

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.05

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

08.03.01 Строительство

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ

Промышленное и гражданское строительство

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ...	4
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ	4
3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения.....	4
3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости	4
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий	5
4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам.....	9
4.3. Лабораторные работы	12
4.4. Практические занятия	12
4.5. Контрольные мероприятия: РГР	13
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	16
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....	17
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	17
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО - ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	18
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ	19
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ.....	19
9.2. Методические указания по РГР	73
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ ...	73
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ ...	74
Приложение 1 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине	75
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины	83
Приложение 3 Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе	84
Приложение 4 Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....	85

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

Вид деятельности выпускника

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

	испытаний строительных конструкций и изделий, методами постановки и проведения экспериментов по заданным методикам	
--	--	--

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.05 Строительная механика относится к вариативным дисциплинам.

Дисциплина Строительная механика базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как Физика, Математика, Теоретическая механика, Техническая механика, Сопроотивление материалов.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Строительная механика представляет основу для изучения дисциплин: Металлические конструкции, включая сварку, Железобетонные и каменные конструкции, Конструкции из дерева и пластмасс, Основания и фундаменты.

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						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации (экзамен, зачет)
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Семинары	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	3	5,6	216	102	34	-	68	78	5РГР, 5РГР, 6РГР, 6РГР	зачет, экзамен
Заочная	3,4	-	216	26	10	-	16	177	3РГР, 3РГР, 4РГР, 4РГР	зачет, экзамен
Заочная (ускоренное обучение)	2	-	216	18	8	-	10	81	2РГР, 2РГР, 2РГР	экзамен
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость час.	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, час.	Распределение по семестрам, час	
			5	6
1	2	3	4	5
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	102	30	51	51
Лекции (Лк)	34	18	17	17
Практические занятия (ПЗ)	68	12	34	34
Расчетно-графическая работа	+	-	+	+

Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+	+
II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	78	-	57	21
Подготовка к практическим занятиям	24	-	20	4
Подготовка к экзамену в течение семестра	2	-	-	2
Подготовка к зачету	12	-	12	-
Выполнение расчетно-графической работы	40	-	25	15
III. Промежуточная аттестация экзамен зачет	36	-	-	36
	+	-	+	-
Общая трудоемкость дисциплины ... час.	216	-	108	108
зач. ед.	6	-	3	3

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	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
1.	Введение. Кинематический анализ стержневых систем	17	3	4	10
1.1.	Цель и задачи дисциплины «Строительная механика»	4	1	-	3
1.2.	Кинематический анализ стержневых систем	13	2	4	7
2.	Расчет статически определимых систем	66	10	24	32
2.1.	Статически определимые стержневые системы. Расчет многопролетных балок и рам	32	4	12	16
2.2.	Расчет трехшарнирных арок и рам	12	2	4	6
2.3.	Расчет балочных и консольно-балочных ферм на узловую нагрузку	15	2	6	7
2.4.	Особенности определения усилий в статически определимых системах при подвижной нагрузке	7	2	2	3
3.	Основные теоремы о линейно-деформируемых системах и определение перемещений в статически определимых системах	25	4	6	15
3.1.	Понятие о линейно-деформируемой системе. Принцип возможных перемещений	13	2	-	9
3.2.	Определение перемещений от нагрузки разными способами	12	2	6	6

4.	Статически неопределимые системы. Метод сил	30	6	14	10
4.1.	Алгоритм расчета статически неопределимых рам по методу сил	18	4	8	6
4.2.	Расчет многопролетных неразрезных балок	12	2	6	4
5.	Расчет статически неопределимых систем методом перемещений	25	6	12	7
5.1.	Сущность расчета статически неопределимых систем по методу перемещений	3	2	-	1
5.2.	Алгоритм расчета статически неопределимых рам и неразрезных балок по методу перемещений	19	2	12	5
5.3.	Особенности расчета многопролетных и многоярусных рам	3	2	-	1
6.	Особенности расчета сооружений методом конечных элементов (МКЭ)	12	2	8	2
6.1.	Сущность расчета по МКЭ на примере плоской задачи теории упругости	2	1	-	1
6.2.	Расчет стержневых систем с использованием программно-вычислительных комплексов	10	1	8	1
7.	Основы устойчивости и динамики сооружений	5	3	-	2
7.1.	Основные понятия устойчивости сооружений.	2,5	1,5	-	1
7.2.	Основные понятия динамики сооружений.	2,5	1,5	-	1
	ИТОГО	180	34	68	78

- для заочной формы обучения:

<i>№ раздела и темы</i>	<i>Наименование раздела и тема дисциплины</i>	<i>Трудоемкость, (час.)</i>	<i>Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)</i>		
			<i>учебные занятия</i>		<i>самостоятельная работа обучающихся</i>
			<i>лекции</i>	<i>практические занятия</i>	
1	2	3	4	5	6
1.	Введение. Кинематический анализ стержневых систем	22	1	1	20
1.1.	Цель и задачи дисциплины «Строительная механика»	5,5	0,5	-	5
1.2.	Кинематический анализ стержневых систем	16,5	0,5	1	15
2.	Расчет статически определимых систем	58	3	5	50
2.1.	Статически определимые стержневые системы. Расчет многопролетных балок и рам	28	1	2	25
2.2.	Расчет трехшарнирных арок и рам	12	1	1	10
2.3.	Расчет балочных и консольно-балочных ферм на узловую нагрузку	18	1	2	15

3.	Основные теоремы о линейно-деформируемых системах и определение перемещений в статически определимых системах	24	2	2	20
3.1.	Понятие о линейно-деформируемой системе. Принцип возможных перемещений	11	1	-	10
3.2.	Определение перемещений от нагрузки разными способами	13	1	2	10
4.	Статически неопределимые системы. Метод сил	35	1	4	30
4.1.	Алгоритм расчета статически неопределимых рам по методу сил	23,5	0,5	3	20
4.2.	Расчет многопролетных неразрезных балок	11,5	0,5	1	10
5.	Расчет статически неопределимых систем методом перемещений	35	1	4	30
5.1.	Сущность расчета статически неопределимых систем по методу перемещений	10,5	0,5	-	10
5.2.	Алгоритм расчета статически неопределимых рам и неразрезных балок по методу перемещений	24,5	0,5	4	20
6.	Особенности расчета сооружений методом конечных элементов (МКЭ)	16	1	-	15
6.1.	Сущность расчета по МКЭ на примере плоской задачи теории упругости	8,5	0,5	-	8
6.2.	Расчет стержневых систем с использованием программно-вычислительных комплексов	7,5	0,5	-	7
7.	Основы устойчивости и динамики сооружений	13	1	-	12
7.1.	Основные понятия устойчивости сооружений.	6,5	0,5	-	6
7.2.	Основные понятия динамики сооружений.	6,5	0,5	-	6
ИТОГО		203	10	16	177

- для заочной формы обучения (ускоренное обучение):

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	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
1.	Введение. Кинематический анализ стержневых систем	22	1	1	20
1.1.	Цель и задачи дисциплины «Строительная механика»	5,5	0,5	-	5
1.2.	Кинематический анализ стержневых систем	16,5	0,5	1	15
2.	Расчет статически определимых систем	56	2	4	50
2.1.	Статически определимые стержневые системы. Расчет многопролетных балок и рам	28	1	2	25
2.2.	Расчет трехшарнирных арок и рам	11,5	0,5	1	10
2.3.	Расчет балочных и консольно-балочных ферм на узловую нагрузку	16,5	0,5	1	15
3.	Основные теоремы о линейно-деформируемых системах и определение перемещений в статически определимых системах	27	1	1	25
3.1.	Понятие о линейно-деформируемой системе. Принцип возможных перемещений	6	0,5	0,5	15
3.2.	Определение перемещений от нагрузки разными способами	11	0,5	0,5	10
4.	Статически неопределимые системы. Метод сил	39	2	2	35
4.1.	Алгоритм расчета статически неопределимых рам по методу сил	27	1	1	25
4.2.	Расчет многопролетных неразрезных балок	12	1	1	10
5.	Расчет статически неопределимых систем методом перемещений	34	2	2	32
5.1.	Сущность расчета статически неопределимых систем по методу перемещений	10,5	0,5	-	10
5.2.	Алгоритм расчета статически неопределимых рам и неразрезных балок по методу перемещений	25,5	1,5	2	22
6.	Особенности расчета сооружений методом конечных элементов (МКЭ)	15,5	0,5	-	15
6.1.	Сущность расчета по МКЭ на примере плоской задачи теории упругости	8,25	0,25	-	8

6.2.	Расчет стержневых систем с использованием программно-вычислительных комплексов	7,25	0,25	-	7
7.	Основы устойчивости и динамики сооружений	12,5	0,5	-	12
7.1.	Основные понятия устойчивости сооружений.	6,25	0,25	-	6
7.2.	Основные понятия динамики сооружений.	6,25	0,25	-	6
	ИТОГО	207	8	10	189

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

<i>№ раздела и темы</i>	<i>Наименование раздела и темы дисциплины</i>	<i>Содержание лекционных занятий (краткое описание теоретической части разделов и тем)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	2	3	4
1.	Введение. Кинематический анализ стержневых систем		
1.1.	Цель и задачи дисциплины «Строительная механика»	Строительная механика, цель и задачи курса, связь с другими дисциплинами. Дисциплина «Строительная механика» является для студентов строительных специальностей одной из основных базовых дисциплин, в которой излагаются методы расчета конструкций и их элементов на прочность, жесткость и устойчивость с использованием современного вычислительного аппарата. В результате освоения этого курса бакалавр должен знать основные методы и практические приемы расчета реальных конструкций по всем предельным расчетным состояниям на различные воздействия. Расчетные схемы сооружений, их классификация. Предпосылки, используемые при решении задач строительной механики.	Проблемная лекция (1 час)
1.2.	Кинематический анализ стержневых систем	Системы геометрически неизменяемые и изменяемые. Проверка геометрической неизменяемости системы. Статический и кинематический анализ типов связей и опор. Степень свободы плоской стержневой системы, формулы для ее определения. Образование геометрически неизменяемых систем. Мгновенно изменяемые системы и способы проверки систем на мгновенную изменяемость.	Слайд-презентация (1 час)
2.	Расчет статически определимых систем		
2.1.	Статически определимые стержневые системы. Расчет многопролетных балок и рам	Свойства статически определимых систем, методы их расчета на неподвижную нагрузку. Расчет многопролетных балок и рам. Поэтажная расчетная схема как схема взаимодействия отдельных стержневых элементов.	Слайд-презентация (2 часа)

		Порядок расчета и проверка правильности построения эпюр внутренних усилий. Статическая проверка при расчете рам	
2.2.	Расчет трехшарнирных арок и рам	Классификация трехшарнирных систем. Пологие трехшарнирные арки. Виды арок по очертанию. Определение реакций в трехшарнирных арках и рамах с ломаным ригелем. Распор в трехшарнирных системах. Арки с затяжками. Расчет трехшарнирных арок и рам на вертикальную нагрузку. Определение усилий в сечениях арки: M , Q , N . Понятие о рациональной оси арки.	Слайд-презентация (1 час)
2.3.	Расчет балочных и консольно-балочных ферм на узловую нагрузку	Классификация ферм, область их применения. Методы расчета балочных и консольно-балочных ферм с простой решеткой на узловую нагрузку: метод вырезания узлов, метод сечений, графический метод.	Слайд-презентация (2 часа)
2.4.	Особенности определения усилий в статически определимых системах при подвижной нагрузке	Понятие линий влияния. Статический способ построения линий влияния. Линии влияния усилий в простой и многопролетных балках. Определение усилий по линиям влияния от различных видов неподвижной нагрузки.	-
3.	Основные теоремы о линейно - деформируемых системах и определение перемещений в статически определимых системах		
3.1.	Понятие о линейно-деформируемой системе. Принципы возможных перемещений	Понятие о линейно-деформируемой системе. Обобщенные силы и перемещения. Действительная работа внешних сил. Теорема Клапейрона о работе статически приложенной внешней нагрузки. Работа внутренних сил. Потенциальная энергия упругой системы. Возможная работа внешних и внутренних сил. Теорема Бетти о взаимности возможных работ. Теоремы о взаимности перемещений, реакций. Принцип возможных перемещений.	Слайд-презентация (1 час)
3.2.	Определение перемещений от нагрузки разными способами	Формулы Мора для определения перемещений от силового воздействия. Правило Верещагина и формула Симпсона для вычисления интегралов. Общий алгоритм определения перемещения точки по заданному направлению	Слайд-презентация (2 часа)
4.	Статически неопределимые системы. Метод сил		
4.1.	Алгоритм расчета статически неопределимых рам по методу сил	Свойства статически неопределимых систем. Степень статической неопределимости. Выбор основной системы. Канонические уравнения метода сил. Вычисление коэффициентов канонических уравнений и	Слайд-презентация (2 часа)

		их проверка. Рациональный выбор основной системы метода сил. Особенности расчета статически неопределимых рам по методу сил. Использование симметрии системы. Общий алгоритм расчета рам по методу сил. Построение эпюр внутренних усилий: M , Q , N . Проверка окончательных эпюр.	
4.2.	Расчет многопролетных неразрезных балок	Многопролетные неразрезные балки, эффективность их работы. Степень статической неопределимости. Оптимальный способ выбора основной системы метода сил. Вывод уравнений 3-х моментов для промежуточных опор. Определение фиктивных реакций с помощью таблиц. Алгоритм расчета неразрезных балок по методу сил. особенности расчета балок, защемленных и с консолями.	Слайд-презентация (2 часа)
5.	Расчет статически неопределимых систем методом перемещений		
5.1.	Сущность расчета статически неопределимых систем по методу перемещений	Степень кинематической неопределимости при расчете методом перемещений. Основная система. Построение единичных и грузовых эпюр в основной системе с помощью таблиц. Канонические уравнения метода перемещений. Вычисление коэффициентов канонических уравнений из равновесия фиктивных связей. Проверка правильности их определения. Построение окончательных эпюр внутренних усилий и их проверки.	Слайд-презентация (2 часа)
5.2.	Алгоритм расчета статически неопределимых рам и неразрезных балок по методу перемещений	Особенности выбора основной системы метода перемещений при расчете рам и балок. Использование симметрии системы. Общий порядок расчета статически неопределимых систем по методу перемещений.	Слайд-презентация (2 часа)
5.3.	Особенности расчета многопролетных и многоярусных рам	Упрощения, используемые при расчете многопролетных и многоярусных рам. Приближенный расчет рам на вертикальную и горизонтальную нагрузку. Особенности построения окончательных эпюр внутренних усилий.	Слайд-презентация (2 часа)
6.	Особенности расчета сооружений методом конечных элементов (МКЭ)		
6.1.	Сущность расчета по МКЭ на примере плоской задачи теории упругости	Идея метода МКЭ. Типы конечных элементов. Дискретизация системы на конечные элементы. Вектор внешних узловых сил. Учет граничных условий. Матрица жесткости конечного элемента и	-

		совокупности элементов. Основные уравнения МКЭ. Определение усилий в элементах. Особенности расчета континуальных систем МКЭ на примере плоской задачи теории упругости.	
6.2.	Расчет стержневых систем с использованием программно-вычислительных комплексов	Особенности расчета стержневых систем (балок, ферм, рам) МКЭ с помощью программно-вычислительных комплексов Лира, SCAD и др. Задаются геометрические параметры конструкции, характеристики материалов, действующие нагрузки, граничные условия. Производится разбивка на КЭ (стержни); нумерация узлов; указывается тип жесткости элементов. Осуществляется запуск программы, после чего получаем значения усилий в отдельных сечениях элементов (таблицы и эпюры усилий).	-
7.	Основы устойчивости и динамики сооружений		
7.1.	Основные понятия устойчивости сооружений.	Устойчивое и неустойчивое положение системы. Виды потери устойчивости сооружения. Критическая нагрузка. Степень свободы. Критерии устойчивости упругих систем. Задача Эйлера	-
7.2.	Основные понятия динамики сооружений.	Виды динамических нагрузок. Число степеней свободы системы. Динамическая расчетная схема сооружения. Инерционные силы. Свободные и вынужденные колебания системы.	-

4.3. Лабораторные работы
Учебным планом не предусмотрено.

4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование тем семинаров / практических занятий</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1.	Расчетная схема сооружений. Анализ геометрической неизменяемости сооружений.	4	-
2	2.	Определение усилий от неподвижной нагрузки в многопролетных статически определимых балках.	4	-
3	2.	Расчет плоских статически определимых рам.	8	-
4	2.	Расчет трехшарнирных арок и рам.	4	-
5	2.	Расчет балочных и консольно-балочных ферм на узловую нагрузку.	6	-

6	2.	Построение линий влияния усилий в балках. Определение усилий от неподвижной нагрузки по линиям влияния.	2	-
7	3.	Определение перемещений от нагрузки методом Мора, по правилу Верещагина и по методу Симпсона.	6	-
8	4.	Расчет статически неопределимых рам по методу сил. Построение эпюр внутренних усилий в статически неопределимых рамах. Проверки расчета.	8	Тестирование (2 час.)
9	4.	Расчет многопролетных неразрезных балок с помощью уравнений 3-х моментов.	6	-
10	5.	Расчет статически неопределимых рам по методу перемещений. Построение эпюр внутренних усилий. Проверки расчета.	8	Тестирование (2 час.)
11	5.	Расчет многопролетных неразрезных балок по методу перемещений.	4	-
12	6.	Расчет фермы с помощью программно-вычислительного комплекса SCAD.	4	Работа с компьютерной программой SCAD (4 час.)
13	6.	Расчет рамы с помощью программно-вычислительного комплекса SCAD.	4	Работа с компьютерной программой SCAD (4 час.)
ИТОГО			68	12

4.5. Контрольные мероприятия: РГР

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: РГР выполняется в виде пояснительной записки объемом 12-15 страниц формата А4 и включает в себя: титульный лист, задания, расчетную часть, список литературы.

5 семестр

Расчетно-графическая работа № 1

Цель: Освоение практических навыков расчета статически определимых стержневых систем.

Структура: РГР № 1 выполняется на листах формата А4; содержит 3 задачи, список литературы.

Основная тематика: Кинематический анализ стержневых систем. Расчет статически определимых систем на неподвижную нагрузку. Построение эпюр внутренних усилий.

Рекомендуемый объем: 12-15 страниц.

Расчетно-графическая работа № 2

Цель: Освоение практических навыков расчета статически определимых стержневых систем.

Структура: РГР № 2 выполняется на листах формата А4; содержит 2 задачи, список литературы.

Основная тематика: Кинематический анализ стержневых систем. Расчет плоской статически определимой фермы по разным методам. Определение усилий и перемещений в статически определимой плоской раме.

Рекомендуемый объем: 12-15 страниц.

6 семестр

Расчетно-графическая работа № 3

Цель: Освоение практических навыков расчета статически неопределимых рам и балок по методу сил.

Структура: РГР № 3 выполняется на листах формата А4; содержит решение 2 задач, список литературы.

Основная тематика: Кинематический анализ сооружения. Определение степеней статической неопределимости для рамы и балки. Расчет стержневых систем по методу сил. Построение эпюр внутренних усилий и проверка правильности выполнения расчета.

Рекомендуемый объем: 12-15 страниц пояснительной записки.

Расчетно-графическая работа № 4

Цель: Освоение практических навыков расчета статически неопределимых рам и балок по методу перемещений.

Структура: РГР № 4 выполняется на листах формата А4; содержит решение одной задачи, список литературы.

Основная тематика: Определение степени кинематической неопределимости системы. Определение внутренних усилий в рамах и балках по методу перемещений. Построение эпюр внутренних усилий и проверка правильности выполнения расчета.

Рекомендуемый объем: 10-12 страниц пояснительной записки.

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

Оценка	Критерии оценки защиты РГР
1	2
зачтено	Ставится обучающемуся, который в срок, в полном объеме и на высоком уровне выполнил РГР; 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 для их решения соответствующий физико-математический аппарат; знает нормативную базу в области принципов проектирования зданий, сооружений; владеет методами математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием программно-вычислительных комплексов.
не зачтено	Допущены существенные недостатки в оформлении РГР: имеются отступления от содержания РГР; 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, слабо привлекает для их решения соответствующий физико-математический аппарат; плохо знает нормативную базу в области

	<p>принципов проектирования зданий, сооружений; не владеет методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием программно-вычислительных комплексов; 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>Компетенции</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>			<i>Σ комп.</i>	<i>t_{ср}, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
			<i>ОПК</i>	<i>ПК</i>					
			<i>2</i>	<i>1</i>	<i>14</i>				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Введение. Кинематический анализ стержневых систем.		17	+	+	+	3	5,67	Лк, ПЗ, СР	РГР, зачет, экзамен
2. Расчет статически определимых систем.		66	+	+	+	3	22	Лк, ПЗ, СР	РГР, зачет, экзамен
3. Основные теоремы о линейно - деформируемых системах и определение перемещений в статически определимых системах		25	+	+	+	3	8,33	Лк, ПЗ, СР	РГР, зачет, экзамен
4. Статически неопределимые системы. Метод сил		30	+	+	+	3	10	Лк, ПЗ, СР	РГР, экзамен
5. Расчет статически неопределимых систем методом перемещений		25	+	+	+	3	8,33	Лк, ПЗ, СР	РГР, экзамен
6. Особенности расчета сооружений методом конечных элементов (МКЭ)		12	+	+	+	3	4	Лк, ПЗ, СР	экзамен
7. Основы устойчивости и динамики сооружений		5	+	+	+	3	1,67	Лк, СР	экзамен
всего часов		180	60	60	60	3	60	-	-

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.

3. Сорока М.Д., Жердева С.А. Расчет строительных конструкций с использованием ПК SCAD. Методические указания для самостоятельной работы по дисциплине «Строительная механика» для студентов, обучающихся по направлению «Строительство» / М.Д. Сорока, С.А. Жердева – Братск: ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2014. – 33с.

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

№	<i>Наименование издания</i>	<i>Вид занятия (Лк, ПЗ, СР, РГР)</i>	<i>Количество экземпляров в библиотеке, шт.</i>	<i>Обеспеченность</i>
1	2	3	4	5
Основная литература				
1.	Шеин, А.И. Краткий курс строительной механики : учебник для вузов / А. И. Шеин. – Москва : Бастет, 2011. – 272 с.	Лк, ПЗ, РГР, СР	20	1,0
2.	Строительная механика. В 2 кн.: учебник для вузов / Под ред. В. Д. Потапова. – Москва : Высшая школа. Кн.1 : Статика упругих систем. – 2007. – 511 с.	Лк, ПЗ, РГР, СР	12	0,6
3.	Васильков, Г. В. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений: учебное пособие / Г. В. Васильков, З. В. Буйко. - Санкт-Петербург : Лань, 2013. 256 с.	Лк, ПЗ, РГР, СР	10	0,5
4.	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, РГР, СР	15	0,75
Дополнительная литература				
5.	Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ,1996. – 541 с.	Лк, ПЗ, РГР, СР	49	1,0
6.	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, РГР, СР	19	1,0
7.	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, РГР, СР	20	1,0
8.	Саргсян А.Е. Строительная механика. Механика инженерных конструкций: учебник/ А.Е.Саргсян.- М.: Высш. шк., 2004.- 462с.	Лк, ПЗ, СР	38	1,0

1	2	3	4	5
9.	Карпов В.В., Люблинский В.А., Коваленко Г.В. Вариационные методы и вариационные принципы в задачах механики: Учебн. пособие. – Братск: ГОУ ВПО «БрГТУ», 2004. – 108 с.	Лк, СР	67	1,0
10.	Вагер Б.Г., Бороздин О.П., Коваленко Г.В. Численные методы и математическое моделирование в расчетах строительных конструкций: Учеб. пособие. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2004 г. – 146 с.	Лк, СР	51	1,0
11.	Синицын С.Б. Строительная механика в методе конечных элементов стержневых систем.- М.: АСВ, 2002.- 319с.	Лк, ПЗ, СР	20	1,0
12.	Дарков А. В. Шапошников Н.Н. Строительная механика: Учеб. для строит. спец. вузов.- 8-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.шк, 1986.- 606с.	Лк, ПЗ, РГР, СР	235	1,0
13.	Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Статика стержневых систем. //Под ред. Г.К. Клейна. - М.: Высшая школа, 1980. – 384 с.	ПЗ, РГР, СР	125	1,0
14.	Коваленко, Г. В. Строительная механика: методические указания и контрольные задания / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2013. - 35 с.	ПЗ, РГР, СР	141	1,0
15.	Коваленко, Г. В. Примеры расчета плоских стержневых систем: учебно-методическое пособие / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2014. - 126 с.	Лк, ПЗ, РГР, СР	52	1,0
16.	Сорока М.Д., Жердева С.А. Расчет строительных конструкций с использованием ПК SCAD. Методические указания для самостоятельной работы по дисциплине «Строительная механика» для студентов, обучающихся по направлению «Строительство» / М.Д. Сорока, С.А. Жердева – Братск: ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2014. – 33с.	ПЗ, РГР, СР	74	1,0

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=.
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 и защита расчетно-графических 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;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка и защита расчетно-графических работ;
- подготовка к зачету и экзамену.

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ

Практическое занятие № 1 – Расчетная схема сооружений. Анализ геометрической неизменяемости сооружений.

Цель работы: Научиться правильно выполнять статический и кинематический анализ расчетной схемы сооружения.

Задание:

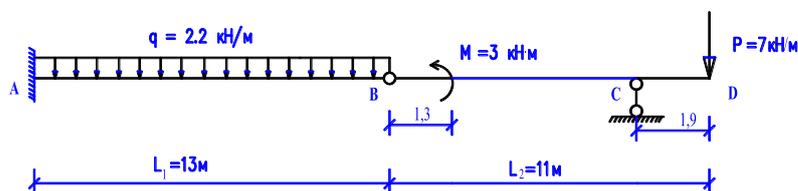
1. Для заданных расчетных схем (пример 1, 2, 3) выполнить проверку геометрической неизменяемости и статической определимости плоской стержневой системы, используя аналитический метод.

2. Выполнить кинематический анализ работы конструкции на основании правил образования геометрически неизменяемых систем, т.е. выполнить сборку-разборку дисков.

Порядок выполнения:

Пример 1.

Для заданной балки требуется выполнить кинематический анализ:



Число степеней свободы для геометрически неизменяемой системы должно соответствовать условию:

$$W = 3D - 2Ш - C_{оп} \leq 0$$

где D - количество дисков в системе;

$Ш$ - количество шарниров;

$C_{оп}$ - количество опорных стержней;

Для заданной балки $D = 2$; $Ш = 1$; $C_{оп} = 4$. Подставим данные параметры в формулу и получаем:

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

Система является статически определимой и может быть геометрически неизменяемой.

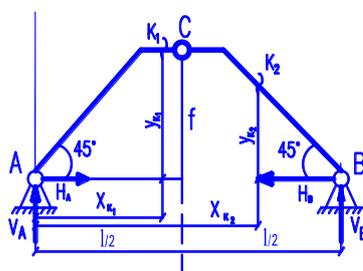
Для окончательной проверки геометрической неизменяемости выполняем структурный анализ системы (сборку-разборку дисков): диск AB крепится к неподвижному основанию с помощью трех опорных стержней (в заделке A), которые не параллельны и не пересекаются в одной точке.

Следовательно 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.

Пример 2.

Для заданной трехшарнирной рамы требуется выполнить кинематический анализ.



Определим число степеней свободы системы, которое должно удовлетворять условию ее геометрической неизменяемости:

$$W = 3D - 2Ш - C_{оп} \leq 0.$$

Количество дисков $D = 2$; шарниров $Ш = 1$; опорных стержней $C_{оп} = 4$.

Число степеней свободы для заданной рамы:

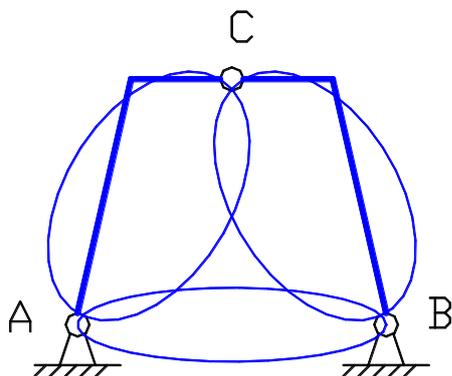
$$W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 1 - 4 = 0.$$

Рассматриваемая рама является статически определимой и может быть геометрически неизменяемой.

Для окончательной проверки геометрической неизменяемости системы нужно выполнить структурный анализ на основании простейших правил образования геометрически неизменяемых систем.

Поскольку трехшарнирная рама представляет собой два диска, соединенных между

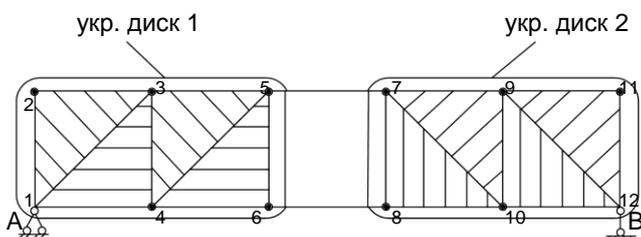
собой и с третьим диском (основанием) с помощью трех шарниров (А, В, С), не лежащих на одной прямой, то она является геометрически неизменяемой системой и неподвижной относительно основания.



Пример 3.

Выполнить кинематический анализ фермы:

Задача



$$D=20$$

$$Ш=2+4(3-1)+6(4-1)=28$$

$$C_{оп} = 3$$

$$W=3 \cdot 20 - 2 \cdot 28 - 3 = 1 > 0$$

Система геометрически изменяемая. Выполним сборку-разборку дисков для окончательной проверки геометрической изменяемости системы.

$\Delta 1-2-3$ – диск, присоединяем парой стержней новые узлы; укрупняем диски с одной и другой стороны.

2 укрупненных диска соединяются с помощью 2-х параллельных стержней 5-7 и 6-8. Следовательно вся система является геометрически изменяемой

Форма отчетности: Все задачи, связанные с кинематическим анализом расчетных схем, должны быть выполнены в рабочей тетради с построением рисунков и необходимыми пояснениями.

Задания для самостоятельной работы:

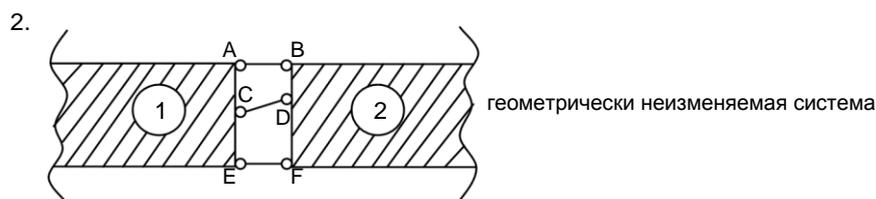
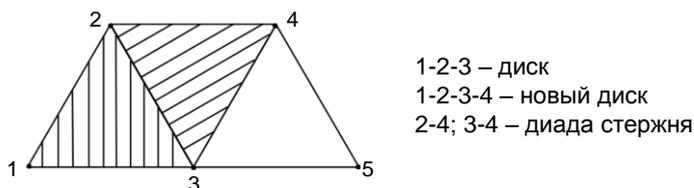
1. Проработка лекционного материала.
2. Освоить анализ мгновенной изменяемости систем.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

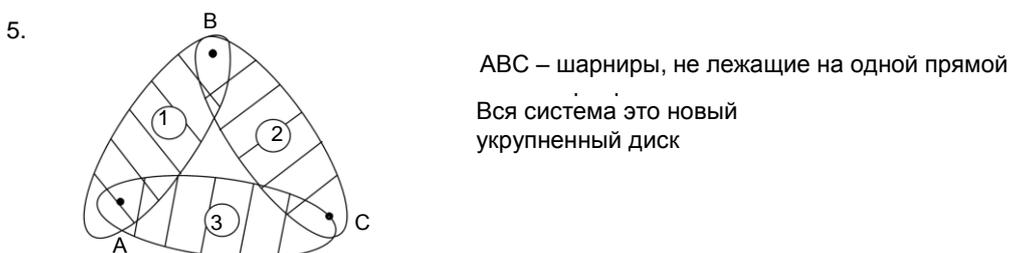
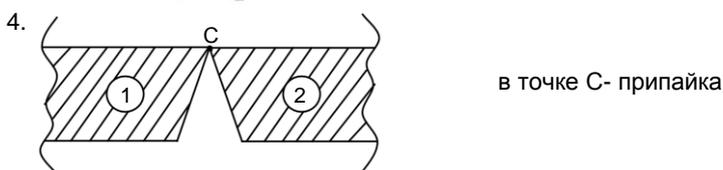
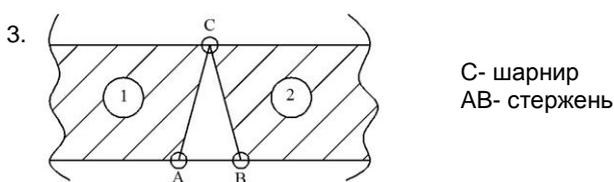
Анализ геометрической неизменяемости заключается в необходимости доказательства правильности расположения внутренних и внешних связей, что определяет геометрическую неизменяемость системы.

Для этого необходимо знать следующие простейшие правила сборки дисков для обеспечения геометрической неизменяемости системы:

1. Если к треугольному диску присоединить 2-мя стержнями узел, получается новая геометрически неизменяемая система. Аналогично могут присоединяться последующие узлы.



21



22

Рекомендуемые источники

Основная литература

1. Шейн, А.И. Краткий курс строительной механики : учебник для вузов / А. И. Шейн. – Москва : Бастет, 2011. – 272 с.
2. Строительная механика. В 2 кн.: учебник для вузов / Под ред. В. Д. Потапова. – Москва : Высшая школа. Кн.1 : Статика упругих систем. – 2007. – 511 с.
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.

Дополнительная литература

1. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ, 1996. – 541 с.
2. 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.
3. Саргсян А.Е. Строительная механика. Механика инженерных конструкций: учебник/ А.Е.Саргсян.- М.: Высш. шк., 2004.- 462с.
4. Дарков А. В. Шапошников Н.Н. Строительная механика: Учеб. для строит. спец. вузов.- 8-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.шк, 1986.- 606с.
5. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Статика стержневых систем. //Под ред. Г.К. Клейна. - М.: Высшая школа, 1980. – 384 с.
6. Коваленко, Г. В. Примеры расчета плоских стержневых систем: учебно-методическое пособие / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2014. - 126 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое диск?
2. Число степеней свободы стержневой системы.
3. Необходимое, но недостаточное условие обеспечения геометрической неизменяемости системы.
4. Простейшие правила образования геометрически неизменяемых систем.
5. Условие статической определимости системы.
6. Что такое мгновенная изменяемость системы и когда она может возникнуть?

Практическое занятие № 2 – Определение усилий от неподвижной нагрузки в многопролетных статически определимых балках.

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 .

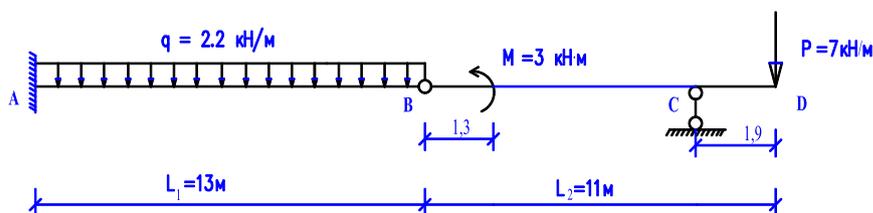


Рис.1

Порядок выполнения:

1. Кинематический анализ и составление поэтажной схемы балки
Число степеней свободы для геометрически неизменяемой системы должно соответствовать условию:

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

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

Для заданной балки $D = 2$, $Ш = 1$, $C_{оп} = 4$. 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).

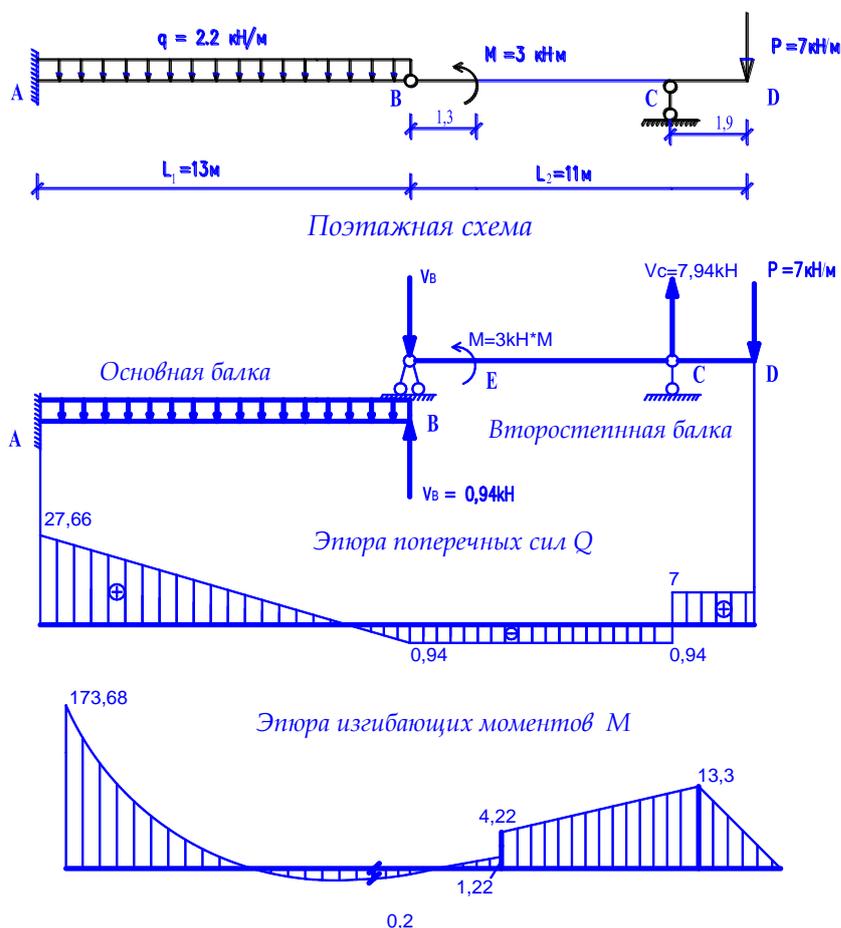


Рис. 2

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).

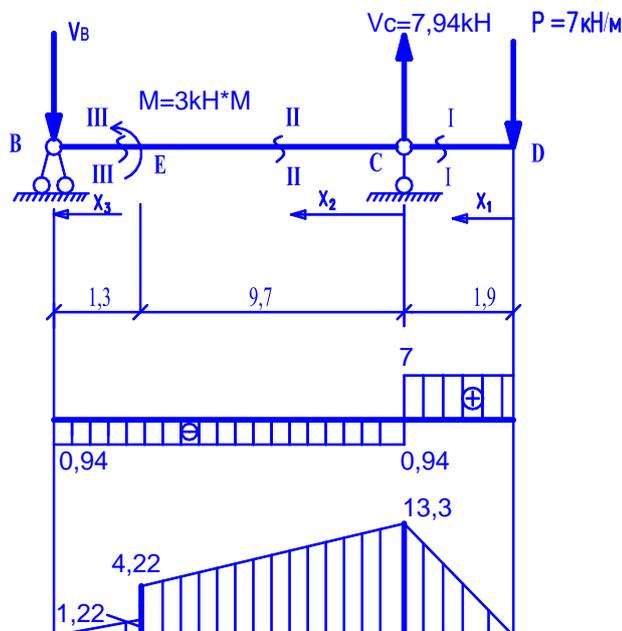


Рис. 3

Сумма моментов, относительно опоры B :

$$\begin{aligned} \sum M_B = 0: \quad & -P(l_2 + a) + M + l_2 \cdot V_c = 0, \\ & -7 \cdot 12,9 + 3 + 11V_c = 0, \\ & 11V_c = 87,3 \text{ кН} \Rightarrow V_c = 7,94 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Сумма моментов относительно опоры C :

$$\begin{aligned} \sum M_C = 0: \quad & -V_B l_2 + M - a \cdot P = 0, \\ & -11V_B = 10,3 \text{ кН} \Rightarrow V_B = -0,94 \text{ кН}. \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \sum y = 0: \quad & V_c + V_B - P = 0, \\ & 7,94 - 0,94 - 7 = 0, \\ & 7,94 - 7,94 = 0. \end{aligned}$$

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.

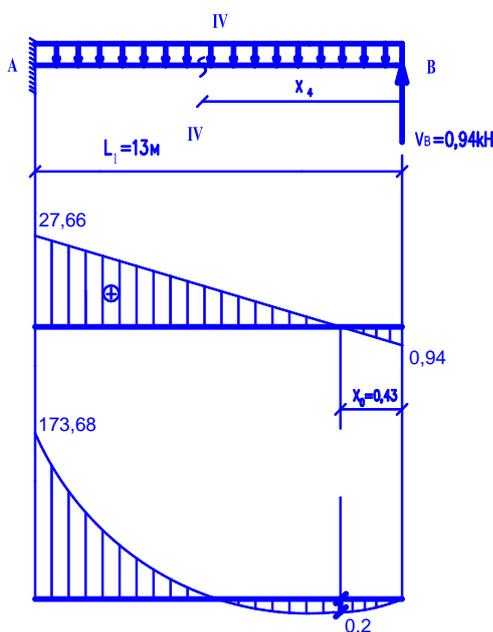


Рис. 4

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: $Q_B = -0,94 \text{ кН}$;

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

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

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})

$$Q = -0,94 + 2,2X_0 = 0 \text{ м};$$

$$2,2X_0 = 0,94 \text{ м.}$$

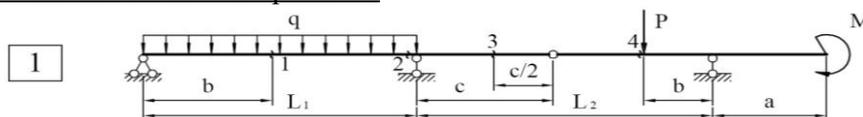
При $X_0 = 0,43$ м величина максимального значения изгибающего момента на эюре M :

$$M_{\max} = V_B \cdot X_0 - q \cdot \frac{X_0^2}{2} =$$

$$= 0,94 \cdot 0,43 - 2,2 \cdot \frac{0,43^2}{2} = 0,404 - 0,203 \approx 0,2 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Форма отчетности: Выполнение заданий на практических занятиях в рабочей тетради и подготовка расчетно-графической работы.

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.

Рекомендуемые источники

Основная литература

1. Шеин, А.И. Краткий курс строительной механики: учебник для вузов / А. И. Шеин. – Москва: Бастет, 2011. – 272 с.
2. 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.

Дополнительная литература

1. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ, 1996. – 541 с.
2. 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.
3. Коваленко, Г. В. Примеры расчета плоских стержневых систем: учебно-методическое пособие / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2014. - 126 с.
4. Коваленко, Г. В. Строительная механика: методические указания и контрольные задания / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2013. - 35 с.

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. По формуле Чебышева ($L = C_0 + 2III - 3D$) 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 эюр Q и M .
4. Правила составления поэтажной схемы в многопролетных шарнирных балках.

5. Проверка правильности построения эпюр.

Практическое занятие № 3 – Расчет плоских статически определимых рам.

Цель работы: научиться строить эпюры внутренних усилий в статически определимых рамах.

Задание: для заданной рамы требуется:

Выполнить кинематический анализ и проверить статическую определимость;

Построить эпюры внутренних усилий M , Q и N ;

Выполнить проверку правильности построения эпюр.

Порядок выполнения:

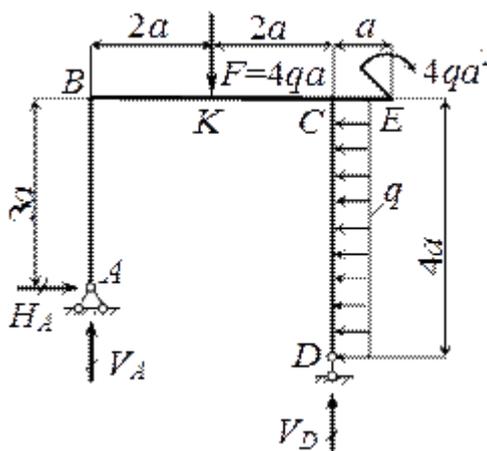


Рис. 1

Решение.

1. *Определение опорных реакций.*

Составляем уравнения равновесия:

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

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

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

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

2. *Построение эпюр 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 эпюру 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 эпюра M_x на участках BK и KC .

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

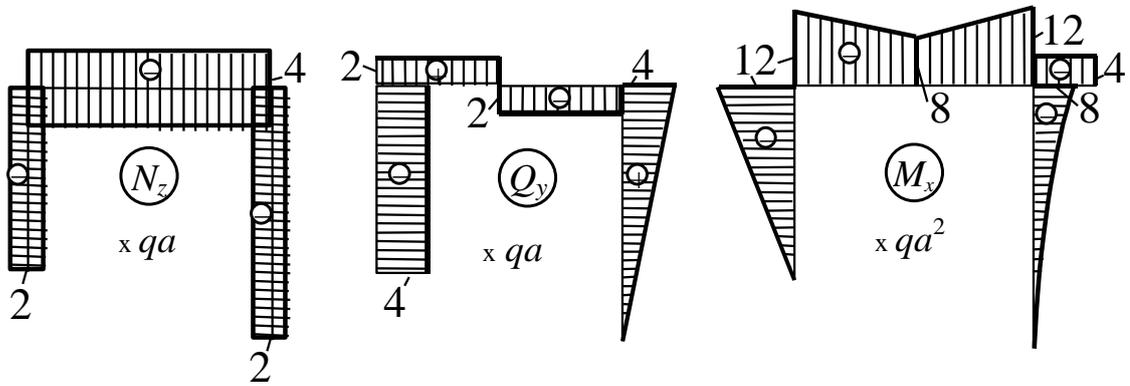


Рис. 2

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: Выполнение заданий на практических занятиях осуществляется в рабочей тетради; задания по самостоятельной работе – при подготовке РГР.

Задания для самостоятельной работы:

1. Освоить расчет плоских статически определимых составных рам (рис. 3), расчет которых сводится к расчету простых рам, рассмотренных выше.

Плоские статически определимые составные рамы

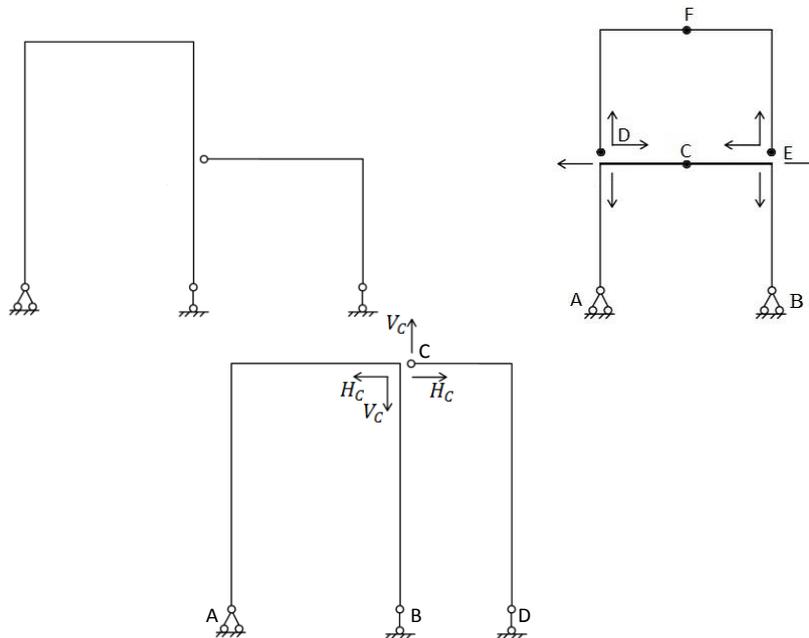


Рис. 3

2. Знать последовательность расчета:
- выполнить кинематический анализ рамы;
 - составить расчетную схему: выделить второстепенную часть рамы и основную;
 - расчет начинать с второстепенной рамы; построить эпюры M , Q , N , сделать проверки;
 - затем выполнить расчет основной рамы, при этом передать нагрузку от второстепенной рамы в виде сосредоточенных сил, равных и противоположно направленных реакциям второстепенной балки; построить эпюры M , Q , N , сделать их проверки.



Рис. 4

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию
 Проработка лекционного материала. Знать правила знаков при определении внутренних усилий в элементах рамы и уметь использовать метод сечений.

Рекомендуемые источники

Основная литература

1. Шеин, А.И. Краткий курс строительной механики : учебник для вузов / А. И. Шеин. – Москва : Бастет, 2011. – 272 с.
2. 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.

Дополнительная литература

1. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ, 1996. – 541 с.
2. 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.
3. Дарков А. В. Шапошников Н.Н. Строительная механика: Учеб. для строит. спец. вузов.- 8-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.шк., 1986.- 606с.
4. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Статика стержневых систем. //Под ред. Г.К. Клейна. - М.: Высшая школа, 1980. – 384 с.

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Какие элементы входят в состав рамы?
2. Какие внутренние усилия возникают в элементах плоской рамы?
3. Какие правила знаков используют при определении внутренних усилий в плоской раме?
4. Со стороны каких волокон строят эпюру моментов в строительных конструкциях?

Практическое занятие № 4 – Расчет трехшарнирных арок и рам.

Цель работы: Освоить методы расчета трехшарнирных систем. Научиться определять внутренние усилия в заданных сечениях арок или рам.

Задание:

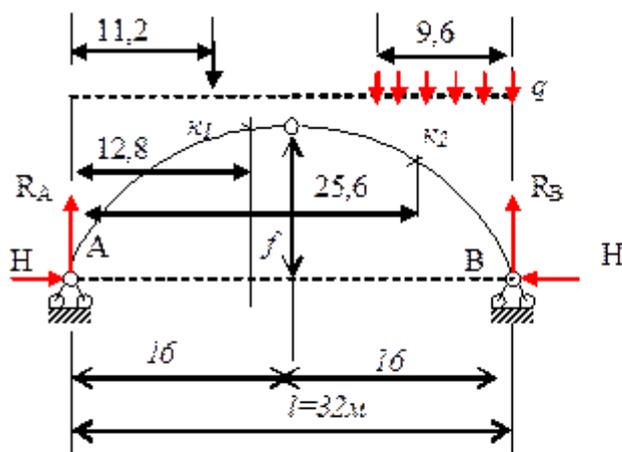
1. Определить внутренние усилия (M , Q , N) в сечениях K_1 и K_2 трехшарнирной арки кругового очертания.
2. На примере № 2 определить усилия в заданных сечениях для арки, очерченной по квадратной параболе.

Порядок выполнения:

1. Рассчитать арку с заданными исходными данными в примере 1.
2. Определить усилия в трехшарнирной арке (сечения K_1 и K_2) с заданными исходными данными в примере 2.

Пример 1.

Для сплошной трехшарнирной арки требуется определить аналитически изгибающие моменты, поперечные и продольные силы в сечениях K_1 и K_2 от действия постоянной заданной нагрузки.



Дано: $l = 32\text{м}$; $q = 6\text{кН/м}$; $f/l = 0,35$; $P = 3\text{кН}$.

Очертание оси арки – окружность.

$$R = \frac{f}{2} + \frac{l^2}{8f}$$
, где R – радиус окружности, по которой очерчена арка.

Уравнение оси:

$$y = \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2} - x\right)^2} - R + f$$

Функции угла наклона касательной:

$$\sin \varphi = \frac{l - 2x}{2R}; \quad \cos \varphi = \frac{y + R - f}{R}$$

Решение:

1) Вычисление геометрических характеристик:

$$f = 0,35l = 0,35 \cdot 32 = 11,2\text{м};$$

$$R = \frac{11,2}{2} + \frac{32^2}{8 \cdot 11,2} = 17,03\text{м};$$

$$y_{x_1} = \sqrt{17,03^2 - \left(\frac{32}{2} - 12,8\right)^2} - 17,03 + 11,2 = 10,9 \text{ м}$$

$$\sin \varphi_{x_1} = \frac{32 - 2 \times 12,8}{2 \times 17,03} = 0,1879; \quad \cos \varphi_{x_1} = \frac{10,9 + 17,03 - 11,2}{17,03} = 0,9822.$$

$$y_{x_2} = \sqrt{17,03^2 - \left(\frac{32}{2} - 25,6\right)^2} - 17,03 + 11,2 = 8,24 \text{ м}$$

$$\sin \varphi_{x_2} = \frac{32 - 2 \times 25,6}{2 \times 17,03} = -0,5637; \quad \cos \varphi_{x_2} = \frac{8,24 + 17,03 - 11,2}{17,03} = 0,8262.$$

2) Вычисление опорных реакций:

$$\sum M_B = 0: \quad -R_A \times 32 + P \times (32 - 11,2) + q \times 9,6 \times 4,8 = 0;$$

$$R_A = \frac{3 \times 20,8 + 6 \times 9,6 \times 4,8}{32} = 10,6 \text{ кН}.$$

$$\sum M_A = 0: \quad R_B \times 32 - 3 \times 11,2 - 6 \times 9,6 \times (32 - 4,8) = 0;$$

$$R_B = \frac{3 \times 11,2 + 6 \times 9,6 \times 27,2}{32} = 50 \text{ кН}.$$

Проверка:

$$\sum Y = R_A + R_B - P - q \times 9,6 = 10,6 + 50 - 3 - 6 \times 9,6 = 60,6 - 60,6 = 0.$$

Вертикальные реакции найдены верно.

$$\sum M_C^{\text{ле}} = 0: \quad H_A f - R_A \times 16 + P \times (16 - 11,2) = 0;$$

$$H_A = \frac{10,6 \times 16 - 3 \times 4,8}{32} = 13,84 \text{ кН}.$$

$$\sum M_C^{\text{пра}} = 0: \quad -H_B f + R_B \times 10 - q \times 9,6 \times (16 - 4,8) = 0;$$

$$H_B = \frac{50 \times 16 - 6 \times 9,6 \times 11,2}{32} = 13,84 \text{ кН}.$$

Проверка:

$$\sum X = H_A - H_B = 13,84 - 13,84 = 0.$$

Горизонтальные реакции найдены верно.

3. Вычисление внутренних усилий

Балочные значения:

$$M_{x_1}^0 = R_A x_{x_1} - P(x_{x_1} - 11,2) = 10,6 \times 12,8 - 3(12,8 - 11,2) = 130,75 \text{ кНм};$$

$$Q_{x_1}^0 = R_A - P = 10,6 - 3 = 7,6 \text{ кН}.$$

$$M_{x_2}^0 = R_B \times (l - x_{x_2}) - q \times (l - x_{x_2}) \times \frac{(l - x_{x_2})}{2} = 50 \times 6,4 - 6 \times 6,4 \times 3,2 = 197,2 \text{ кНм};$$

$$Q_{x_2}^0 = -R_B + q \times (l - x_{x_2}) = -50 + 6 \times 6,4 = -11,6 \text{ кН}.$$

Усилия в сечениях арки:

$$M_{x_1} = M_{x_1}^0 - H y_{x_1} = 130,75 - 13,84 \times 10,9 = -20,06 \text{ кНм};$$

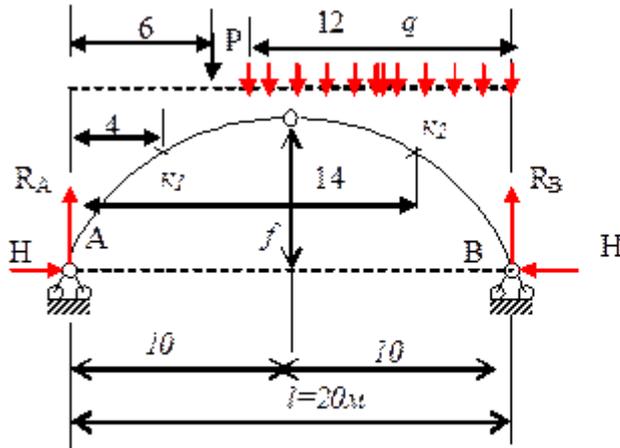
$$Q_{x_1} = Q_{x_1}^0 \cos \varphi_{x_1} - H \sin \varphi_{x_1} = 7,6 \times 0,9822 - 13,84 \times 0,1879 = 4,85 \text{ кН};$$

$$N_{x_1} = -(Q_{x_1}^0 \sin \varphi_{x_1} + H \cos \varphi_{x_1}) = -(7,6 \times 0,1879 - 13,84 \times 0,9822) = -15 \text{ кН}.$$

$$\begin{aligned}
 M_{x_2} &= M_{x_2}^0 - Hy_{x_2} = 197,2 - 13,84 \times 8,24 = 83,14 \text{ кНм}; \\
 Q_{x_2} &= Q_{x_1}^0 \cos \varphi_{x_2} - H \sin \varphi_{x_2} = -11,4 \times 0,8262 - 13,84 \times (-0,5637) = -1,79 \text{ кН}; \\
 N_{x_2} &= -(Q^0 \sin \varphi_{x_2} + H \cos \varphi_{x_2}) = -(-11,4 \times (-0,5637) + 13,84 \times 0,8262) = -18 \text{ кН}.
 \end{aligned}$$

Пример 2.

Определить изгибающие моменты, поперечные и продольные силы в сечениях κ_1 и κ_2 от действия заданной нагрузки.



Дано: $P=6$ кН, $q=4$ кН/м, $l=20$ м, $f=6$ м, ось арки - парабола. Уравнение оси:

$$y = \frac{4f}{l^2} x(l-x)$$

Решение.

1. Вычисление геометрических характеристик сечений.

По уравнению оси находим:

$$tg \varphi = \frac{dy}{dx} = \frac{4f}{l^2} (l-2x); \quad \cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2 x}}; \quad \sin x = \frac{tg x}{\sqrt{1+tg^2 x}}$$

Ординаты сечений:

$$y_{\kappa_1} = \frac{4f}{l^2} x_{\kappa_1} (l-x_{\kappa_1}) = \frac{4 \times 6}{20^2} 4(20-4) = 3,84 \text{ м.}$$

$$y_{\kappa_2} = \frac{4f}{l^2} x_{\kappa_2} (l-x_{\kappa_2}) = \frac{4 \times 6}{20^2} 14(20-14) = 5,04 \text{ м.}$$

Характеристики углов наклона касательных к оси:

$$tg \varphi_{\kappa_1} = \frac{4f}{l^2} (l-2x_{\kappa_1}) = \frac{4 \times 6}{20^2} (20-2 \times 4) = 0,7392;$$

$$\cos \varphi_{\kappa_1} = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2 \varphi_{\kappa_1}}} = \frac{1}{\sqrt{1+0,7392^2}} = 0,806;$$

$$\sin \varphi_{\kappa_1} = \frac{tg \varphi_{\kappa_1}}{\sqrt{1+tg^2 \varphi_{\kappa_1}}} = \frac{0,7392}{\sqrt{1+0,7392^2}} = 0,596.$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{x_2} = \frac{4f}{l^2}(l - 2x_{x_2}) = \frac{4 \times 6}{20^2}(20 - 2 \times 14) = -0,48;$$

$$\cos \varphi_{x_2} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_{x_2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (-0,48)^2}} = 0,902;$$

$$\sin \varphi_{x_2} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_{x_2}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_{x_2}}} = \frac{-0,48}{\sqrt{1 + (-0,48)^2}} = -0,4328.$$

2. Определение опорных реакций

$$\sum M_B = 0: -R_A l + P \times 14 + q \times 12 \times 6 = 0; R_A = \frac{6 \times 14 + 4 \times 12 \times 6}{20} = 18,6 \text{ кН.}$$

$$\sum M_A = 0: R_B l - P \times 6 - q \times 12 \times 14 = 0; R_B = \frac{6 \times 6 + 4 \times 12 \times 14}{20} = 35,4 \text{ кН.}$$

Проверка:

$$\sum Y = R_A + R_B - P \times 14 - q \times 12 = 18,6 + 35,4 - 6 - 4 \times 12 = 54 - 54 = 0.$$

Вертикальные реакции найдены верно.

$$\sum M_C^{\text{лев}} = 0: -H_A f - R_A \times 10 + P \times 4 + q \times 2 \times 1 = 0;$$

$$H_A = \frac{18,6 \times 10 - 6 \times 4 - 4 \times 2}{20} = 25,67 \text{ кН.}$$

$$\sum M_C^{\text{прав}} = 0: -H_B f + R_B \times 10 - q \times 10 \times 5 = 0;$$

$$H_B = \frac{35,4 \times 10 - 4 \times 10 \times 5}{20} = 25,67 \text{ кН.}$$

Проверка:

$$\sum X = H_A - H_B = 25,67 - 25,67 = 0.$$

Горизонтальные реакции найдены верно.

3. Вычисление внутренних усилий

Балочные значения:

$$M_{x_1}^0 = R_A \times 4 = 18,6 \times 4 = 74,4 \text{ кНм}; Q_{x_1}^0 = R_A = 18,6 \text{ кН.}$$

$$M_{x_2}^0 = R_B \times 6 - q \times 6 \times 3 = 35,4 \times 6 - 4 \times 6 \times 3 = 140,4 \text{ кНм};$$

$$Q_{x_2}^0 = -R_B + q \times 6 = -35,4 + 4 \times 6 = 11,4 \text{ кН.}$$

Усилия в сечениях арки:

$$M_{x_1} = M_{x_1}^0 - H y_{x_1} = 74,4 - 25,67 \times 3,84 = -24 \text{ кНм};$$

$$Q_{x_1} = Q_{x_1}^0 \cos \varphi_{x_1} - H \sin \varphi_{x_1} = 18,6 \times 0,806 - 25,67 \times 0,596 = 0,309 \text{ кН};$$

$$N_{x_1} = -(Q_{x_1}^0 \sin \varphi_{x_1} + H \cos \varphi_{x_1}) = -(18,6 \times 0,596 - 25,67 \times 0,806) = -31,8 \text{ кН.}$$

$$M_{x_2} = M_{x_2}^0 - H y_{x_2} = 140,4 - 25,67 \times 5,04 = 5,98 \text{ кНм};$$

$$Q_{x_2} = Q_{x_2}^0 \cos \varphi_{x_2} - H \sin \varphi_{x_2} = -11,4 \times 0,902 - 25,67 \times (-0,48) = 0,839 \text{ кН};$$

$$N_{x_2} = -(Q_{x_2}^0 \sin \varphi_{x_2} + H \cos \varphi_{x_2}) = -(-11,4 \times (-0,4328) + 25,67 \times 0,902) = -28,06 \text{ кН.}$$

Форма отчетности: Выполнить расчеты в рабочей тетради с рисунками, формулами и необходимыми пояснениями и подготовить РГР.

Задания для самостоятельной работы:

1. Определить в каждом примере рациональное очертание оси арки.
2. Построить в каждом примере эпюры балочных усилий (M^0 ; Q^0).

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

1. Освоить определение вертикальных и горизонтальных реакций (распора) в трехшарнирных арках.
2. Уметь определять координаты заданных сечений, исходя из геометрических параметров арок.
3. Знать и уметь определять тригонометрические функции угла наклона касательной к заданному сечению (φ_K).
4. Вначале необходимо выполнить расчет эквивалентной балки, определить балочные усилия в следующих сечениях: M_C^0 ; $M_{K_1}^0$; $M_{K_2}^0$; $Q_{K_1}^0$; $Q_{K_2}^0$.
5. По известным формулам найти усилия в заданных сечениях арки. При этом следует запомнить, что продольная сила N в любых сечениях арки будет сжимающей.

Рекомендуемые источники

Основная литература

1. Шейн, А.И. Краткий курс строительной механики : учебник для вузов / А. И. Шейн. – Москва : Бастет, 2011. – 272 с.
2. Строительная механика. В 2 кн.: учебник для вузов / Под ред. В. Д. Потапова. – Москва: Высшая школа. Кн.1: Статика упругих систем. – 2007. – 511 с.
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.

Дополнительная литература

1. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ,1996. – 541 с.
2. 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.
3. Саргсян А.Е. Строительная механика. Механика инженерных конструкций: учебник/ А.Е.Саргсян.- М.: Высш. шк., 2004.- 462с.
4. Дарков А. В.Шапошников Н.Н. Строительная механика: Учеб. для строит. спец. вузов.- 8-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.шк, 1986.- 606с.
5. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Статика стержневых систем. //Под ред. Г.К. Клейна. - М.: Высшая школа, 1980. – 384 с.
6. Коваленко, Г. В. Строительная механика: методические указания и контрольные задания / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2013. - 35 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Чем отличается работа балочных систем от арочных?
2. Что такое распор в арке?
3. Для чего нужна затяжка в арке?
4. Какие усилия возникают в стержне арки?
5. Что такое стрела подъема арки?

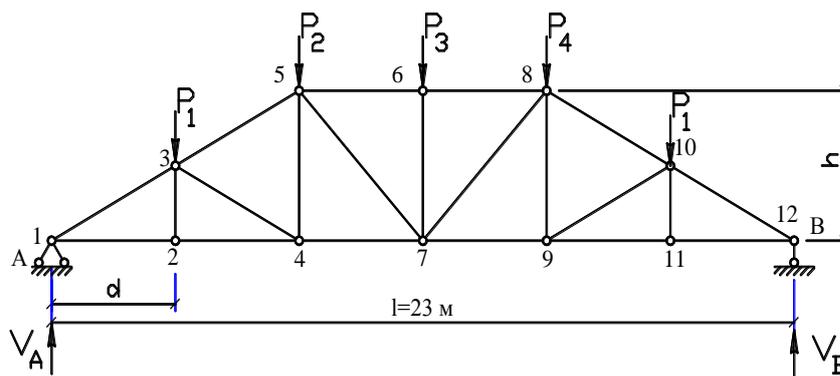
Практическое занятие № 5 – Расчет балочных и консольно-балочных ферм на узловую нагрузку.

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:

$$\sum M = 0; \quad -V_B \cdot l + P_5 \cdot \frac{l \cdot 5}{6} + P_4 \cdot \frac{l \cdot 4}{6} + P_3 \cdot \frac{l \cdot 3}{6} + P_2 \cdot \frac{l \cdot 2}{6} + P_1 \cdot \frac{l}{6} = 0;$$

$$-V_B \cdot 23 + \frac{184}{6} + \frac{73,6}{3} + \frac{36,8}{2} + \frac{36,8}{3} + \frac{36,8}{6} = 0;$$

$$-V_B \cdot 23 + \frac{184 + 147,2 + 110,4 + 73,6 + 36,8}{6} = 0;$$

$$-V_B \cdot 23 = -92 \Rightarrow V_B = 4 \text{ кН.}$$

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.

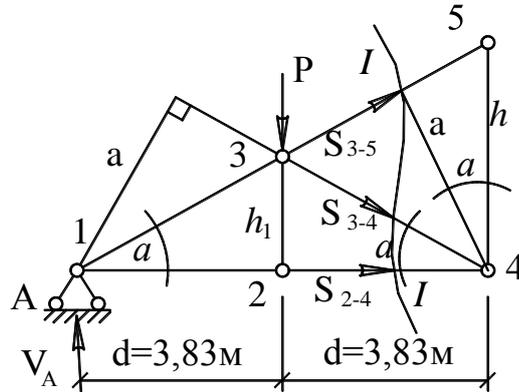


Рис. 1

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, разрежем 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 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).

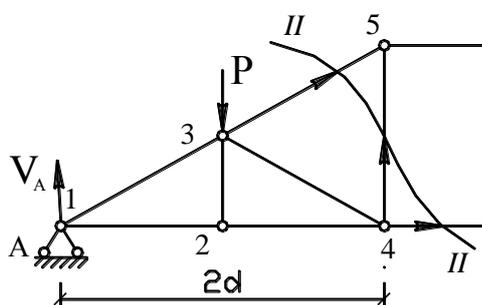


Рис. 2

Усилия в остальных стержнях определим по методу вырезания узлов.

Узел 1:

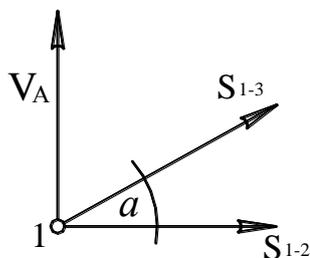


Рис. 3

Условия равновесия в узле:

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

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

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

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

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

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

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

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

Узел 2:

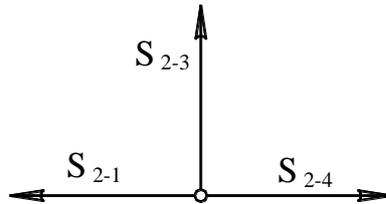


Рис. 4

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

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

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:

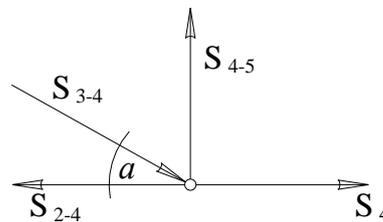


Рис. 5

$$S_{2-4} = 6,81 \text{ кН}; \quad S_{3-4} = 1,58 \text{ кН}; \quad S_{4-5} = 0,8 \text{ кН};$$

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

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

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

Узел 5:

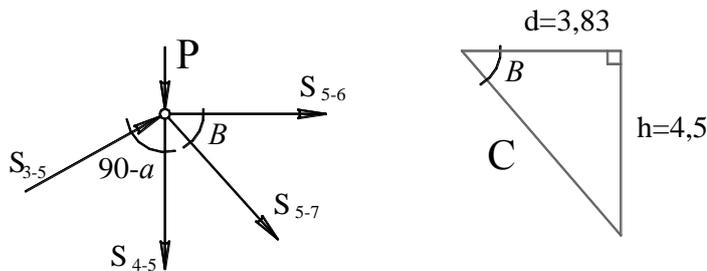


Рис. 6

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

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

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

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

Записываем систему уравнений:

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

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

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

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

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

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:

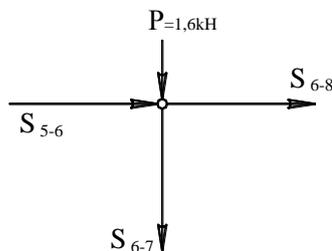


Рис. 7

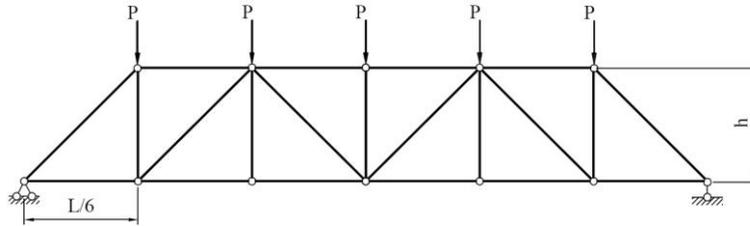
Так как 2 стержня (5-6 и 6-8) направлены по одной прямой, а по линии примыкающего стержня (6-7) приложена сила P, то усилие примыкающего стержня равно значению приложенной силы с обратным знаком.

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

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

Форма отчетности: расчетно-графическая 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.

Рекомендуемые источники:

Основная литература:

1. Шеин, А.И. Краткий курс строительной механики : учебник для вузов / А. И. Шеин. – Москва : Бастет, 2011. – 272 с.
2. 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.

Дополнительная литература:

1. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ, 1996. – 541 с.
2. 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.
3. Коваленко, Г. В. Строительная механика: методические указания и контрольные задания / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2013. - 35 с.
4. Коваленко, Г. В. Примеры расчета плоских стержневых систем: учебно-методическое пособие / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2014. - 126 с.

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Последовательность расчета фермы методом вырезания узлов. Достоинства и недостатки метода.
2. Особенности расчета фермы методом сечений.
3. Частные случаи определения усилий в стержнях фермы.
4. Классификация ферм.
5. Отличие способа моментных точек от способа проекций.

Практическое занятие № 6 – Построение линий влияния усилий в балках. Определение усилий от неподвижной нагрузки по линиям влияния.

Цель работы: овладеть практическим опытом расчета сооружений на подвижную нагрузку. Освоить методику построения линий влияния для балочных систем.

Задание:

1. Изучить определение линий влияния усилий и их отличие от эпюр.
2. Для однопролетной балки построить линии влияния реакций.
3. Для заданного сечения K построить линии влияния момента и поперечной силы.
4. С помощью построенных линий влияния определить реакции и усилия в заданном

сечении от любой неподвижной нагрузки.

Порядок выполнения:

Рассмотрим построение линий влияния на следующем примере:

1. Дана балка с исходными данными.

Линией влияния какого-либо усилия называется график зависимости этого усилия от положения единичной силы, сохраняющей постоянное направление.

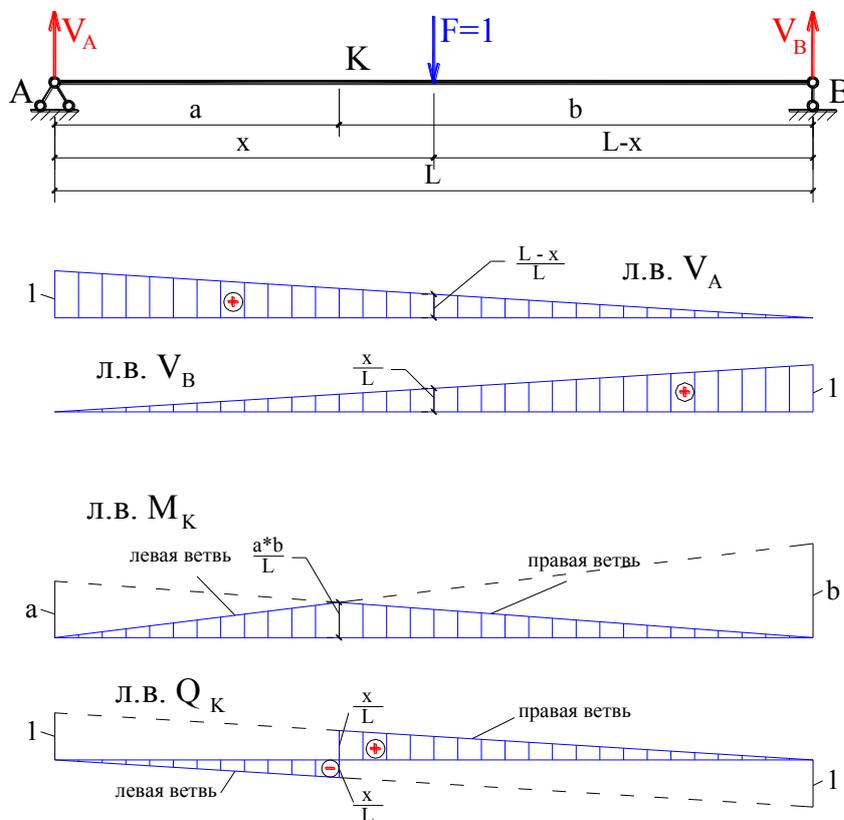


Рис. 1

2. Построение линий влияния опорных реакций (см. рис. 1).

$$0 \leq x \leq L$$

$$\sum M_B = 0$$

$$V_A * L - F(L - x) = 0$$

$$V_A = F(L - x)/L = (L - x)/L \text{ - безразмерная величина}$$

$$\text{при } x=0 \quad V_A=1$$

$$x=L \quad V_A=0$$

Каждая ордината линий влияния дает значение соответствующего усилия под той ординатой где приложена сила $F=1$.

$$\sum M_A = 0$$

$$-V_B + F*x = 0$$

$$V_B = F*x/L = x/L$$

$$\text{при } x=0 \quad V_B=0$$

$$x=L \quad V_B=1$$

3. Построение линии влияния изгибающего момента в сечении К балки (см. рис. 1).

Эта линия влияния строится конкретно для какого-нибудь сечения. При построении этой линии влияния рассматривается положение груза справа и слева от сечения:

$$- F=1 \quad \text{слева от сечения К:}$$

$$x \leq a$$

$M_K = V_B * b$ - ординаты линии влияния V_B увеличиваются в b раз.

- $F=1$ справа от сечения К:

$$x > a$$

$$M_K = V_A * a.$$

4. Построение линии влияния поперечной силы в сечении К балки (см. рис. 1).

Эта линия влияния строится аналогично предыдущей.

$F=1$ слева от сечения К

$$x \leq a$$

$$Q_K = -V_B$$

$F=1$ справа от сечения К

$$x > a$$

$$Q_K = V_A$$

5. Определение усилий по линиям влияния от системы сосредоточенных сил.

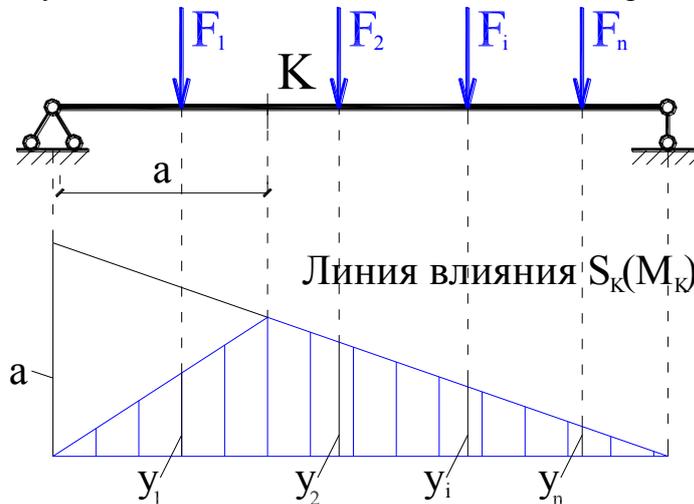


Рис. 2

$$S_K = \sum F_i * y_i$$

6. Определение усилий по линиям влияния от равномерно распределенной нагрузки

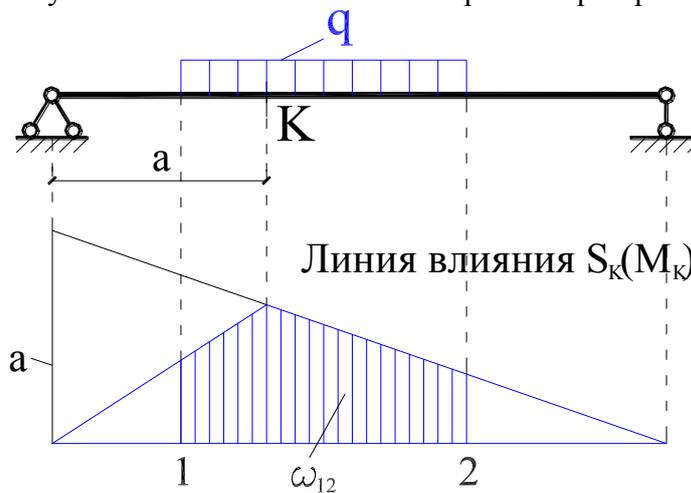


Рис. 3

$$S_K = q * \omega_{12}$$

Форма отчетности: Выполнение практического задания должно быть представлено в рабочей тетради со всеми необходимыми пояснениями к расчету.

Задания для самостоятельной работы:

1. Научиться строить линии влияния усилий для балок с консолями.
2. Освоить особенности построения линий влияния для многопролетных балок.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

1. Знать определение линий влияния усилий и их отличие от эпюр.
2. Уметь определять реакции в балках и использовать эту методику для построения линий влияния реакций (от единичной движущейся силы $P=1$).
3. Для построения линий влияния M и Q в заданном сечении K использовать два положения силы $P=1$;
 - слева от сечения K (получается левая ветвь линии влияния);
 - справа от сечения K (получается правая ветвь линии влияния);
4. Изучить методику определения усилий по построенным линиям влияния от неподвижной заданной нагрузки (сосредоточенных сил, распределенной нагрузки, сосредоточенного момента).

Рекомендуемые источники

Основная литература

1. Шеин, А.И. Краткий курс строительной механики : учебник для вузов / А. И. Шеин. – Москва: Бастет, 2011. – 272 с.
2. Строительная механика. В 2 кн.: учебник для вузов / Под ред. В. Д. Потапова. – Москва : Высшая школа. Кн.1 : Статика упругих систем. – 2007. – 511 с.
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.

Дополнительная литература

1. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ,1996. – 541 с.
2. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Статика стержневых систем. //Под ред. Г.К. Клейна. - М.: Высшая школа, 1980. – 384 с.
3. Коваленко, Г. В. Примеры расчета плоских стержневых систем: учебно-методическое пособие / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2014. - 126 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Как выполняется расчет строительных конструкций на подвижную нагрузку?
2. Дать определение линий влияния усилий и чем они отличаются от построения эпюр.
3. При построении линий влияния какая координата является переменной.
4. Что выражает каждая ордината линии влияния?
5. Как найти усилие в заданном сечении от сосредоточенных сил?
6. Определение усилий в заданном сечении K от распределенной нагрузки.

Практическое занятие № 7 – Определение перемещений от нагрузки методом Мора, по правилу Верещагина и по методу Симпсона.

Цель работы: Освоить определение перемещений точки по заданному направлению разными методами.

Задание:

Требуется определить горизонтальное перемещение сечения K от действующей нагрузки.

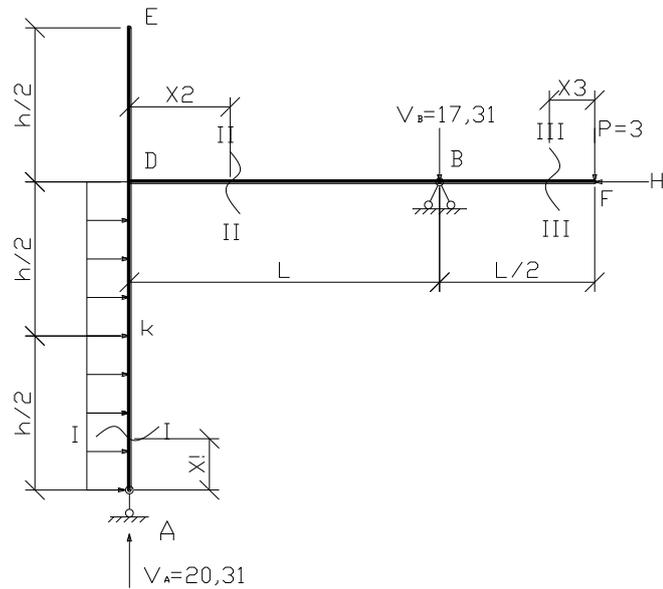


Рис. 1

Дано: $l = 6,5$ м; $q = 3,5$ кН/м; $P = 3$ кН; $h = 9$ м; $J_2/J_1 = 5:3$ $\frac{l}{2} = \frac{6,5}{2} = 3,25$ м; $\frac{h}{2} = \frac{9}{2} = 4,5$ м.

Выразим J_2 через J_1 : $J_2 = \frac{5}{3} J_1$

$\Delta k = ?$ (горизонтальное перемещение)

Порядок выполнения

Кинематический анализ

Система состоит из одного диска ($D = 1$), который соединен тремя опорными стержнями ($C_{оп} = 3$) с основанием.

$$W = 3D - 2Ш - C_{оп} \leq 0,$$

$$3 \cdot 1 - 2 \cdot 0 - 3 = 0,$$

$$3 - 0 - 3 = 0.$$

Число степеней свободы равно нулю, система неподвижна относительно основания, является геометрически неизменяемой и статически определимой.

Построение эпюры моментов от заданной нагрузки

Расчет рамы начинаем с определения горизонтальной реакции, которая действует на неподвижную опору B.

$$\sum X = 0;$$

$$q \cdot h - H_B = 0;$$

$$H_B = 3,5 \cdot 9 = 31,5 \text{ кН.}$$

Затем определяем вертикальные реакции:

$$\sum M_A = 0; q \cdot h \cdot \frac{h}{2} + P \left(l + \frac{l}{2} \right) - V_B \cdot l - H_B \cdot h = 0;$$

$$V_B \cdot 18 - 3,5 \cdot \frac{81}{2} + 3(6,5 + 3,25) - V_B \cdot 6,5 - 31,5 \cdot 9 = 0$$

$$141,75 + 29,25 - 283,5 = V_B \cdot 6,5 \Rightarrow V_B = -17,31 \text{ кН.}$$

Сумма моментов относительно опоры B:

$$\sum M_B = 0;$$

$$V_A \cdot l - q \cdot h \cdot \frac{h}{2} + P \cdot \frac{l}{2} - H_B \cdot 0 = 0;$$

$$V_A \cdot 6,5 - 3,5 \cdot \frac{81}{2} + 3 \cdot 3,25 = 0;$$

$$V_A \cdot 6,5 = 141,75 - 9,75 \Rightarrow V_A = 20,31 \text{ кН.}$$

Проверка:

$$\Sigma Y = 0: \quad V_A + V_B + P = 0;$$

$$20,31 - 17,31 - 3 = 0;$$

$$20,31 - 20,31 = 0.$$

Рассмотрим эпюру изгибающих моментов элемента AD (сечение I-I): $0 \leq X_1 \leq 9 \text{ м}$,

$$M = -q \cdot \frac{X_1^2}{2};$$

при $X_1 = 0 \text{ м}$: $M = 0;$

при $X_1 = 9 \text{ м}$: $M = -3,5 \frac{9^2}{2} = -141,75 \text{ кНм};$

при $X_1 = 4,5 \text{ м}$: $M = -3,5 \frac{4,5^2}{2} = -35,75 \text{ кНм.}$

Эпюра изгибающих моментов на участке DB $M = -q \cdot \frac{h^2}{2} + V_A \cdot X_2:$

при $X_2 = 0 \text{ м}$: $M = -q \cdot \frac{h^2}{2} = -3,5 \cdot \frac{81}{2} = 141,75 \text{ кНм};$

при $X_2 = 6,5 \text{ м}$: $M = -q \frac{h^2}{2} + V_A \cdot 6,5 = -141,75 + 20,31 \cdot 6,5 = -9,75 \text{ кНм.}$

Эпюра изгибающих моментов для элемента BF (сечение III-III): $0 \leq X_3 \leq 3,25 \text{ м}$,

$$M = P \cdot X_3:$$

при $X_3 = 0 \text{ м}$: $M = 0;$

при $X_3 = 3,25 \text{ м}$: $M = -3 \cdot 3,25 = -9,75 \text{ кНм.}$

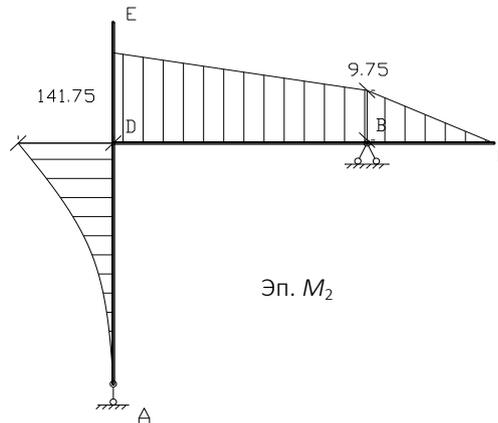


Рис. 2

Построение эпюры моментов от единичной нагрузки

Для построения единичной эпюры \bar{M}_1 приложим в заданном сечении K единичную силу $P = 1$, действующую на раму в направлении искомого горизонтального перемещения.

1. Определим горизонтальную реакцию (распор) H_B

$$\Sigma X = 0; \quad -H_B + P = 0 \Rightarrow H_B = 1 \text{ кН.}$$

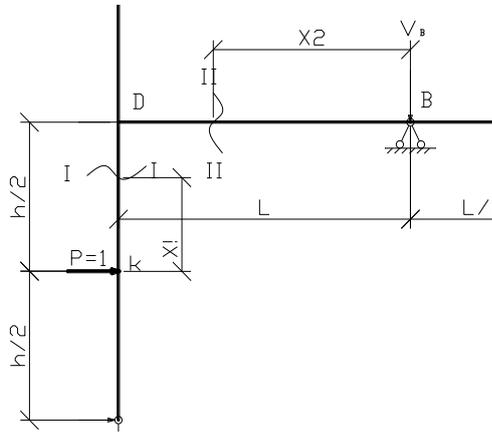


Рис. 3

2. Найдем вертикальную реакцию опор A и B при единичной нагрузке:
Сумма моментов относительно опоры A :

$$\begin{aligned} \Sigma M_A = 0; \quad P \cdot \frac{h}{2} + V_B \cdot l - H_B \cdot h &= 0; \\ 1 \cdot 4,5 + V_B \cdot 6,5 - 1 \cdot 9 &= 0; \\ -4,5 = V_B \cdot 6,5 \Rightarrow V_B &= 0,692 \text{ кН.} \\ V_B \cdot l - M &= 0; \\ V_B \cdot 18 = 1 \Rightarrow V_B &= \frac{1}{18} \text{ кН.} \end{aligned}$$

Сумма моментов опоры относительно опоры B :

$$\begin{aligned} \Sigma M_B = 0; \quad V_A \cdot l - P \cdot \frac{h}{2} + H_B \cdot 0 &= 0; \\ V_A \cdot 6,5 = 1 \cdot 4,5 \Rightarrow V_A &= 0,692 \text{ кН.} \end{aligned}$$

Проверка: $\Sigma Y = 0$

$$\begin{aligned} V_A - V_B &= 0; \\ 0,692 - 0,692 &= 0. \end{aligned}$$

Рассмотрим элемент AD рамы (сечение I-I): $0 \leq X_1 \leq 4,5$ м,
Эпюра изгибающих моментов

$$M = -P \cdot X_1$$

при $X_1 = 0$ м: $M = 1 \cdot 0 = 0$ кНм;

при $X_1 = 4,5$ м: $M = -1 \cdot 4,5 = -4,5$ кНм;

$$M_1 = -4,5 \text{ кНм.}$$

Положительный момент откладывается на внутренних волокнах.

Участок DB (сечение II-II): $0 \leq X_2 \leq 6,5$ м,

$$M = -V_B \cdot X :$$

при $X_2 = 0$ м: $M = V_B \cdot 0 = 0$;

при $X_2 = 6,5$ м: $M = -0,692 \cdot 6,5 = -4,5$ кНм;

$$M_2 = -4,5 \text{ кНм.}$$

Горизонтальное перемещение точки K определяется путем перемножения эпюр M_2 и \bar{M}_1 .

Определение перемещения в сечении K по формуле Симпсона:

$$\Delta_K^{\text{гор}} = \Delta_{21} = \sum_{i=1}^n \frac{l}{6(EJ)_i} (ab + 4fg + cd).$$

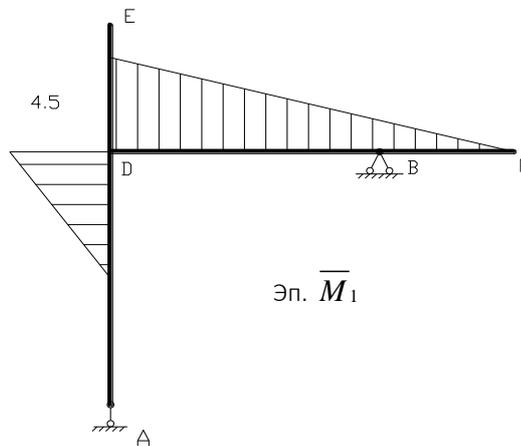


Рис. 4

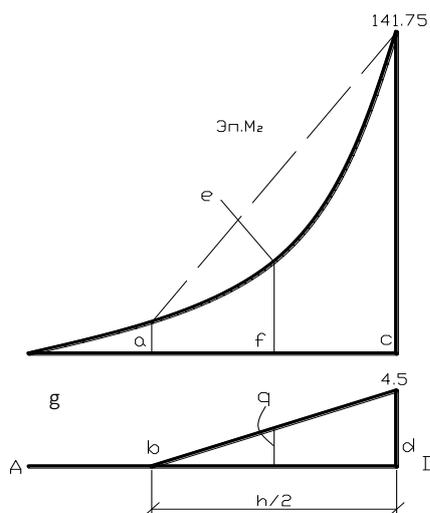


Рис. 5

Перемножение эпюр производится на участках KD и BD . На участке AK произведение эпюр M_2 и \bar{M}_1 будет равно нулю, т.к. единичная эпюра изгибающих моментов M_1 равна нулю. Горизонтальное перемещение точки K : $\Delta_K^{\text{гор}} = \Delta_{KD} + \Delta_{BD}$.

Рассматриваем участок KD :

$$\begin{aligned} a &= 35,44; & b &= 0; \\ c &= 141,75; & d &= 4,5; \\ \frac{h}{2} &= 4,5; & g &= \frac{b+d}{2} = \frac{4,5}{2} = 2,25. \end{aligned}$$

Ордината в середине эпюры M_2 : $f = 79,734 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Подставим найденные значения в формулу:

$$\begin{aligned} \Delta_{KD} &= \frac{h}{2 \cdot 6EJ_2} (-35,44 \cdot 0 + 4 \cdot (-79,734) \cdot (-2,25) + (-141,75 \cdot (-4,5))) = \\ &= \frac{9}{12EJ_2} (717,6 + 637,875) = \frac{1016,6}{EJ_2} = \frac{1016,6}{\frac{5}{3}EJ} = \frac{609,96}{EJ}. \end{aligned}$$

Рассматриваем участок BD :

$$\Delta_{BD} = \frac{6,5}{6EJ} (141,75 \cdot 4,5 + 4 \cdot 2,25 \cdot 75,75 + 9,75 \cdot 0) = \frac{1429,59}{EJ}.$$

Искомое горизонтальное перемещение точки K :

$$\Delta_K^{\text{гор}} = \Delta_{21} = \frac{609,96}{EJ} + \frac{1429,59}{EJ} = \frac{2039,55}{EJ}.$$

Положительное значение перемещения свидетельствует о том, что оно совпадает с принятым направлением единичной силы $P = 1$.

Форма отчетности: выполняется задание на практическом занятии в рабочей тетради и при подготовке РГР.

Задания для самостоятельной работы:

1. Определить перемещение заданной т. K по правилу Верещагина и по формуле Мора.
2. По любому из рассмотренных способов определить угол поворота сечения K .

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

1. Проработка лекционного курса по основам теории перемещений.
2. Освоить алгоритм определения перемещения точки по заданному направлению любым методом.

Рекомендуемые источники

Основная литература

1. Шеин, А.И. Краткий курс строительной механики : учебник для вузов / А. И. Шеин. – Москва : Бастет, 2011. – 272 с.
2. Строительная механика. В 2 кн.: учебник для вузов / Под ред. В. Д. Потапова. – Москва : Высшая школа. Кн.1 : Статика упругих систем. – 2007. – 511 с.
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.

Дополнительная литература

1. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ, 1996. – 541 с.
2. Дарков А. В. Шапошников Н.Н. Строительная механика: Учеб. для строит. спец. вузов.- 8-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.шк, 1986.- 606с.
3. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Статика стержневых систем. //Под ред. Г.К. Клейна. - М.: Высшая школа, 1980. – 384 с.
4. Коваленко, Г. В. Примеры расчета плоских стержневых систем: учебно-методическое пособие / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2014. - 126 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип возможных перемещений.
2. Какие способы определения перемещений используются для стержневых систем?
3. Какое единичное усилие прикладывается к заданной точке для определения угла поворота?
4. При каком способе определения перемещений эпюры моментов можно не строить?
5. О чем свидетельствует знак « \leftarrow » у полученного искомого перемещения?
6. Порядок определения перемещения точки по заданному направлению.

Практическое занятие № 8 – Расчет статически неопределимых рам по методу сил. Построение эпюр внутренних усилий в статически неопределимых рамах. Проверки расчета.

Цель работы: Получить практические навыки и умение рассчитывать статически неопределимые рамы по методу сил.

Задание:

Требуется для конструкции (рис. 1) определить внутренние усилия (построить эпюры M , Q , N), выполнить проверки расчета.

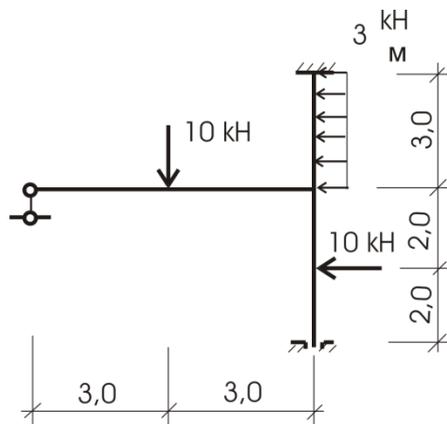


Рис.1

Порядок выполнения

Определим $ССН=2Ш+Соп-3Д=6-3\cdot 1=3$ степень статической неопределимости системы:

1) **Основная система** (варианты приводить не будем, рис. 2).

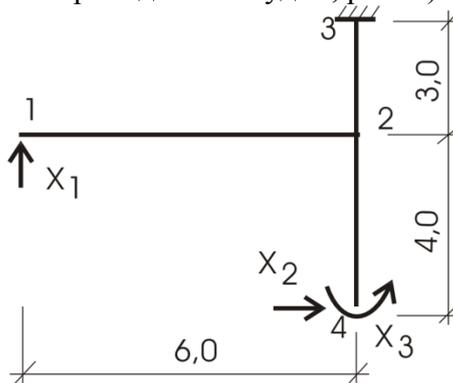


Рис.2

2) **Канонические уравнения:**

$$\begin{cases} \delta_{11} \cdot x_1 + \delta_{12} x_2 + \delta_{13} \cdot x_3 = -\Delta_{1p} \\ \delta_{21} \cdot x_1 + \delta_{22} x_2 + \delta_{23} \cdot x_3 = -\Delta_{2p} \\ \delta_{31} \cdot x_1 + \delta_{32} x_2 + \delta_{33} \cdot x_3 = -\Delta_{3p} \end{cases}$$

Вычисляем коэффициенты $\delta_{ок}$ и грузовые слагаемые - Δ_{ip} . Эпюры моментов от единичных загрузений и внешней нагрузки можно видеть на рисунке 3.

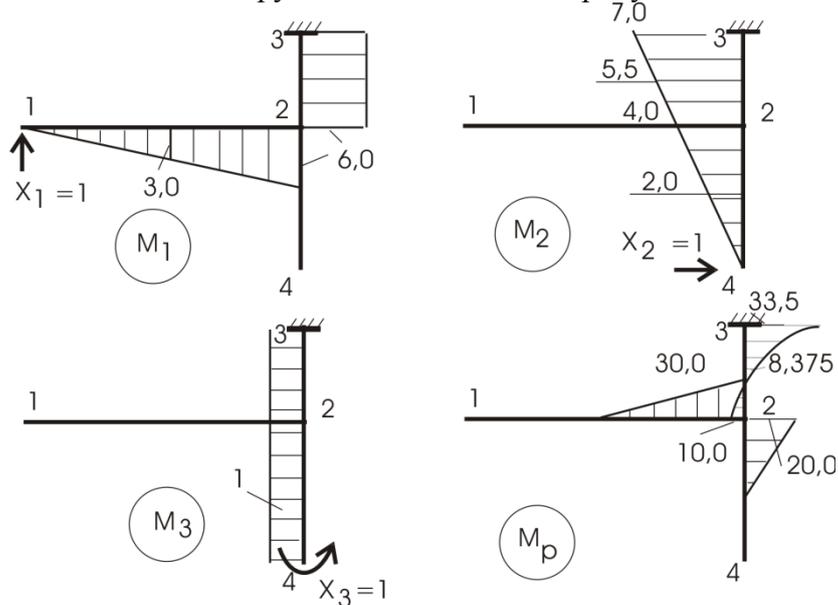


Рис.3

Некоторые вычисления для M_p :

$$M_{23} = 10 \cdot 3 - 10 \cdot 2 = 10 \text{ (растянутые левые волокна).}$$

$$M_{22} = 30 - 10 \cdot 5 - 3 \cdot 3 \cdot 1,5 = -33,5.$$

$M_c = 30 - 10 \cdot 3,5 - 3 \cdot 1,5 \cdot 0,75 = -8,375$ (в обоих последних случаях растянутые правые волокна).

Для δ_{ik} применяем правило Верещагина:

$$\delta_{11} = 6 \cdot 6 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 6 + 6 \cdot 3 \cdot 6 = 180.$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = -\frac{(4+7)}{2} \cdot 3 \cdot 6 = -99.$$

$$\delta_{22} = 7 \cdot 7 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 7 = 114,333.$$

$$\delta_{13} = \delta_{31} = -6 \cdot 3 \cdot 1 = -18.$$

$$\delta_{23} = \delta_{32} = 7 \cdot 7 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 = 24,5.$$

$$\delta_{33} = 7 \cdot 1 \cdot 1 = 7.$$

Для Δ_{iP} используем правило Симпсона и Верещагина (для прямолинейных участков):

$$\Delta_{1P} = -30 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 3 + \frac{2}{3} \cdot 6 \right) + \frac{3}{2} \cdot 6 \cdot (-10 + 4 \cdot 8,375 + 33,5) =$$

$$= -225 + 171 = -54;$$

$$\Delta_{2P} = -20 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 2 + \frac{2}{3} \cdot 4 \right) + \frac{3}{6} \cdot (-10 \cdot 4 - 4 \cdot 8,375 \cdot 5,5 - 33,5 \cdot 7) =$$

$$= -66,666 - 189,375 = -256,041;$$

$$\Delta_{3P} = -20 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 1 + \frac{3}{6} \cdot (10 - 8,375 \cdot 4 - 33,5) = -20 - 28,5 = -48,5.$$

3) Решение системы уравнений:

$$180 \cdot x_1 - 99 \cdot x_2 - 18 \cdot x_3 = 54$$

$$-99 \cdot x_1 + 114,333 \cdot x_2 + 24,5 \cdot x_3 = 256,041$$

$$-18 \cdot x_1 + 24,5 \cdot x_2 + 7 \cdot x_3 = 48,5$$

дает: $x_1 = 3,252$; $x_2 = 7,117$; $x_3 = -9,620$.

4) Построение $M_{ок}$.

Как и прежде $M_{ок} = M_1 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2 + M_3 \cdot x_3 + M_P$ (рис. 4).

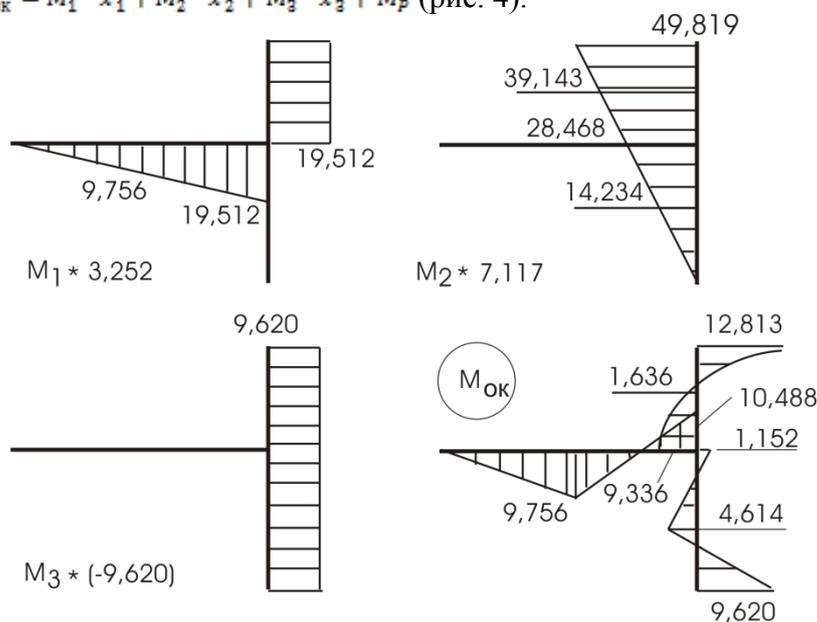


Рис.4

По эпюре $M_{ок}$ строим эпюру $Q_{ок}$ уже разобранными ранее приемами (рис. 5,а), по $Q_{ок}$ построим эпюру $N_{ок}$ (рис. 5,б).

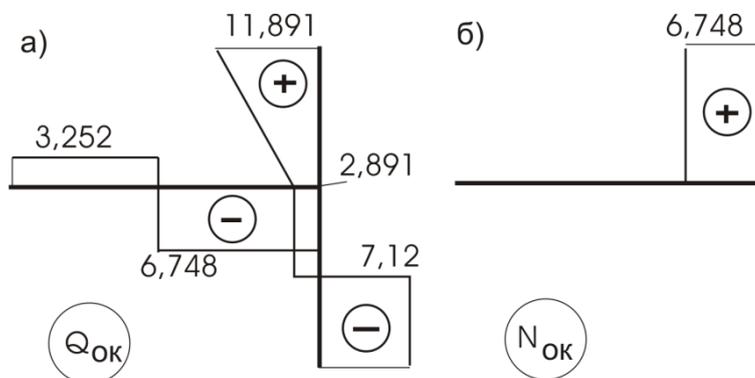


Рис.5

Форма отчетности: задание выполняется в рабочей тетради для практических занятий и используется при подготовке РГР.

Задания для самостоятельной работы:

1. Проработка лекционного материала.
2. Изучить алгоритм расчета статически неопределимых систем по методу сил.
3. Освоить выполнение всех проверок, которые необходимо соблюдать при расчете.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

1. Вначале надо определить степень статической неопределимости системы, которая соответствует числу лишних связей.
2. Рациональный выбор основной системы метода сил.
3. Составление канонических уравнений.
4. Рассматриваем единичные и грузовые состояния основной системы для построения соответствующих эпюр моментов.
5. Определение коэффициентов системы канонических уравнений. Проверка правильности их определения.
6. Решение системы канонических уравнений и определение неизвестных усилий.
7. Построение итоговой эпюры моментов и ее проверка.
8. Построение эпюр Q и N .

Рекомендуемые источники

Основная литература

1. Шеин, А.И. Краткий курс строительной механики : учебник для вузов / А. И. Шеин. – Москва: Бастет, 2011. – 272 с.
2. Строительная механика. В 2 кн.: учебник для вузов / Под ред. В. Д. Потапова. – Москва : Высшая школа. Кн.1 : Статика упругих систем. – 2007. – 511 с.
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.

Дополнительная литература

1. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ,1996. – 541 с.
2. 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.
3. Саргсян А.Е. Строительная механика. Механика инженерных конструкций: учебник/ А.Е.Саргсян.- М.: Высш. шк., 2004.- 462с.
4. Дарков А. В.Шапошников Н.Н. Строительная механика: Учеб. для строит. спец. вузов.- 8-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.шк, 1986.- 606с.
5. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Статика стержневых систем. //Под ред. Г.К. Клейна. - М.: Высшая школа, 1980. – 384 с.
6. Коваленко, Г. В. Примеры расчета плоских стержневых систем: учебно-методическое

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Дайте определение статически неопределимых систем.
2. Перечислите классические методы расчетов статически неопределимых систем.
3. Раскройте суть канонических уравнений метода сил.
4. Поясните суть коэффициентов при неизвестных в канонических уравнениях метода сил.
5. В чем суть статической проверки заданной системы в целом?
6. В чем заключается деформационная проверка заданной системы с применением окончательной эпюры моментов?

Практическое занятие № 9 – Расчет многопролетных неразрезных балок с помощью уравнений трех моментов.

Цель работы:

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

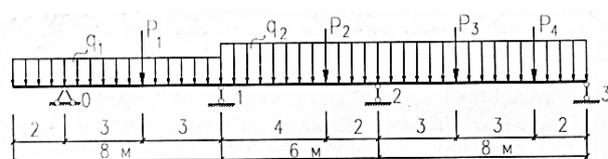


Рис. 1

Дано:

- $q_1 = 10 \text{ кН/м}$
- $q_2 = 20 \text{ кН/м}$
- $P_1 = P_2 = 20 \text{ кН}$
- $P_3 = P_4 = 30 \text{ кН}$
- $EJ = \text{const}$

2. Определение степени

статической неопределимости системы

Степень статической неопределимости системы вычисляем по формулам

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

$$W = 3Д - 2Ш - C_{\text{оп}}, \quad (2)$$

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

Выполним расчёт

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

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 ω_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

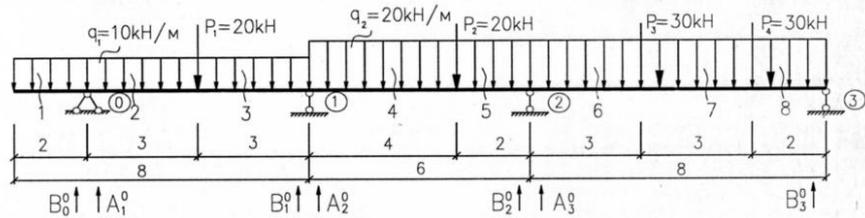


Рис. 2

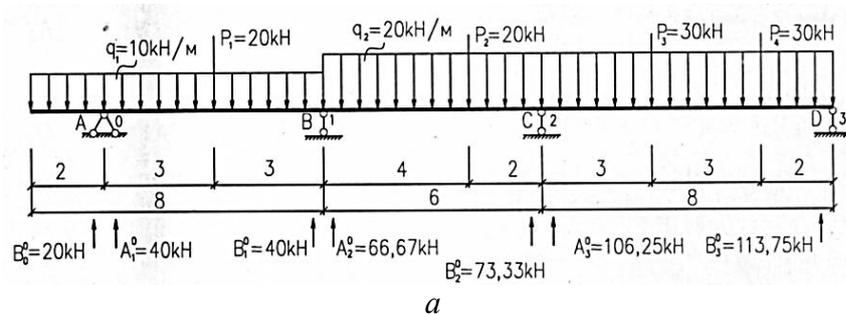
Рассчитываем консоль как статически определимый элемент:

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

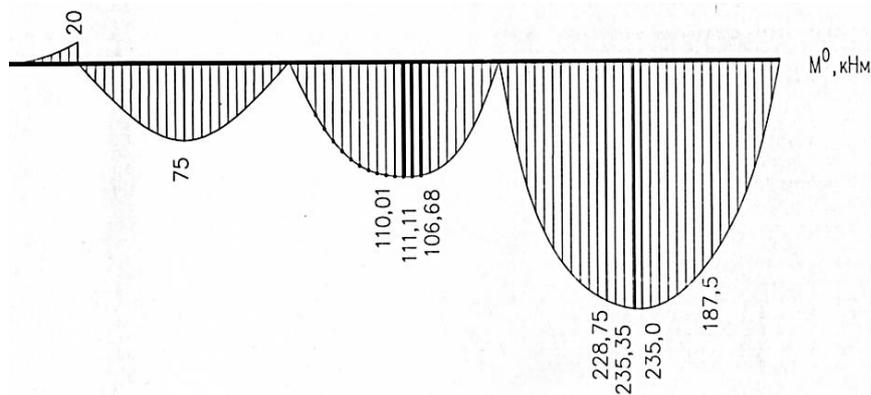
$$M_1 = -q_1 \cdot \frac{x_1^2}{2}; \quad M_1|_{x_1=0} = 0, \quad M_1|_{x_1=2} = -20 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

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

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



а



б

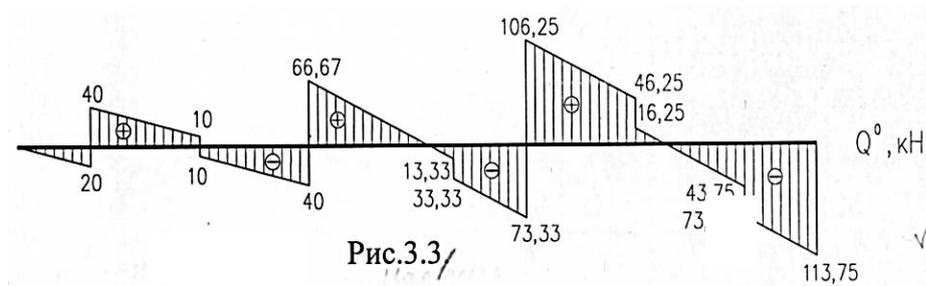


Рис. 3

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

$$-20 \cdot 6 + 2M_1 \cdot (6+6) + M_2 \cdot 6 = -6 \cdot (135 + 215,56),$$

$$M_1 \cdot 6 + 2M_2 \cdot (6+8) = -6 \cdot (224,44 + 623,55),$$

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

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

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

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

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

где $M_{\text{пр}}$, $M_{\text{лев}}$ – 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, з.

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:

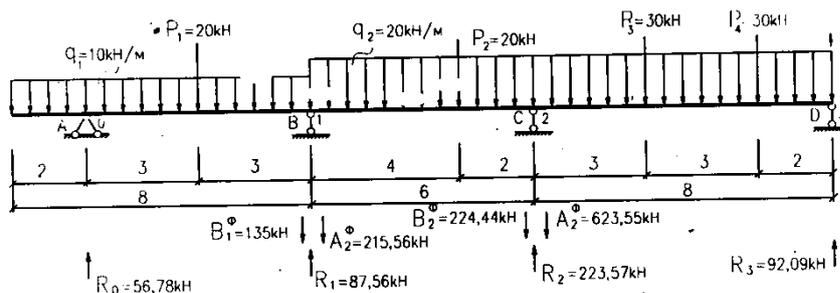
$$\Sigma Y = 0;$$

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

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

$$460 - 460 = 0.$$

Следовательно, расчет балки выполнен верно.



a

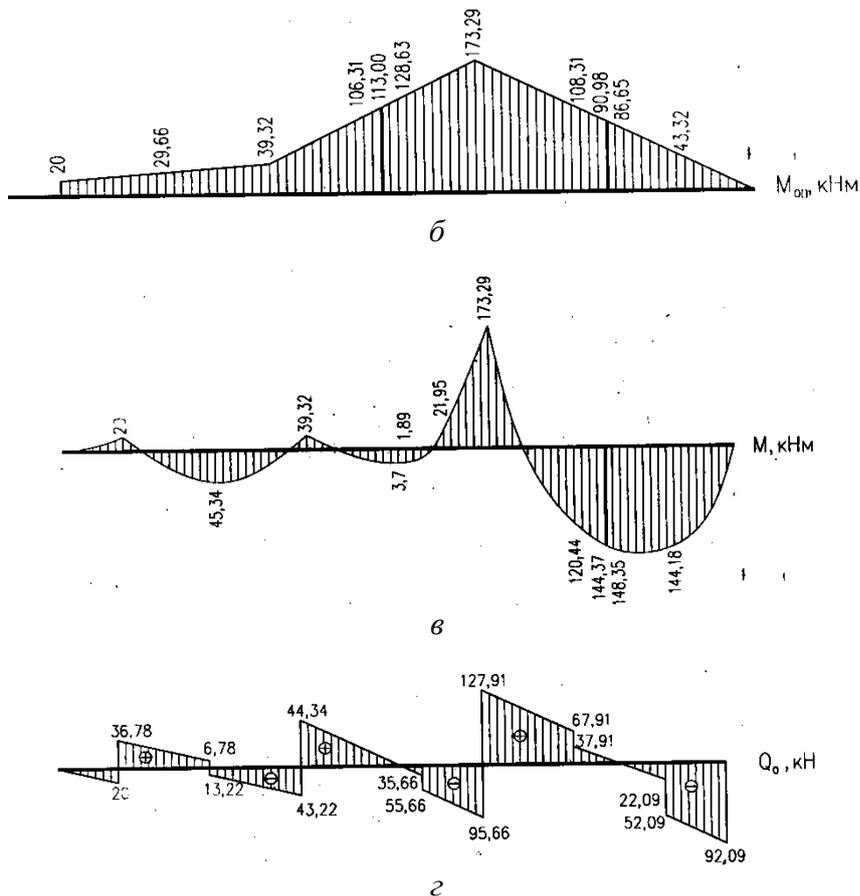


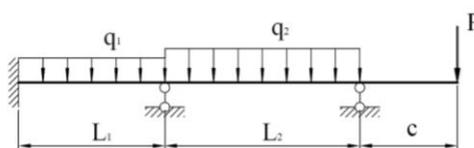
Рис. 4

Форма отчетности: выполнение заданий на практических занятиях в рабочей тетради и при подготовке расчетно-графической работы.

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. Уметь составлять уравнения 3-х моментов для промежуточных опор и определять фиктивные реакции по таблицам.

Рекомендуемые источники:

Основная литература:

1. Шеин, А.И. Краткий курс строительной механики : учебник для вузов / А. И. Шеин. – Москва : Бастет, 2011. – 272 с.
2. Строительная механика. В 2 кн.: учебник для вузов / Под ред. В. Д. Потапова. – Москва : Высшая школа. Кн.1 : Статика упругих систем. – 2007. – 511 с.
3. Старцева, Л. В. Строительная механика в примерах и задачах : учебное пособие / Л.

Дополнительная литература

1. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ, 1996. – 541 с.
2. 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.
3. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Статика стержневых систем. //Под ред. Г.К. Клейна. - М.: Высшая школа, 1980. – 384 с.
4. Коваленко, Г. В. Строительная механика: методические указания и контрольные задания / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2013. - 35 с.
5. Коваленко, Г. В. Примеры расчета плоских стержневых систем: учебно-методическое пособие / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2014. - 126 с.

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Определение степени статической неопределимости в неразрезных балках.
2. Как записывается уравнение трех моментов?
3. Последовательность расчета неразрезных балок с помощью уравнений трех моментов.

Практическое занятие № 10 – Расчет статически неопределимых рам по методу перемещений. Построение эпюр внутренних усилий. Проверки расчета.

Цель работы: Получить практические навыки и умение рассчитывать статически неопределимые рамы методом перемещений.

Задание:

Требуется для конструкции (рис. 1) определить внутренние усилия (построить эпюры M , Q , N). Выполнить проверки расчетов.

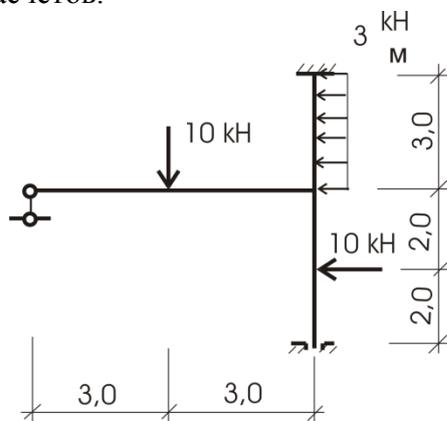


Рис.1

Порядок выполнения:

Определим степень кинематической неопределимости системы: $n = n_y + n_x = 1 + 1 = 2$

а) Основная система показана на рисунке 2. Одно угловое неизвестное и одно линейное.

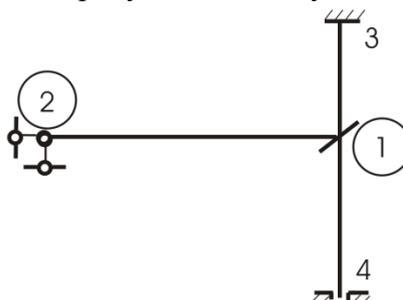


Рис.2

б) Канонические уравнения:

$$\begin{cases} r_{11} \cdot z_1 + r_{12} z_2 = -R_{1p}; \\ r_{21} \cdot z_1 + r_{22} z_2 = -R_{2p}. \end{cases}$$

$$r_{11} \cdot z_1 + r_{12} z_2 = -R_{1p};$$

$$r_{21} \cdot z_1 + r_{22} z_2 = -R_{2p}.$$

Для вычисления r_{ik} и R_{ip} построим эпюры моментов от перемещений связей M_1 (рис. 3) и M_2 (рис. 4). Вырезая узел со связью 1 из M_1 и рассмотрев его равновесие, получим:

$$r_{11} = 1 + 0,5 + 1,333 = 2,8333.$$

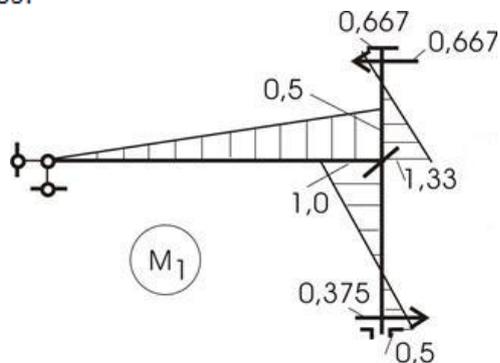


Рис.3

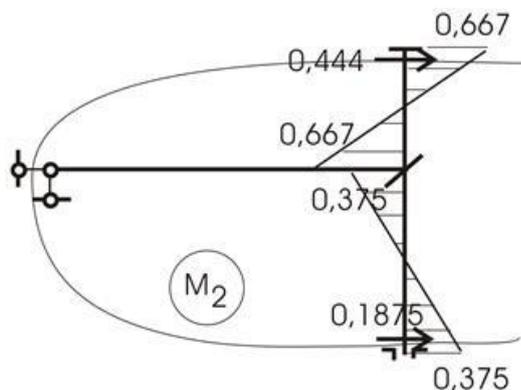


Рис.4

Проведя сечение по опорам из M_2 , найдем:

$$r_{22} = 0,444 + 0,1875 = 0,6315.$$

Вырежем узел со связью 1 из M_2 , определим

$$r_{21} = r_{12} = -0,292.$$

Эпюра M_p приведена на рисунке 5.

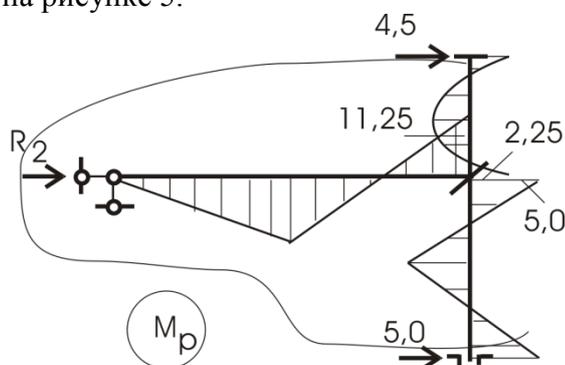


Рис.5

Вырезание узла со связью 1 (рис. 6) позволяет вычислить R_{ip} :

$$R_{iP} = -5 + 2,25 + 11,25 = +8,5.$$

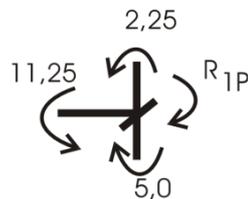


Рис.6

Сечение второй связи и опор рамы дает R_{2P} :

$$\sum x = 0; R_{2P} - 4,5 - 5 + 10 + 9 = 0; R_{2P} = -9,5.$$

в) Решение системы дает величину перемещений наложенных связей:

$$-2,833 \cdot z_1 - 0,292 \cdot z_2 = -8,5.$$

$$-0,292 \cdot z_1 + 0,6315 \cdot z_2 = 9,5.$$

$$z_1 = -1,523; z_2 = 14,339.$$

г) Эпюру $M_{ок}$ построим по принципу:

$$M_{ок} = M_1 \cdot z_1 + M_2 \cdot z_2 + M_P.$$

Эпюры $M_1 \cdot z_1$ и $M_2 \cdot z_2$ представлены на рисунке 7, а, б.

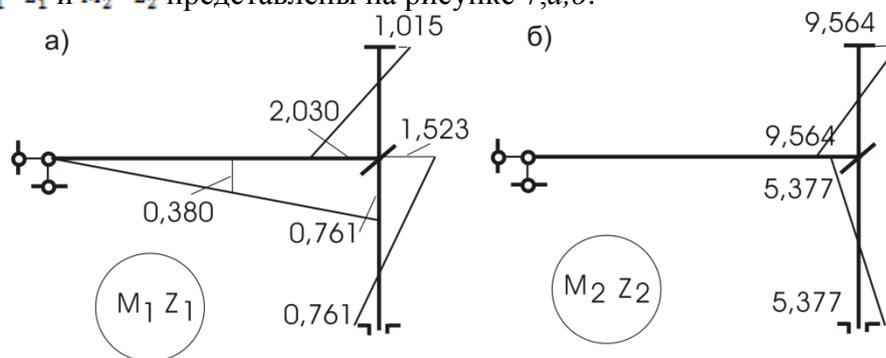


Рис.7

Окончательная эпюра моментов показана на рисунке 8.

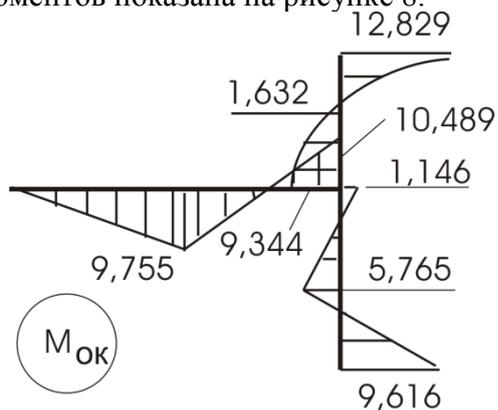


Рис. 8

д) **Статическая проверка.**

Равновесие узла 1 (рис. 9) удовлетворяет условию равновесия:

$$10,489 = 10,49.$$

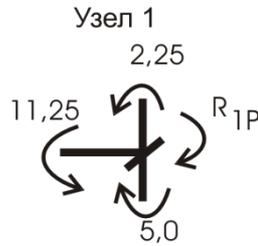


Рис.9

Кинематическая проверка.

Выбираем основную систему метода сил и приложим в опору 2 по вертикали силу $P=1$. Построим от нее M_1 (рис. 10). Перемножим полученные эпюры M_1 и $M_{ок}$:

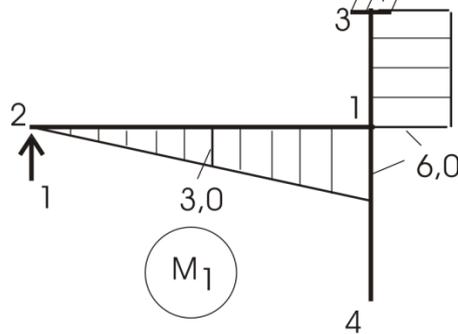


Рис.10

$$\Delta = \left(12,829 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} - 9,344 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} - \frac{2}{3} \cdot 3,375 \cdot 3 \right) \cdot 6 +$$

$$+ 9,775 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 + 9,755 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot \left(3 + \frac{1}{3} \cdot 3 \right) - 10,489 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot \left(3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \right) =$$

$$= -9,138 + 87,795 - 78,667 = -0,01.$$

Погрешность составляет:

$$\frac{0,01}{87,795} \cdot 100\% = 0,01\%$$

По эпюре $M_{ок}$ строим эпюру $Q_{ок}$ уже разобранными ранее приемами (рис. 11,а), по $Q_{ок}$ построим эпюру $N_{ок}$ (рис. 11,б).

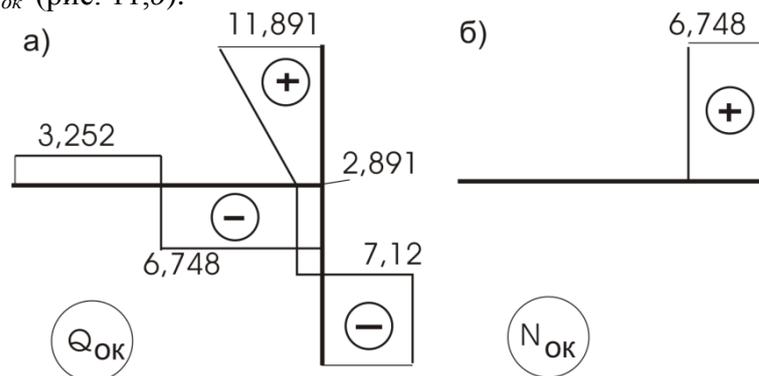


Рис.11

Форма отчетности: Выполнить задание на практическом занятии в рабочей тетради и использовать его при подготовке РГР.

Задания для самостоятельной работы:

1. Проработка лекционного материала.
2. Изучить алгоритм расчета статически неопределимых систем по методу перемещений.

3. Освоить выполнение всех проверок, которые необходимы соблюдать при расчете.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

1. Определить степень кинематической неопределимости системы.
2. выбор основной системы метода перемещений.
3. Составление канонических уравнений.
4. Рассматриваем единичные и грузовое состояния основной системы для построения соответствующих эпюр моментов.
5. Определение коэффициентов системы канонических уравнений. Проверка правильности их определения.
6. Решение системы канонических уравнений и определение неизвестных перемещений.
7. Построение итоговой эпюры моментов и ее проверка.
8. Построение эпюр Q и N .

Рекомендуемые источники

Основная литература

1. Шеин, А.И. Краткий курс строительной механики : учебник для вузов / А. И. Шеин. – Москва : Бастет, 2011. – 272 с.
2. Строительная механика. В 2 кн.: учебник для вузов / Под ред. В. Д. Потапова. – Москва : Высшая школа. Кн.1 : Статика упругих систем. – 2007. – 511 с.
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.

Дополнительная литература

1. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ,1996. – 541 с.
2. 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.
3. Карпов В.В., Люблинский В.А., Коваленко Г.В. Вариационные методы и вариационные принципы в задачах механики: Учебн. пособие. – Братск: ГОУ ВПО «БрГТУ», 2004. – 108 с.
4. Дарков А. В. Шапошников Н.Н. Строительная механика: Учеб. для строит. спец. вузов.- 8-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.шк, 1986.- 606с.
5. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Статика стержневых систем. //Под ред. Г.К. Клейна. - М.: Высшая школа, 1980. – 384 с.
6. Коваленко, Г. В. Примеры расчета плоских стержневых систем: учебно-методическое пособие / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2014. - 126 с.

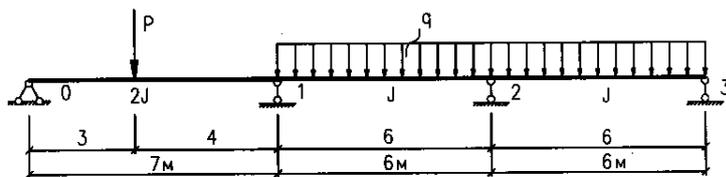
Контрольные вопросы для самопроверки

1. Дайте определение статически неопределимых систем.
2. Какие классические методы используются при расчете статически неопределимых систем?
3. Дайте определение степени кинематической неопределимости заданной системы.
4. Поясните физический смысл коэффициентов канонических уравнений метода перемещений при неизвестных.
5. Поясните физический смысл свободных членов в канонических уравнениях метода перемещений.
6. Как выполняется проверка правильности окончательной эпюры изгибающих моментов?

Практическое занятие № 11 – Расчет многопролетных неразрезных балок по методу перемещений.

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

Задание:



Дано:
 $P = 30 \text{ кН}$
 $q = 20 \text{ кН/м}$

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;

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

где W^0 – число степеней свободы условной шарнирно-стержневой системы; Y – 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:

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

$$Z_2 = 70,52 - 4,64 \cdot 10,296,$$

$$Z_2 = 22,44/EJ.$$

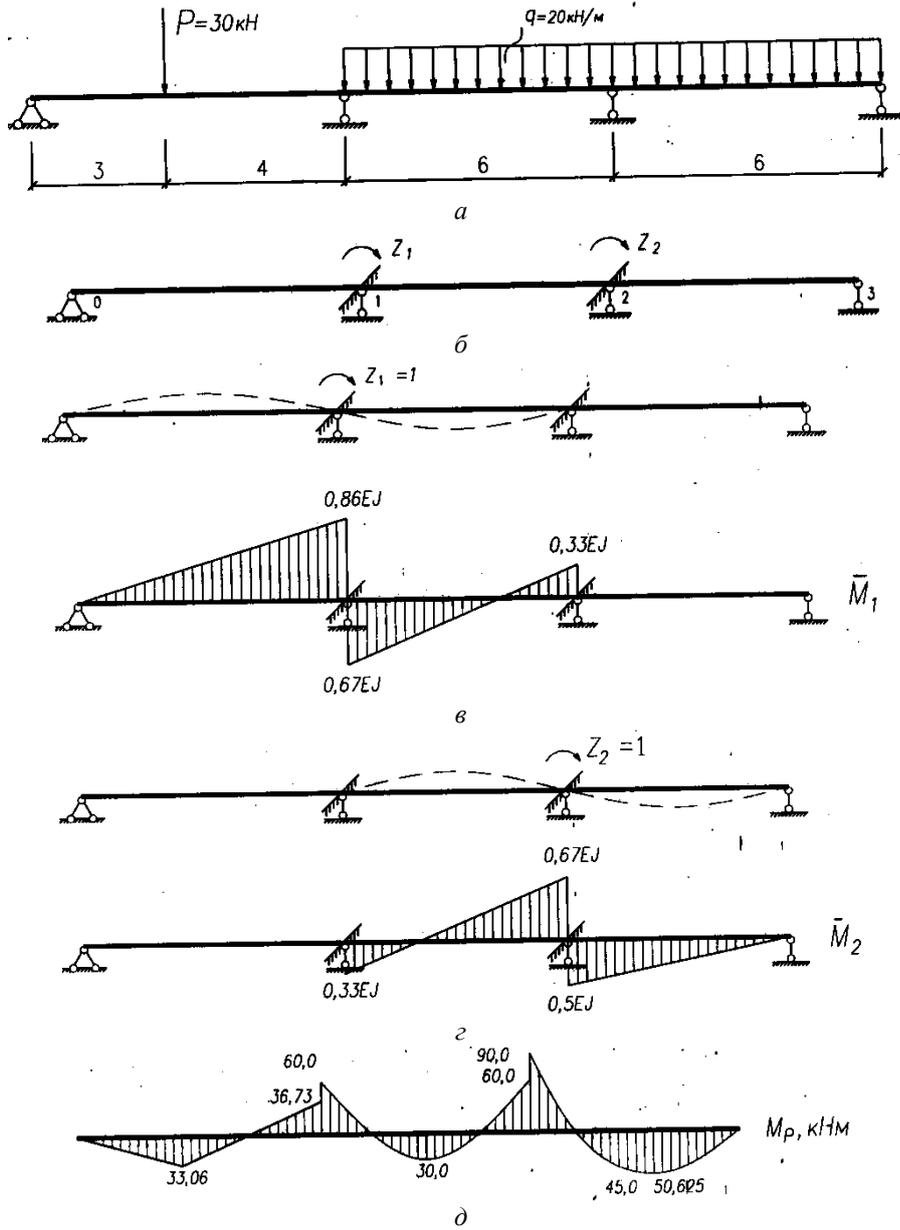


Рис. 2

*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

$$Q_1^0 = 17,14 + \frac{-45,64}{7} = 17,14 - 6,52 = 10,62 \text{ кН},$$

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

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

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

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

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

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

По итоговой эюре поперечной силы Q определяем реакции опор R :

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

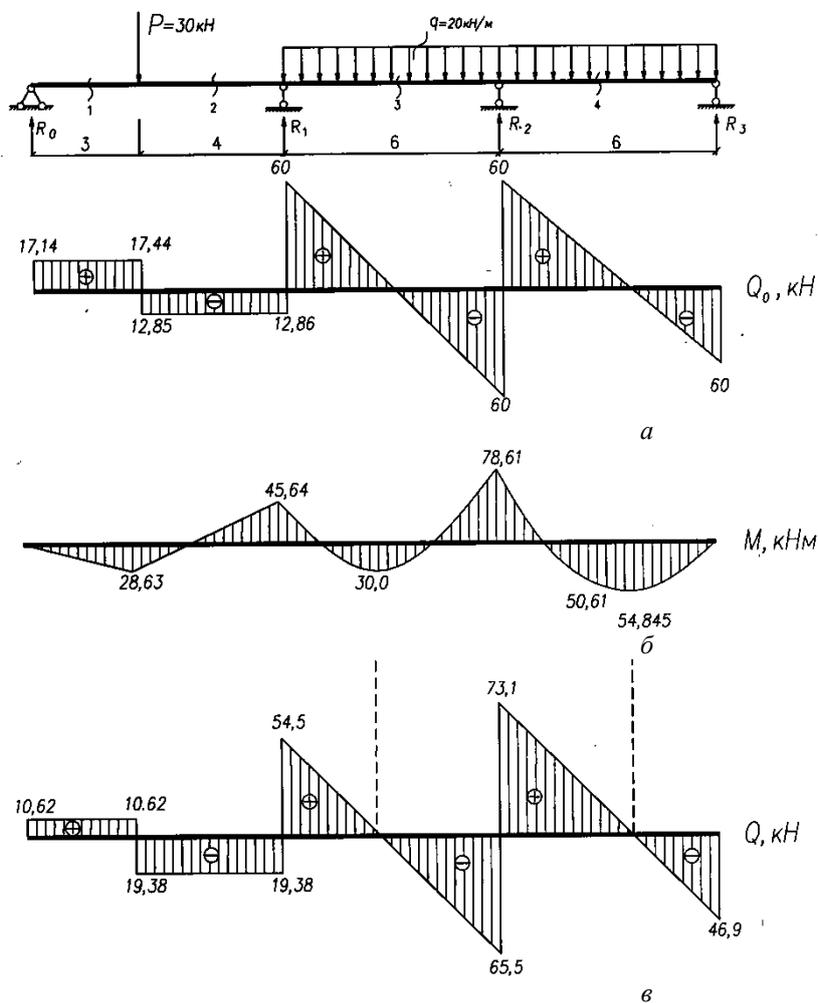


Рис. 3

Осуществляем проверку:

$$\Sigma Y = 0; \quad R_0 + R_1 + R_2 + R_3 = -P - q \cdot 12;$$

$$10,62 + 73,88 + 138,6 + 46,9 = -30 - 240;$$

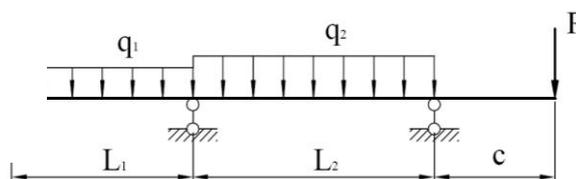
$$270 - 270 = 0.$$

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, $J=\text{const}$.



Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Проработка лекционного материала по методу перемещений. Выбор основной системы. Составление канонических уравнений.

Рекомендуемые источники:

Основная литература:

1. Шеин, А.И. Краткий курс строительной механики : учебник для вузов / А. И. Шеин. – Москва : Бастет, 2011. – 272 с.
2. 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.

Дополнительная литература

1. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ,1996. – 541 с.
2. 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.
3. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Статика стержневых систем. //Под ред. Г.К. Клейна. - М.: Высшая школа, 1980. – 384 с.
4. Коваленко, Г. В. Строительная механика: методические указания и контрольные задания / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2013. - 35 с.
5. Коваленко, Г. В. Примеры расчета плоских стержневых систем: учебно-методическое пособие / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2014. - 126 с.

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Как определить степень кинематической неопределимости?
2. Выбор основной системы метода перемещений.
3. Последовательность расчета неразрезных балок методом перемещений.
4. Как построить эпюру Q , исходя из эпюры M ?

Практическое занятие № 12 – Расчет фермы с помощью программно-вычислительного комплекса SCAD.

Цель работы: Освоить расчет плоских стержневых систем с помощью вычислительного комплекса SCAD на основе метода конечных элементов (МКЭ).

Задание:

Исходные данные: $P=60$ кН.

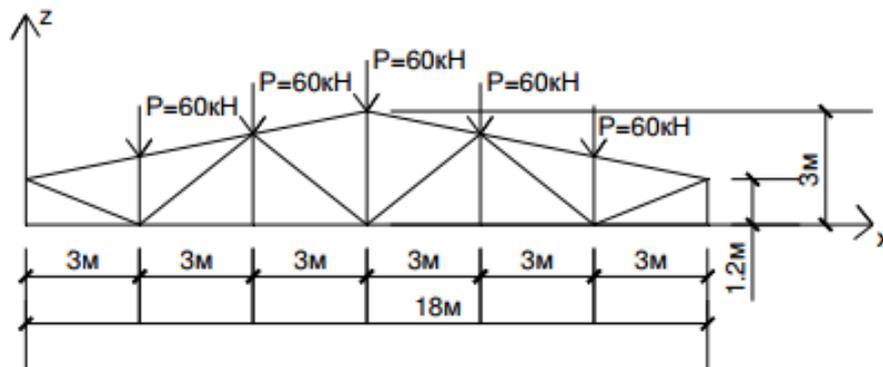


Рис.1. Расчетная схема

Характеристика расчетной схемы:

- количество узлов – 15;
- количество элементов – 25.

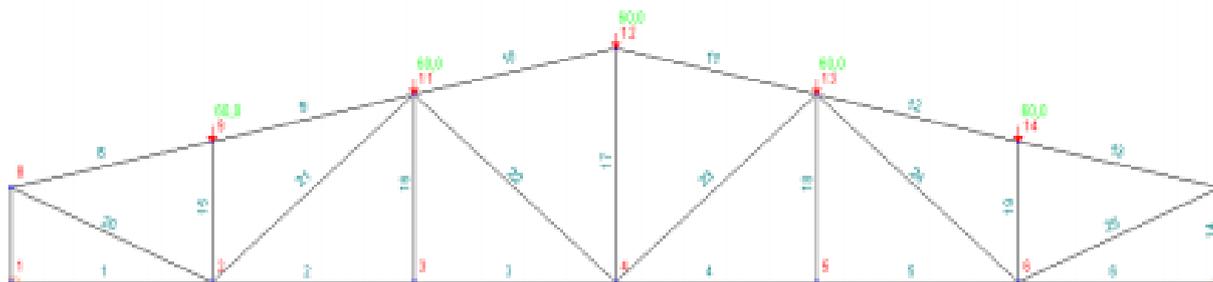


Рис. 2. Номера узлов и элементов

Порядок выполнения:

1. Открываем SCAD, выбираем в меню **Проект**, затем **Новый проект**.
2. Выбираем **Тип схемы: 1 – Плоская шарнирно-стержневая система**.
3. Уточняем **Единицы измерения**.
4. Нажимаем кнопку **Сохранить**.
5. Выходим в экран управления проектом, выбираем **Расчетную схему**.
6. В рабочем поле выбираем вкладку **Узлы и элементы**: вводим координаты узлов (X, Z). Появляется расчетная схема фермы с нумерацией узлов и элементов.
7. Открываем вкладку **Назначения**, нажимаем на кнопку **Установка связей**.
8. Нажимаем на кнопку **Назначение жесткостей**. Затем нажимаем на вкладку **Численное описание**. Для фермы принимаем продольную жесткость $EF = 1 \text{ кН}$. Номера типов жесткостей всех элементов принимаем равными 1.
9. Затем вводятся данные по нагрузке. Для этого нажимаем на вкладку **Загрузки**.
10. После ввода нагрузок на ферму выбираем вкладку **Управление** и нажимаем кнопку **Войти в экран управления проектом**. Выбираем **Расчет линейный**. Перед нами открывается окно **Параметры расчета**. Нажимаем **ОК**.
11. После этого появляется следующее окно SCAD. **Подтверждаем** сохранение проекта, нажав кнопку **Да**.
12. Далее в главном окне SCAD появляются 3 окна: **Расчетная схема**, **Матрица-24** и **Протокол выполнения расчета**. Просмотрев полученную информацию о расчете, нажимаем кнопку **Выход**.
13. Завершающий этап – **Печать таблиц**.

Таблица 1

Результаты расчета элементов фермы

Загрузки	
Номер	Наименование
1	1

Максимальные усилия элементов расчетной схемы, кН, м								
Наименование	MAX+				MAX-			
	Значение	Номер элемента	Номер сечения	Номер загрузки	Значение	Номер элемента	Номер сечения	Номер загрузки
N	300,	5	3	1	-275,347	11	3	1
M	0,	25	3	1	0,	25	3	1
Q	0,	25	3	1	0,	25	3	1

Усилия и напряжения элементов, кН, м						
Номер элемента	Номер сечения	Номер загрузки	Усилия и напряжения			
			N	M	Q	
2	1	1	300,	0,	0,	
	2	1	300,	0,	0,	
	3	1	300,	0,	0,	
3	1	1	300,	0,	0,	
	2	1	300,	0,	0,	
	3	1	300,	0,	0,	
4	1	1	300,	0,	0,	
	2	1	300,	0,	0,	
	3	1	300,	0,	0,	
5	1	1	300,	0,	0,	
	2	1	300,	0,	0,	
	3	1	300,	0,	0,	
7	1	1	-150,	0,	0,	
	2	1	-150,	0,	0,	
	3	1	-150,	0,	0,	
8	1	1	-254,95	0,	0,	
	2	1	-254,95	0,	0,	
	3	1	-254,95	0,	0,	
9	1	1	-254,95	0,	0,	
	2	1	-254,95	0,	0,	
	3	1	-254,95	0,	0,	
10	1	1	-275,347	0,	0,	
	2	1	-275,347	0,	0,	
	3	1	-275,347	0,	0,	
11	1	1	-275,347	0,	0,	
	2	1	-275,347	0,	0,	
	3	1	-275,347	0,	0,	
12	1	1	-254,95	0,	0,	
	2	1	-254,95	0,	0,	
	3	1	-254,95	0,	0,	
13	1	1	-254,95	0,	0,	
	2	1	-254,95	0,	0,	
	3	1	-254,95	0,	0,	
14	1	1	-150,	0,	0,	
	2	1	-150,	0,	0,	
	3	1	-150,	0,	0,	
15	1	1	-60,	0,	0,	
	2	1	-60,	0,	0,	
	3	1	-60,	0,	0,	
17	1	1	48,	0,	0,	
	2	1	48,	0,	0,	
	3	1	48,	0,	0,	
19	1	1	-60,	0,	0,	
	2	1	-60,	0,	0,	
	3	1	-60,	0,	0,	
20	1	1	269,258	0,	0,	
	2	1	269,258	0,	0,	
	3	1	269,258	0,	0,	
21	1	1	-64,0312	0,	0,	
	2	1	-64,0312	0,	0,	
	3	1	-64,0312	0,	0,	
22	1	1	-38,4187	0,	0,	
	2	1	-38,4187	0,	0,	

Усилия и напряжения элементов, кН, м					
Номер элемента	Номер сечения	Номер загрузки	Усилия и напряжения		
			N	M	Q
23	3	1	-38,4187	0,	0,
	1	1	-38,4187	0,	0,
	2	1	-38,4187	0,	0,
24	3	1	-38,4187	0,	0,
	1	1	-64,0312	0,	0,
	2	1	-64,0312	0,	0,
25	3	1	-64,0312	0,	0,
	1	1	269,258	0,	0,
	2	1	269,258	0,	0,
	3	1	269,258	0,	0,

Форма отчетности: Привести в рабочей тетради заданную схему фермы и приложить распечатки таблиц с полученными результатами по SCAD.

Задания для самостоятельной работы:

1. Проработка лекционного материала.
2. Освоить расчет ферм по МКЭ.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Освоить методику расчета стержневых конструкций с помощью вычислительного комплекса SCAD (дисциплина «Строительная информатика»).

Изучить порядок расчета фермы с помощью программного комплекса SCAD по методическим указаниям для самостоятельной работы [3].

Рекомендуемые источники

Основная литература

1. Строительная механика. В 2 кн.: учебник для вузов / Под ред. В. Д. Потапова. – Москва : Высшая школа. Кн.1 : Статика упругих систем. – 2007. – 511 с.
2. Сорока М.Д., Жердева С.А. Расчет строительных конструкций с использованием ПК SCAD. Методические указания для самостоятельной работы по дисциплине «Строительная механика» для студентов, обучающихся по направлению «Строительство» / М.Д. Сорока, С.А. Жердева – Братск: ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2013. – 33с.

Дополнительная литература

1. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ, 1996. – 541 с.
2. Вагер Б.Г., Бороздин О.П., Коваленко Г.В. Численные методы и математическое моделирование в расчетах строительных конструкций: Учеб. пособие. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2004 г. – 146 с.
3. Сеницын С.Б. Строительная механика в методе конечных элементов стержневых систем.- М.: АСВ, 2002.- 319с.
4. Коваленко, Г. В. Строительная механика: методические указания и контрольные задания / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2013. - 35 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. В какой системе координат вводим в программу узлы фермы?
2. Какие связи накладываем и на какие узлы?
3. Какую жесткость следует принять для элементов фермы как шарнирно-стержневой системы?
4. На что работают нижний и верхний пояс балочной фермы?
5. Какой тип конечного элемента принимается при расчете фермы?

Практическое занятие № 13 – Расчет рамы с помощью программно-вычислительного комплекса SCAD.

Цель работы: Освоить расчет плоских стержневых систем с помощью программного комплекса SCAD на основе метода конечных элементов (МКЭ).

Задание:

Исходные данные: $P=40$ кН, $q=20$ кН/м.

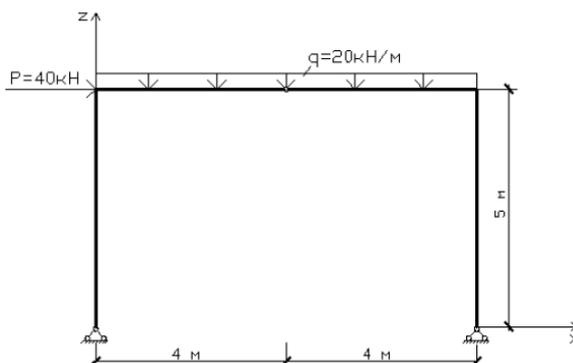


Рис. 1. Расчетная схема

Характеристика расчетной схемы:

- количество узлов – 5;
- количество элементов – 4.

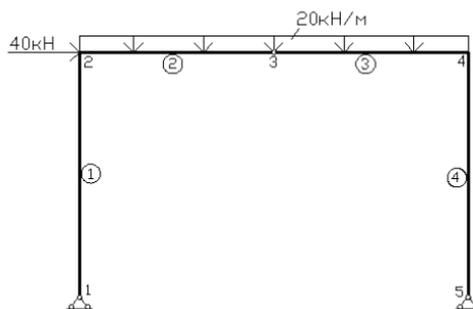


Рис. 2. Номера узлов и элементов

Порядок выполнения:

1. Открываем SCAD, выбираем в меню **Проект**, затем **Новый проект**.
2. Выбираем **Тип схемы: 2 – Плоская рама**.
3. В этом же окне нажимаем на кнопку **Единицы измерения**. Уточняем единицы измерения нагрузок (т или кН).
4. В окне **Создание нового проекта SCAD** назначаем имя файла, нажимаем кнопку **Сохранить**.
5. Выходим в экран управления проектом, выбираем **Расчетную схему**.
6. В рабочем поле выбираем вкладку **Узлы и элементы**: вводим координаты узлов (X, Z). После каждого узла нажимаем кнопку **Добавить**. Соединяем поочередно все узлы стержнями. В рабочем окне появляется расчетная схема рамы с нумерацией узлов и элементов.
7. Открываем вкладку **Назначения**, нажимаем на кнопку **Установка связей** и на кнопку **Установка шарниров**.
8. Нажимаем на кнопку **Назначение жесткостей стержней**. Выбираем способ задания жесткостей – **Параметрические сечения**. Номер типа жесткости принимаем: 1.
9. Нажимаем на кнопку **ОК** и **Подтвердить**.
10. Затем нажимаем на вкладку **Загружения** и вводим нагрузки, затем на кнопку **ОК** и **Подтвердить**.
11. После нагружения рамы выбираем вкладку **Управление** и нажимаем кнопку **Войти в экран управления проектом**. Выбираем **Расчет линейный** и нажимаем **ОК**.
12. Далее в главном окне SCAD появляются 3 окна: Расчетная схема, Матрица–17 и

Протокол выполнения расчета. Просмотрев полученную информацию о расчете, нажимаем кнопку **Выход**.

13. Завершающий этап – **Печать таблиц** и построенных эпюр внутренних усилий M , Q , N .

Таблица 2

Результаты расчета элементов рамы

Максимальные усилия элементов расчетной схемы, кН, м								
Наименование	MAX+				MAX-			
	Значение	Номер элемента	Номер сечения	Номер загрузки	Значение	Номер элемента	Номер сечения	Номер загрузки
N	40,0	1	3	1	-105,0	4	3	2
M	60,0	1	3	2	-260,0	4	3	2
Q	54,92	2	1	2	-105,0	3	3	2

Максимальные усилия выбранных элементов, кН, м								
Наименование	MAX+				MAX-			
	Значение	Номер элемента	Номер сечения	Номер загрузки	Значение	Номер эл-та	Номер сечения	Номер загрузки
N	0,0				-105,0	4	3	2
M	60,0	1	3	2	-260,0	4	3	2
Q	54,92	2	1	2	-105,0	3	3	2

Усилия и напряжения элементов, кН, м						
Номер элемента	Номер сечения	Номер загрузки	Усилия и напряжения			
			N	M	Q	
1	1	2	-55,0	0,0	12,0	
	2	2	-55,0	30,0	12,0	
	3	2	-55,0	60,0	12,0	
2	1	2	-52,0	-60,0001	54,92	
	2	2	-52,0	9,99992	14,96	
	3	2	-52,0	0,0	-25,0	
3	1	2	-52,0	-0,00016	-25,08	
	2	2	-52,0	-90,0	-65,04	
	3	2	-52,0	-260,0	-105,0	
4	1	2	-105,0	0,0	-52,0	
	2	2	-105,0	-130,0	-52,0	
	3	2	-105,0	-260,0	-52,0	



Рис. 3. Эпюра N

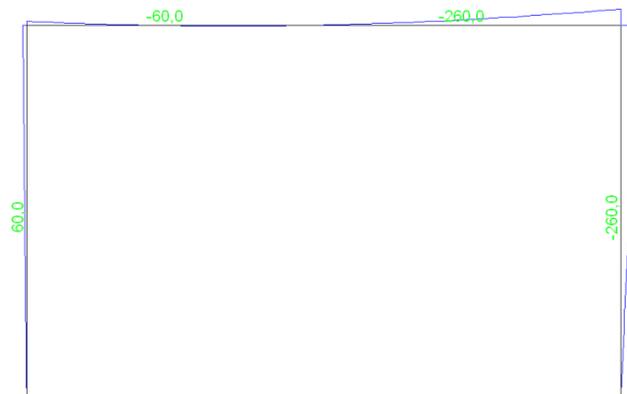


Рис. 4. Эпюра M



Рис. 5. Эпюра Q

Форма отчетности: Привести в рабочей тетради задание с расчетной схемой рамы и приложить распечатки таблиц и построенных эпюр M , Q , N , полученных по SCAD.

Задания для самостоятельной работы:

3. Проработка лекционного материала.
4. Изучить расчет стержневых систем по методу конечных элементов (МКЭ).

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Освоить методику расчета стержневых конструкций с помощью программного комплекса SCAD на основе МКЭ (дисциплина «Строительная информатика»).

Изучить порядок расчета плоских рам с использованием ПК SCAD по методическим указаниям для самостоятельной работы [3].

Рекомендуемые источники

Основная литература

1. Строительная механика. В 2 кн.: учебник для вузов / Под ред. В. Д. Потапова. – Москва : Высшая школа. Кн.1 : Статика упругих систем. – 2007. – 511 с.
2. Сорока М.Д., Жердева С.А. Расчет строительных конструкций с использованием ПК SCAD. Методические указания для самостоятельной работы по дисциплине «Строительная механика» для студентов, обучающихся по направлению «Строительство» / М.Д. Сорока, С.А. Жердева – Братск: ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2013. – 33с.

Дополнительная литература

1. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем - М.: АСВ,1996. – 541 с.
2. Вагер Б.Г., Бороздин О.П., Коваленко Г.В. Численные методы и математическое моделирование в расчетах строительных конструкций: Учеб. пособие. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2004 г. – 146 с.

3. Синицын С.Б. Строительная механика в методе конечных элементов стержневых систем.- М.: АСВ, 2002.- 319с.

4. Коваленко, Г. В. Строительная механика: методические указания и контрольные задания / Г. В. Коваленко, И. В. Дудина. - Братск: БрГУ, 2013. - 35 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какой тип конечного элемента принимается при расчете плоской рамы?
2. Какие характеристики сечений используются при назначении жесткостных параметров?
3. В какой системе координат вводим в программу узлы рамы?
4. Какие связи учитываем при расчете рам?
5. Какие виды нагрузок вводятся в загрузениях рамы?

9.2. Методические указания по РГР

Расчетно-графическая работа (РГР) – это самостоятельное исследование студента. Выполняя РГР, 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 РГР, студент получает умения и навыки, которые будут полезными в будущем – при выполнении более сложных задач (дипломная работа, диссертация, научное исследование).

Целью разработки РГР 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.

Расчетно–графическая работа выполняется в два этапа.

Первый этап РГР включает следующее:

- выбор расчетной схемы для заданной системы;
- статический и кинематический анализ расчетной схемы;
- работа с литературой и источниками информации согласно избранной теме;
- выбор метода расчета.

Второй этап РГР включает следующее:

- рассматривается порядок расчета с необходимыми пояснениями и обоснованием методики расчета;
- непосредственно сам расчет конструкции с получением результатов;
- анализ полученных результатов;
- формулирование выводов;
- оформление отчета;
- подготовка РГР к защите.

Отчет о выполнении РГР оформляется в виде пояснительной записки, в которой приводятся расчетная схема, расчеты и построенные эпюры внутренних усилий; анализ результатов; выводы; список использованных источников.

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

1. ОС Windows 7 Professional.
2. Microsoft Imagine Premium.
3. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.
4. Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level.
5. Информационно-справочная система «Кодекс».

6. Коваленко Г.В., Попов Я.Д. Компьютерный информационно-тестовый комплекс по курсу «Строительная механика» ГАЛИЛЕЙ / Свидет. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 990966, М.: Роспатент, 1999.
7. SCAD Office 7.31 R5.

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

<i>Вид занятия (Лк, ПЗ, РГР, 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 № 1-13
РГР	ЧЗ1	Оборудование 10-ПК i5-2500/Н67/4Gb(монитор TFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D	-
СР	ЧЗ1	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	1. Введение. Кинематический анализ стержневых систем	1.1. Цель и задачи дисциплины «Строительная механика»	вопросы к зачету, экзаменационные вопросы
			1.2. Кинематический анализ стержневых систем	
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 определимых систем	2.1. Статически определяемые стержневые системы. Расчет многопролетных балок и рам	вопросы к зачету, экзаменационные вопросы
			2.2. Расчет трехшарнирных арок и рам	
			2.3. Расчет балочных и консольно-балочных ферм на узловую нагрузку	
			2.4. Особенности определения усилий в статически определимых системах при подвижной нагрузке	
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	3. Основные теоремы о линейно-деформируемых системах и определение перемещений в статически определимых системах	3.1. Понятие о линейно-деформируемой системе. Принцип возможных перемещений	вопросы к зачету, экзаменационные вопросы
			3.2. Определение перемещений от нагрузки разными способами	
			4. Статически неопределимые системы. Метод сил	
4.1. Алгоритм расчета статически неопределимых рам по методу сил				
		5. Расчет статически неопределимых систем методом перемещений	4.2. Расчет многопролетных неразрезных балок	экзаменационные вопросы
			5.1. Сущность расчета статически неопределимых систем по методу перемещений	
			5.2. Алгоритм расчета статически неопределимых рам и неразрезных балок по методу перемещений	
			5.3. Особенности расчета многопролетных и многоярусных рам	

1	2	3	4	5
		6. Особенности расчета сооружений методом конечных элементов (МКЭ)	6.1. Сущность расчета по МКЭ на примере плоской задачи теории упругости 6.2. Расчет стержневых систем с использованием программно-вычислительных комплексов	экзаменационные вопросы
		7. Основы устойчивости и динамики сооружений	7.1. Основные понятия устойчивости сооружений. 7.2. Основные понятия динамики сооружений.	

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 естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат	1.1. Предпосылки, используемые при расчетах задач строительной механики. 1.2. Кинематический анализ стержневых систем. 1.3. Определение геометрической неизменяемости систем. Мгновенно изменяемые системы.	1. Введение. Кинематический анализ стержневых систем
2.	ПК-1	знание нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест	2.1. Плоские стержневые системы статически определимые и неопределимые. Расчет многопролетных статически определимых балок. 2.2. Расчет статически определимых рам (простых и сложных). Порядок расчета. Правило знаков. Построение эпюр внутренних усилий (проверки). 2.3. Расчет трехшарнирных арок и рам. 2.4. Расчет плоских статически определимых ферм. 2.5. Расчет сооружений на подвижную нагрузку. Построение линий влияния усилий балок.	2. Расчет статически определимых 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 автоматизированного проектирования, стандартных пакетов автоматизации исследований, владение	3.1. Понятие о линейно-деформируемой системе. Обобщенные силы и перемещения. Действительная и возможная работа внешних и внутренних сил. 3.2. Теорема Клапейрона о работе статически приложенной внешней нагрузки. Потенциальная энергия упругой системы. 3.3. Принцип возможных перемещений. Определение перемещений от нагрузки с помощью интеграла Мора. 3.4. Теорема Бетти о взаимности работ и теорема Максвелла о взаимности перемещений. 3.5. Правило Верещагина и формула Симпсона для определения перемещений.	3. Основные теоремы о линейно-деформируемых системах и определение перемещений в статически определимых системах

		методами испытаний строительных конструкций и изделий, методами постановки и проведения экспериментов по заданным методикам	
--	--	---	--

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать <i>ОПК-2:</i> – методы расчета статически определимых и неопределимых 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>Уметь <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>	зачтено	Обучающийся твердо знает программный, в том числе лекционный материал, показывает умение решать практические задачи механики: знает основные методы и приема расчета статически определимых стержневых систем; умеет правильно выбирать расчетную схему сооружения на основе выявления естественнонаучной сущности работы конструкции или всего сооружения в целом и привлечения для расчета соответствующего физико-математического аппарата, в том числе, с использованием методов математического (компьютерного) моделирования: хорошо владеет знанием нормативной базы в области принципов проектирования зданий, сооружений. Дополнительным условием для получения оценки «зачтено» могут стать хорошие успехи при выполнении самостоятельной и расчетно-графических работ (РГР), систематическая активная работа на практических занятиях.
	не зачтено	Обучающийся не знает значительной части программного, в том числе лекционного, материала, допускает существенные ошибки в решении практических задач; не способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, слабо привлекает для их решения соответствующий физико-математический аппарат; плохо знает нормативную базу в области принципов проектирования зданий, сооружений; слабо владеет использованием программно-вычислительных комплексов, не знает основные методы и приемы расчета статически определимых стержневых систем; не умеет правильно выбирать

<p>Владеть ОПК-2: – физико-математическим аппаратом при расчете сооружений на прочность, жесткость и устойчивость; ПК-1: – принципами проектирования зданий и сооружений с учетом инженерных изысканий; ПК-14: – методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования при решении исследовательских задач механики;</p>		<p>расчетную схему сооружения, наиболее рациональный метод расчета; не владеет основными современными методами постановки, исследования и решения задач механики.</p>
--	--	---

4. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ОПК-2	способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат	<p>1.1. Предпосылки, используемые при расчетах задач строительной механики.</p> <p>1.2. Кинематический анализ стержневых систем.</p>	1. Введение. Кинематический анализ стержневых 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>2.1. Расчет многопролетных статически определимых балок.</p> <p>2.2. Расчет статически определимых рам (простых и сложных). Порядок расчета. Правило знаков. Построение эпюр внутренних усилий. Проверки расчета.</p> <p>2.3. Расчет трехшарнирных арок.</p> <p>2.4. Расчет плоских статически определимых ферм.</p>	2. Расчет статически определимых систем
3.	ПК-14	владение методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно - вычислительных комплексов	<p>3.1. Понятие о линейно-деформируемой системе. Действительная и возможная работа внешних и внутренних сил.</p> <p>3.2. Принцип возможных перемещений. Определение перемещений от нагрузки разными способами (с помощью интеграла Мора, по правилу Верещагина и формуле Симпсона).</p>	3. Основные теоремы о линейно-деформируемых системах и определение перемещений в статически определимых системах
4.			<p>4.1. Свойства статически неопределимых систем. Степень статической неопределимости. Методы расчета.</p> <p>4.2. Сущность расчета статически неопределимых систем по методу сил. Основная система и канонические уравнения метода сил.</p> <p>4.3. Алгоритм расчета по методу сил. Проверки правильности расчета.</p>	4. Статически неопределимые системы. Метод сил

		сов, систем автоматизированного проектирования, стандартных пакетов автоматизации исследований, владение методами испытаний строительных конструкций и изделий, методами постановки и проведения экспериментов по заданным методикам	<p>4.4. Рациональные приемы выбора основной системы при расчете по методу сил. Учет симметрии системы.</p> <p>4.5. Расчет неразрезных балок.</p>	
5.			<p>5.1. Степень кинематической неопределимости при расчете методом перемещений. Идея метода перемещений. Выбор основной системы. Канонические уравнения метода перемещений. Вычисление коэффициентов.</p> <p>5.2. Расчет рам по методу перемещений Проверки расчета.</p> <p>5.3. Особенности расчета многопролетных и многоярусных рам.</p>	5. Расчет статически неопределимых систем методом перемещений
6.			<p>6.1. Сущность МКЭ. Особенности расчета пластин и стержневых систем по МКЭ.</p> <p>6.2. Расчет стержневых систем (ферм, рам) с помощью программно-вычислительных комплексов.</p>	6. Особенности расчета сооружений методом конечных элементов (МКЭ)
7.			<p>7.1. Основные понятия устойчивости сооружений. Устойчивость упругих стержней.</p> <p>7.2. Основные понятия динамики сооружений Динамическая расчетная схема сооружения.</p>	7. Основы устойчивости и динамики сооружений

5. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать ОПК-2: – методы расчета статически определимых и неопределимых стержневых систем при действии статических и динамических нагрузок; ПК-1: – нормативную базу в области расчета и проектирования зданий и сооружений; ПК-14: – компьютерное моделирование поведения конструкций и сооружений при действии нагрузок;</p> <p>Уметь ОПК-2:</p>	отлично	В полной мере владеет знанием нормативной базы в области принципов проектирования зданий и сооружений, методами математического (компьютерного) моделирования в том числе, с использованием программно-вычислительных комплексов; способен точно выявить естественно-научную сущность работы всей заданной системы и грамотно составить для нее расчетную схему с учетом статического и кинематического анализа; отлично владеет рациональными методами расчета стержневых систем с привлечением соответствующего физико-математического аппарата для правильного решения поставленных практических задач.
	хорошо	Демонстрирует хороший уровень теоретической проработки лекционного материала, практических навыков и умения грамотно решать поставленные задачи по расчету стержневых систем с привлечением соответствующего физико-математического аппарата и способности

<p>– выявлять естественно-научную сущность проблем механики, возникающих в ходе профессиональной деятельности;</p> <p>– грамотно выбрать расчетную схему сооружения на основании его фактической работы при действующих нагрузках;</p>		<p>выявления естественно-научной сущности работы здания и сооружения с некоторыми допустимыми неточностями. Имеет хорошие знания нормативной базы в области принципов проектирования зданий и сооружений; достаточно грамотно владеет методами математического (компьютерного) моделирования в том числе, с использованием программно-вычислительных комплексов.</p>
<p><i>ПК-1:</i></p> <p>– использовать современные нормы проектирования строительных конструкций применительно к разным расчетным моделям;</p> <p><i>ПК-14:</i></p> <p>– использовать универсальные и специализированные программно-вычислительные комплексы для расчета строительных конструкций, зданий и сооружений.</p>	<p>удовлетворительно</p>	<p>Демонстрирует средний уровень теоретической проработки лекционного материала, практических навыков и умения решать поставленные задачи по расчету стержневых систем с удовлетворительным привлечением соответствующего физико-математического аппарата и способности выявления естественно-научной сущности работы здания и сооружения на основании чего составляется расчетная схема сооружения и выбирается метод расчета, который требует корректировки для обеспечения требуемой точности расчета. Имеет средние знания нормативной базы в области принципов проектирования зданий и сооружений; слабо владеет методами математического (компьютерного) моделирования в том числе, с использованием программно-вычислительных комплексов.</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>неудовлетворительно</p>	<p>Достаточно слабо владеет знанием нормативной базы в области принципов проектирования зданий и сооружений, способностью выявления естественно-научной сущности работы конструкции или здания в целом. Демонстрирует слабый уровень теоретической проработки лекционного материала, практических навыков и умения решать поставленные задачи по расчету стержневых систем с неудовлетворительным привлечением соответствующего физико-математического аппарата, в том числе, использования программно-вычислительных комплексов. В результате чего безграмотно составляется расчетная схема конструкции или здания и неверно принимается метод расчета.</p>

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

Дисциплина Б1.В.05 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.05 Строительная механика предусматривает:

- лекции,

- практические занятия;
- расчетно-графические работы;
- зачет;
- экзамен;
- самостоятельная работа.

В ходе освоения:

– раздела 1. Введение. Кинематический анализ стержневых систем – обучающиеся должны получить сведения о целях и задачах дисциплины «Строительная механика», ее взаимосвязи с другими дисциплинами; изучить и усвоить кинематический анализ сооружений, который используется при расчете любой задачи строительной механики.

– раздела 2. Расчет статически определимых систем – обучающиеся должны научиться определять внутренние усилия и уметь строить эпюры полученных усилий в статически определимых балках, рамах, арках, фермах от неподвижной нагрузки, а также знать особенности расчета конструкций на подвижную нагрузку.

– раздела 3. Основные теоремы о линейно-деформируемых системах и определение перемещений в статически определимых системах – обучающиеся должны знать основы теории перемещений; принципы возможных перемещений, на основании которых определяются перемещения от силового, температурного воздействия и от осадки опор; усвоить разные методы определения перемещений.

– раздела 4. Статически неопределимые системы. Метод сил – обучающиеся должны изучить и освоить расчет статически неопределимых систем по методу сил; уметь выполнить рациональный выбор основной системы, составить канонические уравнения; научиться строить эпюры внутренних усилий в статически неопределимых рамах, уметь выполнять проверки расчета; изучить и освоить методику расчета неразрезных балок.

– раздела 5. Расчет статически неопределимых систем методом перемещений – обучающиеся должны уметь определять степень кинематической неопределимости системы, знать алгоритм расчета статически неопределимых систем (рам и балок) по методу перемещений, правильно выбирать основную систему и составлять канонические уравнения метода перемещений, уметь строить эпюры внутренних усилий и выполнять их проверки.

– раздела 6. Особенности расчета сооружений методом конечных элементов (МКЭ) – обучающиеся должны знать и понимать сущность метода конечных элементов (МКЭ), уметь выполнять расчет стержневых систем (ферм, рам) с помощью ПК SCAD.

– раздела 7. Основы устойчивости и динамики сооружений – обучающиеся должны усвоить основные понятия устойчивости и динамики сооружений: виды потери устойчивости, степень свободы, методы решения, особенности расчета на динамические воздействия.

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», «Сопrotивление материалов».

Овладение ключевыми понятиями (прочность, жесткость, устойчивость) является неотъемлемой частью освоения данной дисциплины.

При подготовке к зачету и экзамену рекомендуется особое внимание уделить умению решать задачи.

В процессе проведения практических занятий и выполнения РГР 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, выполнения практических занятий и РГР. 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, связанной с выполнением РГР.

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

- самостоятельная работа в течение семестра;
- непосредственная подготовка в дни, предшествующие зачету и экзамену по темам курса;
- подготовка к ответу на вопросы к зачету, экзаменационные вопросы и просмотр прорешенных задач на практических занятиях и при выполнении РГР.

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

Основным источником подготовки к зачету и экзамену 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 и экзамену студентам необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания излагаемых проблем и, главное, на умение решать задачи по всем темам.

Зачет и экзамен проводится по вопросам, задачам и экзаменационным билетам, 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 и экзамена объявляются обучающемуся после окончания ответа в день сдачи.

АННОТАЦИЯ
рабочей программы дисциплины
Строительная механика

1. Цель и задачи 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.

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.

2. Структура дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: лекции – 34 часа, практические занятия – 68 часов, самостоятельная работа – 78 часов.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 216 часов, 6 зачетных единиц

2.2 Основные разделы дисциплины:

- 1 – Введение. Кинематический анализ стержневых систем.
- 2 – Расчет статически определимых систем.
- 3 – Основные теоремы о линейно-деформируемых системах и определение перемещений в статически определимых системах.
- 4 – Статически неопределимые системы. Метод сил.
- 5 – Расчет статически неопределимых систем методом перемещений.
- 6 – Особенности расчета сооружений методом конечных элементов (МКЭ).
- 7 – Основы устойчивости и динамики 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, экзамен.

**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.,
(разработчик)

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

**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. Введение. Кинематический анализ стержневых систем	1.1. Цель и задачи дисциплины «Строительная механика»	РГР
			1.2. Кинематический анализ стержневых систем	
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 определимых систем	2.1. Статически определимые стержневые системы. Расчет многопролетных балок и рам	РГР
			2.2. Расчет трехшарнирных арок и рам	
			2.3. Расчет балочных и консольно-балочных ферм на узловую нагрузку	
			2.4. Особенности определения усилий в статически определимых системах при подвижной нагрузке	
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	3. Основные теоремы о линейно-деформируемых системах и определение перемещений в статически определимых системах	3.1. Понятие о линейно-деформируемой системе. Принципы возможных перемещений	РГР
			3.2. Определение перемещений от нагрузки, теплового воздействия и осадки опор	
			4. Статически неопределимые системы. Метод сил	
4.1. Алгоритм расчета статически неопределимых рам по методу сил				
		5. Расчет статически неопределимых систем методом перемещений	4.2. Расчет многопролетных неразрезных балок	РГР
			5.1. Сущность расчета статически неопределимых систем по методу перемещений	
			5.2. Алгоритм расчета статически неопределимых рам и неразрезных балок по методу перемещений	
			5.3. Особенности расчета многопролетных и многоярусных рам	

1	2	3	4	5
		6. Особенности расчета сооружений методом конечных элементов (МКЭ)	6.1. Сущность расчета по МКЭ на примере плоской задачи теории упругости	-
			6.2. Расчет стержневых систем с использованием программно-вычислительных комплексов	
		7. Основы устойчивости и динамики сооружений	7.1. Основные понятия устойчивости сооружений.	-
			7.2. Основные понятия динамики сооружений.	

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать <i>ОПК-2:</i> – методы расчета статически определимых и неопределимых 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>Уметь <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</p>	зачтено	Ставится обучающемуся, который в срок, в полном объеме и на высоком уровне выполнил РГР; 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 для их решения соответствующий физико-математический аппарат; знает нормативную базу в области принципов проектирования зданий, сооружений; владеет методами математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием программно-вычислительных комплексов.
	не зачтено	Допущены существенные недостатки в оформлении РГР: имеются отступления от содержания РГР; 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, слабо привлекает для их решения соответствующий физико-математический аппарат; плохо знает нормативную базу в области принципов

<p>для расчета строительных конструкций, зданий и сооружений.</p> <p>Владеть <i>ОПК-2:</i> – физико-математическим аппаратом при расчете сооружений на прочность, жесткость и устойчивость; <i>ПК-1:</i> – принципами проектирования зданий и сооружений с учетом инженерных изысканий; <i>ПК-14:</i> – методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования при решении исследовательских задач механики;</p>		<p>проектирования зданий, сооружений; не владеет методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием программно-вычислительных комплексов; 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 очной формы обучения от «13» июля 2015 г. № 475, для заочной формы обучения от «01» октября 2015 г. № 587

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

для набора 2017года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» марта 2017 г. № 125, для заочной формы обучения от «06» марта 2017 г. № 125, для ускоренной формы обучения от «04» апреля 2017 г. № 203

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

Программу составили:

Коваленко Г. В., проф. каф. СКИТС, доцент, к.т.н. _____

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 № _____