

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
Факультет кадастра и строительства
Сысоев О.Е.

«23» 06 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Расчёт строительных конструкций методом конечных элементов»

Специальность	08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений
Специализация	Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений
Квалификация выпускника	Специалист
Год начала подготовки (по учебному плану)	2020
Форма обучения	Очная форма
Технология обучения	Традиционная

Курс	Семестр	Трудоемкость, з.е.
4	8	4

Вид промежуточной аттестации	Обеспечивающее подразделение
Экзамен	Кафедра «Строительство и архитектура»

Разработчик рабочей программы:

Доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования», кандидат технических наук, доцент

(должность, степень, ученое звание)



(подпись)

Ю.Н.Чудинов
(ФИО)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы «Строительство уникальных зданий и сооружений»



(подпись)

Ю.Н.Чудинов
(ФИО)

Заведующий выпускающей кафедрой «Строительство и архитектура»



(подпись)

О.Е. Сысоев
(ФИО)

1 Введение

Рабочая программа и фонд оценочных средств дисциплины «Расчёт строительных конструкций методом конечных элементов» составлены в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, утвержденного приказом Минобрнауки Российской Федерации ФГОС ВО, утвержденный приказом Минобрнауки России от 31.05.2017 № 483, и основной профессиональной образовательной программы подготовки «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений» по специальности «08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений».

Практическая подготовка реализуется на основе:

Профессиональный стандарт 10.003 «СПЕЦИАЛИСТ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ».

Обобщенная трудовая функция: А Проведение прикладных исследований в сфере инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности.

НУ-1 Производить расчеты и вычисления по установленным алгоритмам, НУ-3 Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности для производства работ по инженерно-техническому проектированию объектов градостроительной деятельности.

Профессиональный стандарт 10.003 «СПЕЦИАЛИСТ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ».

Обобщенная трудовая функция: В Разработка проектной продукции по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности.

ТД-4 Моделирование свойств элементов объекта и его взаимодействия с окружающей средой с соблюдением установленных требований для производства работ по инженерно-техническому проектированию объектов градостроительной деятельности, НЗ-4 Методы, приемы и средства численного анализа.

Профессиональный стандарт 10.003 «СПЕЦИАЛИСТ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ».

Обобщенная трудовая функция: С Регулирование, организация и планирование в сфере инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности.

НЗ-12 Современные средства автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы.

Задачи дисциплины	<ul style="list-style-type: none"> - изучение теоретических основ метода конечных элементов и алгоритмов реализации метода конечных элементов при расчете строительных конструкций; - изучение методов, приемов и средств численного анализа. - формирование умений и навыков применения метода конечных элементов, позволяющих эффективно и надежно решать прикладные задачи расчета строительных конструкций - выработка умений анализировать результаты выполненных расчетов, находить возможные ошибки и исправлять их; - выработка умений моделирования свойств элементов объекта, и его взаимодействия с окружающей средой с соблюдением установленных требований для производства работ по инженерно-техническому проектированию объектов градостроительной деятельности; - формирование умений и навыков применения современных средств
-------------------	---

	автоматизации в сфере градостроительной деятельности
Основные разделы / темы дисциплины	1. Основные теоретические положения метода конечных элементов 2. Расчет стержневых систем методом конечных элементов 3. Расчет методом конечных элементов пластин и оболочек

2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины «Расчёт строительных конструкций методом конечных элементов» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 1):

Таблица 1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Общепрофессиональные		
ОПК-1 Способен решать прикладные задачи строительной отрасли, используя теорию и методы фундаментальных наук	ОПК-1.1 Знает теорию и основные законы в области естественнонаучных и общеинженерных дисциплин ОПК-1.2 Умеет выявлять и классифицировать физические и химические процессы, протекающие на объекте профессиональной деятельности, решать инженерные задачи с помощью математического аппарата ОПК-1.3 Владеет навыками решения типовых инженерных задач на основе теоретических исследований, обработки расчетных и экспериментальных данных вероятностно-статистическими методами	Знать - основные теоретические положения метода конечных элементов и алгоритмы реализации метода конечных элементов при расчете строительных конструкций; - методы, приемы и средства численного анализа; Уметь - выполнять расчеты строительных конструкций с помощью ручного счета и специализированных программных комплексов на основе метода конечных элементов; - анализировать результаты выполненных расчетов, находить возможные ошибки и исправлять их; - моделировать свойства элементов объекта, и его взаимодействие с окружающей средой с соблюдением установленных требований для производства работ по инженерно-техническому проектированию объектов градостроительной деятельности; Владеть - навыками расчета строительных конструкций методом ко-

		нечных элементов в ПК Лира-САПР, программе MathCAD.
--	--	---

3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Расчёт строительных конструкций методом конечных элементов» изучается на 4 курсе, 8 семестре.

Дисциплина входит в состав блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к базовой части.

Для освоения дисциплины необходимы знания, умения, навыки и / или опыт практической деятельности, сформированные в процессе изучения дисциплин / практик: «Химия», «Математика», «Физика», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Теоретическая механика», «Сопrotивление материалов», «Теплотехника», «Теория упругости с основами пластичности и ползучести», «Механика грунтов», «Электротехника и электроснабжение», «Строительная механика», «Механика жидкости и газа», «Вероятностные методы строительной механики и теория надежности строительных конструкций», «Теория расчета пластин и оболочек».

Знания, умения и навыки, сформированные при изучении дисциплины «Расчёт строительных конструкций методом конечных элементов», будут востребованы при изучении последующих дисциплин: «Нелинейные задачи строительной механики», «Инженерно-геодезическое обеспечение строительства», «Динамика и устойчивость сооружений».

Дисциплина «Расчёт строительных конструкций методом конечных элементов» частично реализуется в форме практической подготовки.

Дисциплина «Расчёт строительных конструкций методом конечных элементов» в рамках воспитательной работы направлена на формирование у обучающихся активной гражданской позиции, уважения к правам и свободам человека, знания правовых основ и законов, воспитание чувства ответственности или умения аргументировать, самостоятельно мыслить, развивает творчество, профессиональные умения или творчески развитой личности, системы осознанных знаний, ответственности за выполнение учебно-производственных заданий и т.д.

4 Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 4 з.е., 144 акад. час.

Распределение объема дисциплины (модуля) по видам учебных занятий представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Объем дисциплины (модуля) по видам учебных занятий

Объем дисциплины	Всего академических часов
Общая трудоемкость дисциплины	144
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий), всего	56
В том числе:	

занятия лекционного типа (лекции и иные учебные занятия, предусматривающие преимущественную передачу учебной информации педагогическими работниками), в том числе в форме практической подготовки:	28
занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, практикумы, лабораторные работы, коллоквиумы и иные аналогичные занятия), в том числе в форме практической подготовки:	28
Самостоятельная работа обучающихся и контактная работа , включающая групповые консультации, индивидуальную работу обучающихся с преподавателями (в том числе индивидуальные консультации); взаимодействие в электронной информационно-образовательной среде вуза	52
Промежуточная аттестация обучающихся – Экзамен	36

5 Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебной работы

Таблица 3 – Структура и содержание дисциплины (модуля)

Наименование разделов, тем и содержание материала	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			СРС
	Контактная работа преподавателя с обучающимися			
	Лекции	Семинарские (практические занятия)	Лабораторные занятия	
Раздел 1 Основные теоретические положения метода конечных элементов				
Основы метода конечных элементов (МКЭ). Формы МКЭ. Основное уравнение МКЭ. Матрица жесткости. Аппроксимация перемещений по области конечного элемента. Системы координат. Объединение перемещений. Вектор внешних узловых сил. Граничные условия. Общий алгоритм статического расчета МКЭ. Ошибки метода конечных элементов.	8			20
Лабораторная работа 1 «Аппроксимация перемещений по области конечного элемента».			2	
Лабораторная работа 2 «Формирование матрицы жесткости конечного элемента в программе MathCAD».			2	
Раздел 2 Расчет стержневых систем методом конечных элементов				
Статический расчёт стержневых систем методом конечных элементов. Основные этапы МКЭ расчета. Дискретизация конструкции. Основные типы конечных элементов (КЭ).	12			16

Наименование разделов, тем и содержание материала	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			
	Контактная работа преподавателя с обучающимися			СРС
	Лекции	Семинарские (практические занятия)	Лабораторные занятия	
<p>Аппроксимация перемещений по области стержневого конечного элемента. Матрица жесткости КЭ с шестью степенями свободы в узле. Системы координат. Матрица направляющих косинусов. Формирование глобальной матрицы жесткости. Учет граничных условий. Объединение перемещений. Формирование вектора узловых сил. Методы решение основного уравнения МКЭ.</p> <p>Расчет устойчивости стержневых систем МКЭ. Динамический расчёт стержневых систем методом конечных элементов. Виды динамического воздействия на строительные сооружения.</p> <p>Уравнение движения и свободные колебания системы с одной степенью свободы. Матрица масс стержневого конечного элемента. Анализ частот и мод свободных колебаний стержневых конструкций</p> <p>Расчет балки на упругом основании МКЭ.</p>				
Лабораторная работа 3 «Статический расчет фермы МКЭ в программе MathCAD»			4	
Лабораторная работа 4 «Статический расчет балки МКЭ в ПК Лира-САПР»			4	
Лабораторная работа 5 «Статический расчет балки МКЭ в ПК STARKES»			4	
Лабораторная работа 6 «Динамический расчет балки МКЭ. Аналитический расчет. Расчет в ПК Лира-САПР и ПК STARKES»			4	
Раздел 3 Расчет методом конечных элементов пластин и оболочек				
Статический расчет методом конечных элементов пластин и оболочек. Идея метода конечных элементов для расчёта пластин. Типы конечных элементов Матрица жесткости плоского четырехугольного КЭ. Аппроксимация перемещений по области КЭ. Учет граничных условий. Объединение перемещений. Формирование вектора узловых сил. Решение системы уравнений МКЭ. Анализ результатов	8			16

Наименование разделов, тем и содержание материала	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			
	Контактная работа преподавателя с обучающимися			СРС
	Лекции	Семинарские (практические занятия)	Лабораторные занятия	
расчета. Динамический расчет пластин и оболочек. Матрица масс стержневого конечного элемента. Анализ частот и мод свободных колебаний пластин и оболочек				
Лабораторная работа 7 «Статический расчет пластины МКЭ»			4	
Лабораторная работа 7 «Динамический расчет пластины МКЭ»			4	
ИТОГО по дисциплине	28		28	52

6 Внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

При планировании самостоятельной работы студенту рекомендуется руководствоваться следующим распределением часов на самостоятельную работу (таблица 4):

Таблица 4 – Рекомендуемое распределение часов на самостоятельную работу

Компоненты самостоятельной работы	Количество часов
Изучение теоретических разделов дисциплины	16
Подготовка к занятиям семинарского типа	16
Подготовка и оформление РГР	20
	52

7 Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации представлен в Приложении 1.

Полный комплект контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), практике хранится на кафедре-разработчике в бумажном и электронном виде.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

8.1. Основная литература

Лебедев А.В. Численные методы расчета строительных конструкций [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Лебедев. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС

АСВ, 2012. — 55 с. — 978-5-9227-0338-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/19055.html>

2. Строительная механика: метод конечных элементов : учеб. пособие / С.И. Трушин. — М. : ИНФРА-М, 2017. — 305 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс; режим доступа <http://www.znaniium.com>]

3. Денисов А.В. Автоматизированное проектирование строительных конструкций [Электронный ресурс] : учебно-практическое пособие / А.В. Денисов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 160 с. — 978-5-7264-1073-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/57034.html>

4. Решение инженерных задач в пакете MathCAD [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.Е. Воскобойников [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), ЭБС АСВ, 2013. — 121 с. — 978-5-7795-0641-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/68838.html>

8.2. Дополнительная литература

1. «Компьютерное моделирование в задачах строительной механики» Издатель: Издательство АСВ Автор: Городецкий А.С., Барабаш М.С., Сидоров В.Н. ISBN: 978-5-4323-0188-8 Кол-во страниц: 338 Год издания: 2016

8.3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины (при наличии)

1. Расчет строительных стержневых конструкций в ПК «ЛИРА-САПР 2011» : учеб. пособие / Ю. Н. Чудинов. – Комсомольск-на-Амуре : ФБГОУ ВПО «КнАГТУ», 2013. – 88 с.

2. Расчет плоских ферм. Часть 1. Расчет фермы методом вырезания уз-лов. Расчет фермы в программе "Инженерный калькулятор": Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам "Практикум по компьютерной технике", "Теоретическая механика" для студентов направления 270100 «Строительство» всех форм обучения/Сост.: Ю.Н. Чудинов. – Комсомольск-на-Амуре: ФБГОУВПО "КнАГТУ", 2013. – 24 с.

3. Расчет плоских ферм. Расчет фермы в ПК «ЛИРА» : в 2 ч. Ч. 2 : методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Практикум по компьютерной технике», «Теоретическая механика» для студентов направления 270100 «Строительство» всех форм обучения/ сост. Ю. Н. Чудинов. – Комсомольск-на-Амуре : ФБГОУ ВПО «КнАГТУ», 2013. – 32 с.

4. Статический расчет балок. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам "Практикум по компьютерной технике", "Строительная механика. Спецкурс " для студентов направления 270100 «Строительство» всех форм обучения/Сост.: Ю.Н. Чудинов. – Комсомольск-на-Амуре: ФБГОУ ВПО "КнАГТУ", 2013. – 28 с.

5. Расчет плоских рам в ПК «ЛИРА» : методические указания к выполнению расчетно-графического задания по дисциплинам «Практикум по компьютерной технике», «Строительные конструкции. Спецкурс», «Строительная механика» / сост. Ю. Н. Чудинов. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ», 2013. – 28 с.

8.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образователь-

ного процесса по дисциплине

1 Электронно-библиотечная система ZNANIUM.COM. Договор ЕП 44 № 003/10 эбс ИКЗ 191272700076927030100100120016311000 от 17 апреля 2019 г.

2 Электронно-библиотечная система IPRbooks. Лицензионный договор № ЕП44 № 001/9 на предоставление доступа к электронно-библиотечной системе IPRbooks ИКЗ 191272700076927030100100090016311000 от 27 марта 2019г.

3 Электронно-библиотечная система eLIBRARY.RU. Договор № ЕП 44 № 004/13 на оказание услуг доступа к электронным изданиям ИКЗ 191272700076927030100100150016311000 от 15 апреля 2019 г.

8.5. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. «Кодекс»: Сайт компании профессиональных справочных систем. Система Нормативно-Технической Информации «Кодекстехэксперт». Режим доступа (<http://www.cntd.ru>), свободный

2. КонсультантПлюс : Справочно-правовая система /Сайт компании справочной правовой системы «КонсультантПлюс». Режим доступа свободный.

3. «Лира-Сапр»: Сайт компании разработчика САПР для строительства ООО «Ли-ра-САПР». База знаний. Режим доступа свободный. <https://help.liraland.ru/>

4. Материалы вебинара «Проектирование строительных конструкций с применением программ семейства ЛИРА-САПР 2015», 29 мая 2015 г. Организаторы – КнАГТУ (Комсомольск-на-Амуре) и ООО «Ли-ра-САПР» (Киев), часть 1: <https://www.youtube.com/watch?v=7qj1K0RA-No>

5. Материалы вебинара «Проектирование строительных конструкций с применением программ семейства ЛИРА-САПР 2015», 29 мая 2015 г. Организаторы – КнАГТУ (Комсомольск-на-Амуре) и ООО «Ли-ра-САПР» (Киев), часть 2: <https://www.youtube.com/watch?v=RRvpsxgvZsQ>

8.6. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Таблица 7 – Перечень используемого программного обеспечения

Наименование ПО	Реквизиты / условия использования
Microsoft Imagine Premium	Лицензионный договор АЭ223 №008/65 от 11.01.2019
OpenOffice	Свободная лицензия, условия использования по ссылке: https://www.openoffice.org/license.html
Программный комплекс ЛИРА-САПР, МОНОМАХ-САПР, ЭСПРИ, САПФИР (Студенческий комплект программ-4)	Сублицензионный договор № 1295/А от 10.01.2012 Сублицензионный договор ЕП44/65 от 01.11.2016, лицензионные ключи
ПК STARK ES, ПК ПРУСК 2.0, ПК Металл, ПК СпИн 2.4, ПК Одиссей	Соглашение о сотрудничестве, лицензионный сертификат № 061598 от 01.11.2016, сублицензионный договор ЕП44/65

9 Организационно-педагогические условия

Организация образовательного процесса регламентируется учебным планом и расписанием учебных занятий. Язык обучения (преподавания) - русский. Для всех видов аудиторных занятий академический час устанавливается продолжительностью 45 минут.

При формировании своей индивидуальной образовательной траектории обучающийся имеет право на перезачет соответствующих дисциплин и профессиональных модулей, освоенных в процессе предшествующего обучения, который освобождает обучающегося от необходимости их повторного освоения.

9.1 Образовательные технологии

Учебный процесс при преподавании курса основывается на использовании традиционных, инновационных и информационных образовательных технологий. Традиционные образовательные технологии представлены лекциями и семинарскими (практическими) занятиями. Инновационные образовательные технологии используются в виде широкого применения активных и интерактивных форм проведения занятий. Информационные образовательные технологии реализуются путем активизации самостоятельной работы студентов в информационной образовательной среде.

9.2 Занятия лекционного типа

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов учебного плана.

На первой лекции лектор обязан предупредить студентов, применительно к какому базовому учебнику (учебникам, учебным пособиям) будет прочитан курс.

Лекционный курс должен давать наибольший объем информации и обеспечивать более глубокое понимание учебных вопросов при значительно меньшей затрате времени, чем это требуется большинству студентов на самостоятельное изучение материала.

9.3 Занятия семинарского типа

Семинарские занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы.

Основной формой проведения семинаров является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также разбор примеров и ситуаций в аудиторных условиях. В обязанности преподавателя входят: оказание методической помощи и консультирование студентов по соответствующим темам курса.

Активность на семинарских занятиях оценивается по следующим критериям:

- ответы на вопросы, предлагаемые преподавателем;
- участие в дискуссиях;
- выполнение проектных и иных заданий;
- ассистирование преподавателю в проведении занятий.

Ответ должен быть аргументированным, развернутым, не односложным, содержать ссылки на источники.

Доклады и оппонирование докладов проверяют степень владения теоретическим материалом, а также корректность и строгость рассуждений.

Оценивание заданий, выполненных на семинарском занятии, входит в накопленную оценку.

9.4 Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа студентов – это процесс активного, целенаправленного приобретения студентом новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную и справочную документацию, специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, активности студентов, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, творческой инициативы, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений и академических навыков.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, уровня сложности, конкретной тематики.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов университета.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

Студенты должны подходить к самостоятельной работе как к наиважнейшему средству закрепления и развития теоретических знаний, выработке единства взглядов на отдельные вопросы курса, приобретения определенных навыков и использования профессиональной литературы.

9.5 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

При самостоятельной проработке курса обучающиеся должны:

- просматривать основные определения и факты;
- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- изучить рекомендованную литературу, составлять тезисы, аннотации и конспекты наиболее важных моментов;
- самостоятельно выполнять задания, аналогичные предлагаемым на занятиях;
- использовать для самопроверки материалы фонда оценочных средств.

10 Описание материально-технического обеспечения, необходимого для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

10.1 Учебно-лабораторное оборудование

Таблица 6 – Перечень оборудования лаборатории

Аудитория	Наименование аудитории (лаборатории)	Используемое оборудование
423/3	Лаборатория кафедры САПР	13 Персональных ЭВМ (intel Core i3 2100, 4ГБ ОЗУ, 1ГБ Видео), лицензионное программное обеспечение (MathCAD, NanoCAD СПДС, NanoCAD Металлоконструкции, Лира-САПР, САПФИР, Мономах, ЭСПРИ, STARK ES, Гранд-Смета); Персональный ЭВМ преподавателя; Мультимедийный проектора;

10.2 Технические и электронные средства обучения

Лабораторные занятия.

Для лабораторных занятий используется аудитория №_423/3, оснащенная оборудованием, указанным в табл. 8:

Самостоятельная работа.

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом к электронной информационно-образовательной среде КНАГУ:

- читальный зал НТБ КНАГУ;
- компьютерные классы (ауд. 325 корпус № 3).

11 Иные сведения

Методические рекомендации по обучению лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины обучающимися с ограниченными возможностями здоровья может быть организовано как совместно с другими обучающимися, так и в отдельных группах. Предполагаются специальные условия для получения образования обучающимися с ограниченными возможностями здоровья.

Профессорско-педагогический состав знакомится с психолого-физиологическими особенностями обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, индивидуальными программами реабилитации инвалидов (при наличии). При необходимости осуществляется дополнительная поддержка преподавания тьюторами, психологами, социальными работниками, прошедшими подготовку ассистентами.

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. N АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений с другими студен-

тами, создании комфортного психологического климата в студенческой группе. Подбор и разработка учебных материалов производятся с учетом предоставления материала в различных формах: аудиальной, визуальной, с использованием специальных технических средств и информационных систем.

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения (персонального и коллективного использования). Материально-техническое обеспечение предусматривает приспособление аудиторий к нуждам лиц с ОВЗ.

Форма проведения аттестации для студентов-инвалидов устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей. Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной или электронной форме (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- в печатной форме или электронной форме с увеличенным шрифтом и контрастностью (для лиц с нарушениями слуха, речи, зрения);
- методом чтения ассистентом задания вслух (для лиц с нарушениями зрения).

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге или набором ответов на компьютере (для лиц с нарушениями слуха, речи);
- выбором ответа из возможных вариантов с использованием услуг ассистента (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- устно (для лиц с нарушениями зрения, опорно-двигательного аппарата).

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине

«Расчёт строительных конструкций методом конечных элементов»

Специальность	08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений
Специализация	Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений
Квалификация выпускника	Специалист
Год начала подготовки (по учебному плану)	2020
Форма обучения	Очная форма
Технология обучения	Традиционная

Курс	Семестр	Трудоемкость, з.е.
4	8	4

Вид промежуточной аттестации	Обеспечивающее подразделение
Экзамен	Кафедра «Строительство и архитектура»

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Таблица 1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Общепрофессиональные		
<p>ОПК-1 Способен решать прикладные задачи строительной отрасли, используя теорию и методы фундаментальных наук</p>	<p>ОПК-1.1 Знает теорию и основные законы в области естественнонаучных и общеинженерных дисциплин ОПК-1.2 Умеет выявлять и классифицировать физические и химические процессы, протекающие на объекте профессиональной деятельности, решать инженерные задачи с помощью математического аппарата ОПК-1.3 Владеет навыками решения типовых инженерных задач на основе теоретических исследований, обработки расчетных и экспериментальных данных вероятностно-статистическими методами</p>	<p>Знать</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные теоретические положения метода конечных элементов и алгоритмы реализации метода конечных элементов при расчете строительных конструкций; - методы, приемы и средства численного анализа; <p>Уметь</p> <ul style="list-style-type: none"> - выполнять расчеты строительных конструкций с помощью ручного счета и специализированных программных комплексов на основе метода конечных элементов; - анализировать результаты выполненных расчетов, находить возможные ошибки и исправлять их; - моделировать свойства элементов объекта, и его взаимодействие с окружающей средой с соблюдением установленных требований для производства работ по инженерно-техническому проектированию объектов градостроительной деятельности; <p>Владеть</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками расчета строительных конструкций методом конечных элементов в ПК ЛираСАПР, программе MathCAD.

Таблица 2 – Паспорт фонда оценочных средств

Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Формируемая компетенция	Наименование оценочного средства	Показатели оценки
1. Основные теоретические положения метода конечных элементов	ОПК-1	Собеседование	Демонстрирует теоретические знания основ метода конечных элементов и универсальных алгоритмов реализации метода конечных элементов при расчете строительных конструкций
2. Расчет стержневых систем методом конечных элементов	ОПК-1	Выполнение и защита лабораторных работ	Демонстрирует знания, умения и навыки выполнения статических и динамических расчетов стержневых систем методом конечных элементов при действии различных внешних нагрузок
3. Расчет методом конечных элементов пластин и оболочек	ОПК-1	Выполнение и защита лабораторных работ	Демонстрирует знания, умения и навыки выполнения статических и динамических расчетов пластин и оболочек методом конечных элементов при действии различных внешних нагрузок
	ОПК-1	РГР «Расчет балки методом конечных элементов»	Демонстрирует навыки и умения расчетов балок МКЭ с помощью ручного счета в программе MathCAD и с помощью ПК Лира-САПР и ПК SK TARK-ES
1. Основные теоретические положения метода конечных элементов 2. Расчет стержневых систем методом конечных элементов 3. Расчет методом конечных элементов пластин и оболочек	ОПК-1	Коллоквиум. Выполнение практических задач.	Демонстрирует теоретические знания основ метода конечных элементов и универсальных алгоритмов реализации метода конечных элементов при расчете строительных конструкций, умения и навыки выполнения статических и динамических расчетов пластин и оболочек методом конечных элементов при действии различных внешних нагрузок

2 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, представлены в виде технологической карты дисциплины (таблица 3).

Таблица 3 – Технологическая карта

Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
8 семестр Промежуточная аттестация в форме «Экзамен»			
Текущий контроль:		0 баллов	
ИТОГО:		0 баллов	
<p>Критерии оценки результатов обучения по дисциплине: 0 – 64 % от максимально возможной суммы баллов – «неудовлетворительно» (недостаточный уровень для промежуточной аттестации по дисциплине); 65 – 74 % от максимально возможной суммы баллов – «удовлетворительно» (пороговый (минимальный) уровень); 75 – 84 % от максимально возможной суммы баллов – «хорошо» (средний уровень); 85 – 100 % от максимально возможной суммы баллов – «отлично» (высокий (максимальный) уровень)</p>			

	Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
8 семестр Промежуточная аттестация в форме «Экзамен»				
1	Собеседование	4 неделя	10 баллов	10 баллов – студент показал отличные знания и кругозор при ответах на вопросы, показал отличное умение логически строить ответ, отлично владел монологической речью. 8 балла – студент показал хорошие знания и кругозор при ответах на вопросы, показал хорошее умение логически строить ответ, хорошо владел монологической речью. 6 балла – студент показал удовлетворительные знания и кругозор при ответах на вопросы, удовлетворительно показал умение логически строить ответ, удовлетворительно владел монологической речью. 4 балла - студент показал неудовлетворительные знания и кругозор при ответах на вопросы, неудовлетворительно логически строил ответ, неудовлетворительно владел монологической речью.

	Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
				<i>0 баллов – студент не отвечал на поставленные вопросы, не мог логически строить ответ.</i>
2	Выполнение и защита лабораторных работ	8 неделя	10 баллов	<i>10 баллов - 91-100% правильных ответов – высокий уровень знаний, умений и навыков; 6 баллов - 71-90% % правильных ответов – достаточно высокий уровень знаний, умений и навыков; 4 баллов - 61-70% правильных ответов – средний уровень знаний, умений и навыков; 2 балла - 51-60% правильных ответов – низкий уровень знаний, умений и навыков; 0 баллов - 0-50% правильных ответов – очень низкий уровень знаний, умений и навыков;</i>
	Выполнение и защита лабораторных работ	10 неделя	10 баллов	<i>10 баллов - 91-100% правильных ответов – высокий уровень знаний, умений и навыков; 6 баллов - 71-90% % правильных ответов – достаточно высокий уровень знаний, умений и навыков; 4 баллов - 61-70% правильных ответов – средний уровень знаний, умений и навыков; 2 балла - 51-60% правильных ответов – низкий уровень знаний, умений и навыков; 0 баллов - 0-50% правильных ответов – очень низкий уровень знаний, умений и навыков;</i>
	Расчетно-графическая работа	В течение семестра	40 баллов	<i>40 баллов - Студент полностью выполнил задание, показал отличные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала, контрольная работа оформлена аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями. 30 баллов - Студент полностью выполнил задание, показал хорошие умения навыки в рамках усвоенного учебного материала, но не смог обосновать оптимальность предложенного решения, допущены одна или две неточности, есть недостатки в оформлении. 20 баллов - Студент полностью выполнил задание, но допустил существенные неточности и грубые ошибки, не проявил умения правильно интерпретировать полученные результаты, качество оформления имеет недостаточный уровень. 0 баллов - Студент не полностью выполнил задание, при этом проявил недостаточный уровень умений и навыков, а также не способен пояснить полученный результат.</i>
	Текущий контроль:		70 баллов	
	Экзамен	-	30 баллов	
	Теоретические вопросы		2 вопроса по 10 баллов	Один вопрос: 10 баллов – студент правильно ответил на теоретический вопрос билета. Показал отличные знания

	Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
				<p>в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы.</p> <p>7 баллов – студент ответил на теоретический вопрос билета с небольшими неточностями. Показал хорошие знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</p> <p>4 балла – студент ответил на теоретический вопрос билета с существенными неточностями. Показал удовлетворительные знания в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</p> <p>0 баллов – при ответе на теоретический вопрос билета студент продемонстрировал недостаточный уровень знаний. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</p>
Практическая задача		1 задача по 10 баллов		<p>Одна задача:</p> <p>10 баллов – студент правильно выполнил практическое задание билета. Показал отличные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы.</p> <p>7 баллов – студент выполнил практическое задание билета с небольшими неточностями. Показал хорошие умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</p> <p>3 балла – студент выполнил практическое задание билета с существенными неточностями. Показал удовлетворительные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</p> <p>0 баллов – при выполнении практического задания билета студент продемонстрировал недостаточный уровень умений. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</p>
ИТОГО:		100 баллов		
<p>Критерии оценки результатов обучения по дисциплине:</p> <p>0 – 64 % от максимально возможной суммы баллов – «неудовлетворительно» (недостаточный уровень для промежуточной аттестации по дисциплине);</p> <p>65 – 74 % от максимально возможной суммы баллов – «удовлетворительно» (пороговый (минимальный) уровень);</p> <p>75 – 84 % от максимально возможной суммы баллов – «хорошо» (средний уровень);</p> <p>85 – 100 % от максимально возможной суммы баллов – «отлично» (высокий (максимальный) уровень)</p>				

Задания для текущего контроля

Собеседование

Раздел 1. Основные теоретические положения метода конечных элементов

1. Как производится дискретизация стержневой системы по МКЭ?
2. Сколько степеней свободы имеют узлы плоской шарнирно-стержневой системы?
3. Каким требованиям должен отвечать конечный элемент стержня?
4. Какие типы конечных элементов используются при расчете плоской стержневой системы?
5. Какие конечные элементы используются при расчете пластин, оболочек, массивных тел?
6. Что представляют собой местная и общая системы координат в МКЭ?
7. Для чего нужна матрица направляющих косинусов?
8. Каким образом получена матрица жесткости стержня в местной системе координат?
9. Что представляют собой элементы матрицы жесткости?
10. Как перевести матрицу жесткости стержня из местной системы координат в общую систему?
11. Как перевести матрицу жесткости стержня из общей в местную систему координат?
12. Что представляет собой вектор узловых нагрузок?
13. Каким образом учитываются опорные связи?
14. В каком порядке вычисляются внутренние усилия?
15. Какая нумерация узлов является оптимальной?
16. Перечислите основные этапы расчета по МКЭ.
17. Каким образом осуществляется проверка результатов расчета в МКЭ

Выполнение и защита лабораторных работ

Раздел 2.

Расчет стержневых систем методом конечных элементов

Практические задания

Выполнить статический расчет балочной фермы с параллельными поясами МКЭ в ПК Лира-САПР, ПК STARK ES и программе MathCAD на два варианта загрузки при шарнирном и жестком сопряжении элементов фермы.

Данные о геометрии фермы, нагрузках, действующих на раму выбираются из таблицы 7 по номеру варианта. Номер варианта представляет двухзначное число – последние две цифры шифра зачетной книжки (сту-денческого билета).

Таблица 7 – Исходные данные к заданию «Расчет плоской фермы»

Тип решетки фермы	Цифра								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	Первая цифра варианта								

Вариант решетки фермы (рисунк 1)	а	б	а	б	а	б	а	б	а	Б
Размеры, нагрузки	Вторая цифра варианта									
Пролет фермы L (м)	12	18	24	12	18	24	12	18	24	12
Высота фермы Н (м)	2	2.5	3	2.2	2.4	2.8	2.5	3	2.5	3
Сила Р (кН)	38.4	45.1	35.6	30.7	54.8	43.2	29.8	51.9	33.6	47.4

Примечание. Размер панелей нижнего пояса для всех вариантов принимается одинаковым $L_{пан} = 3$ м.

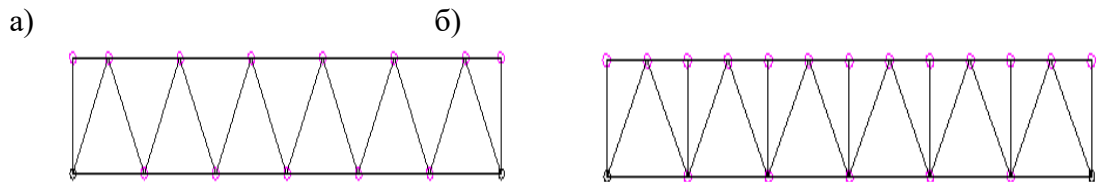


Рисунок 1 – варианты решеток ферм: а – без промежуточных стоек; б – с промежуточными стойками

Раздел 3.

Расчет методом конечных элементов пластин и оболочек

Практические задания

Для железобетонной плиты (рисунок 2) требуется:

- 1) выполнить расчет плиты на статические нагрузки МКЭ для трех случаев загрузки;
- 2) вывести на экран деформированные схемы и изополя перемещений по направлению Z;
- 3) определить наибольшие значения прогибов пластины для всех случаев нагружения;
- 4) вывести на экран изополя погонных изгибающих моментов M_x и поперечных сил Q_x ;
- 5) определить наибольшие значения погонных изгибающих моментов M_x и поперечных сил Q_x ;
- 6) составить таблицу расчетных сочетаний усилий (PCУ) и произвести расчет PCУ;
- 7) для среднего элемента плиты просмотреть результаты PCУ и определить, при каких сочетаниях усилий получены наибольшие значения M_x и Q_x ;
- 8) произвести аналитическую проверку полученных результатов.

Номера вариантов указаны в табл. 5.

Короткие стороны плиты оперты по всей длине. Длинные стороны плиты — свободны. Шаг сети КЭ — 0.5 м. Материал плиты — бетон В35.

Заданные нагрузки:

- загрузка 1 — собственный вес;
- загрузка 2 — сосредоточенные силы Р и Р1 приложенные к средним узлам плиты, параллельным короткой стороне, нагрузка Р1

приложена к крайним узлам;

- загрузка 3 — сосредоточенные моменты M и M_1 , приложенные к коротким сторонам плиты, сосредоточенный момент M_1 приложен к крайним узлам

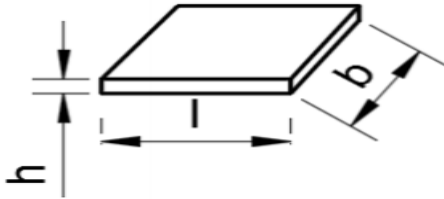


Рисунок 2 – Расчетная схема плиты

Таблица 8. Исходные данные к заданию «Статический расчет плиты МКЭ»

№ варианта	l , м	b , м	h , м	P , кН	P_1 , кН	M , кН·м	M_1 , кН·м
1	8	3.5	0.2	9	4.5	10	5
2	6	3	0.15	8	4	16	8
3	7	4	0.2	12	6	8	4
4	9	4	0.3	13	6.5	6	3
5	5	3	0.15	15	7.5	8	4

РГР «Расчет балки методом конечных элементов»

Выполнить статический расчет балки методом конечных элементов:

- а) с помощью ручного счета в программе MathCAD;
- б) с помощью ПК Лира-САПР;
- в) с ПК STARK ES.

Состав и порядок оформления РГР.

1. По двум последним цифрам зачетной книжки (студенческого билета) выбрать из методических указаний исходные данные (геометрия балки, граничные условия, нагрузки, характеристики материала) .
2. Для оформления РГР выполнить чертеж расчетной схемы балки в программе NanoCAD СПДС и с помощью виртуальной печати перевести ее в формат *.pdf.
3. Выполнить статический расчет балки МКЭ в программе MathCAD.
4. Выполнить статический расчет балки МКЭ в ПК Лира-САПР».
5. Выполнить статический расчет балки МКЭ в ПК STARK ES.
6. Сравнить результаты расчетов, полученные в ПК Лира-САПР, ПК STARK ES и программе MathCAD. Если расхождение результатов превышает 5 процентов, найти ошибки и исправить их.
7. Проанализировать полученные результаты (эпюры внутренних усилий, перемещения) на предмет корректности, используя правила строительной механики.
8. Перенести результаты всех расчетов в программу MathCAD.
9. Полный ход выполнения работы оформить в программе MathCAD и перевести его в формат *.pdf.
10. Объединить файлы *.pdf хода выполнения работы и полученной ранее расчетной схемы балки.
11. В папку с отчетом по РГР скопировать все расчетные и графические файлы из программ NanoCAD СПДС, ПК Лира-САПР, ПК STARK ES. MathCAD. Наличие всех этих файлов является обязательным при защите РГР. Итоговый файл в формате *.pdf, который впоследствии выставляется в личный кабинет студента, в первую очередь необходим для отчетности. Но этот файл является слабой копией проделанной студентом работой и не дает полной возможности оценить коррект-

ность выполненных расчетов, соответствие РГР номеру варианта, правильности выполнения чертежа расчетной схемы. Все свойства объектов (графических, математических и т.д.) могут быть доступны только в исходных оригинальных файлах.

Варианты исходных данных для РГР.

Данные о геометрии и нагрузках действующих на балку (рисунок 3) выбираются из таблицы 7 по номеру варианта. Номер варианта представляет двухзначное число – последние две цифры шифра зачетной книжки (студенческого билета).

По первой цифре варианта принимаются данные о геометрии расчетной схемы (1-4 строки таблицы 9)

По второй цифре варианта принимаются значения нагрузок (5-6 строки таблицы 9.

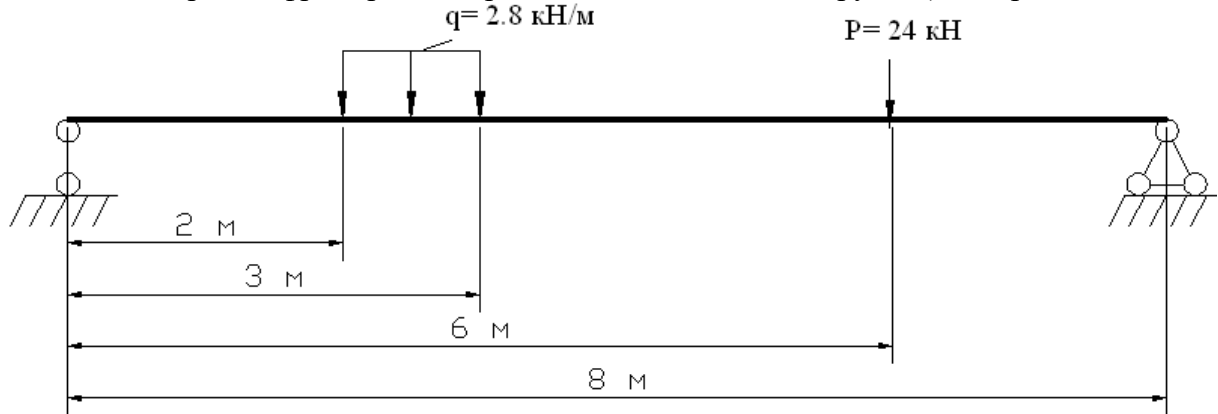


Рисунок 3 – Расчетная схема балки

Таблица 9 – Варианты заданий для РГР «Расчет балки методом конечных элементов»

	Геометрия	Цифра									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$L, \text{м}$	12	10	8	9	6	7	8	10	6	9
2	$a, \text{м}$	0	3	2	2	1	0	2	3	1	4
3	$b, \text{м}$	8	5	3	4	2	4	4	5	2	6
4	$c, \text{м}$	10	7	6	8	5	6	7	9	4	8
	Размеры, нагрузки	Вторая цифра варианта									
5	Распределенная нагрузка $q, \text{кН/м}$	2	2.5	3	2.2	2.4	2.8	2.5	3	2.5	3
6	Сосредоточенная сила, кН	12	18	24	12	18	24	12	18	24	12

Вопросы к коллоквиуму

1. Перечислите основные современные численные методы расчета конструкций.
2. В чем суть (основная идея) метода конечных элементов?
3. Что такое дискретизация расчетной области конструкции при расчете МКЭ?
4. Перечислите основные шаги общего алгоритма статического расчета по МКЭ?
5. Конечные элементы, их типы. Степени свободы конечного элемента. 6. Конечно-элементная расчетная схема. Приведение нагрузки на систему к узловой.
7. Матрица жесткости конечного элемента. Ее структура. Связь между перемещениями узлов элемента и усилиями, действующими на них.
8. По каким формулам вычисляются элементы матрицы жесткости конечного элемента?
9. По каким формулам вычисляются элементы матрицы масс конечного элемента?
10. Метод разложения по собственным формам.
11. Преобразование матрицы жесткости конечного элемента при повороте координатных осей.
12. Объединение конечных элементов. Условие равновесия узлов в конечно-элементной схеме. Формирование системы разрешающих уравнений метода конечных элементов.
13. Формирование глобальной матрицы жесткости конечно-элементной схемы из матриц жесткости конечных элементов.
14. Определение внутренних усилий в стержневых конечных элементах после нахождения узловых перемещений в конечно-элементной схеме.
15. Учет связей и заданных узловых перемещений в системе разрешающих уравнений метода конечных элементов.
16. Общая процедура расчета стержневых систем методом конечных элементов в форме метода перемещений. Реализация алгоритма МКЭ в современных программных комплексах.
17. Препроцессор, процессор, постпроцессор, библиотеки конечных элементов.

Практические задачи.

1. Статический расчет балки МКЭ.
2. Динамический расчет балки МКЭ.
3. Расчет стержня на устойчивость МКЭ.
4. Статический расчет пластины МКЭ.
5. Динамический расчет пластины МКЭ.

