокол № 4.

Председатель методической комиссии факультета \_\_\_\_\_ Перетолчина Л.В.

**СОГЛАСОВАНО:**

Начальник учебно-методического управления \_\_\_\_\_ Нежевец Г.П.

Регистрационный № \_\_\_\_\_