

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева»
(Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева)

СОГЛАСОВАНО
Руководитель ОПОП



Р.А. Рзаев

«05» сентября 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
технологии материалов и промышленной
инженерии



Е.Ю. Степанович

«05» сентября 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ОСНОВЫ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Составитель(-и)

**Ильичев В.Г., ассистент каф. технологии
материалов и промышленной инженерии**

Согласовано с работодателями:

**Сафронов Н.В., начальник лаборатории ООО ОСФ
«Стройспецмонтаж»;**

**Шатов А.А., главный сварщик ООО «Южный центр
судостроения и судоремонта»**

Направление подготовки

15.03.02 Технологические машины и оборудование

Направленность (профиль) ОПОП

Квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Год приема

2025

Курс

4

Семестр(ы)

7

Астрахань – 2024 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1. Целью освоения дисциплины (модуля) данная дисциплина предназначена для ознакомления студентов с теорией метода конечных элементов.

1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля): повышение основ знаний, умений и навыков по проектированию и современным методам расчета деталей, сборок и механизмов на прочность, жесткость, устойчивость и колебания при действии статических и динамических нагрузок. приобретение студентами методики построения физических и математических моделей рассчитываемых конструкций освоение практических навыков работы с современными программами CAD+CAE, используя метод конечных элементов (МКЭ). изучение специфики обработки информации в среде прикладных программ; изучение особенностей оформления технологической документации с использованием информационных технологий; формирование навыков проведения расчетов и визуализации результатов формирование навыков трехмерного моделирования.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

2.1. Учебная дисциплина (модуль) «Основы метода конечных элементов» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (элективным дисциплинам (модулям)), и осваивается в 7 семестре.

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы следующие знания, умения, навыки, формируемые предшествующими учебными дисциплинами (модулями):

- Математика:

Знания: линейной алгебры, математического анализа, дифференциальных уравнений, теории функций комплексной переменной;

Умения: выполнять матричные вычисления, решать дифференциальные уравнения, выполнять преобразования выражений с комплексными числами;

Навыки: применения аппарата математического анализа для решения задач оптимизации, построения систем дифференциальных уравнений для описания динамических процессов в технических системах;

- Физика:

Знания: основные понятия статистической физики, кинетической теории, механики и электродинамики сплошных сред;

Умения: строить статистические и кинетические модели;

Навыки: владеть навыками кинетического, статистического и гидродинамического описания физико-химических процессов;

- Электротехника и электроника:

Знания: государственные стандарты правил выполнения электрических схем; параметры и характеристики различных электронных устройств; методы и средства автоматизации схемотехнического моделирования;

Умения: проводить анализ и разработку структурных и принципиальных схем современных электронных устройств; составлять схемы замещения различных электронных устройств

Навыки: владение навыками работы с электронными измерительными приборами; владение методиками расчета и экспериментального определения параметров электронных устройств, синтезом логических схем;

2.3. Последующие учебные дисциплины (модули) и (или) практики, для которых необходимы знания, умения, навыки, формируемые данной учебной дисциплиной (модулем):

- Производственная практика;
- Выпускная квалификационная работа.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС3++ ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки (специальности):

а) универсальных (УК):

- Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач (УК-1).

Таблица 1

Декомпозиция результатов обучения

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)		
	Знать (1)	Уметь (2)	Владеть (3)
УК-2	УК-2.1 Демонстрирует знание особенностей системного и критического мышления, аргументированно формирует собственное суждение и оценку информации, принимает обоснованное решение	УК-2.2 Применяет логические формы и процедуры, способен к рефлексии по поводу собственной и чужой мыслительной деятельности	УК-2.3 Анализирует источники информации с целью выявления их противоречий и поиска достоверных суждений, вырабатывает стратегию действий

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Объем дисциплины (модуля) составляет 4 зачетных единицы, в том числе 49 часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (из них 16 часов – лекции, 32 часов – практические занятия), и 95 часов – на самостоятельную работу обучающихся.

Таблица 2

Структура и содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Наименование раздела, темы	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа (в часах)			Самостоят. работа		Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации
				Л	ПЗ	ЛР	КР	СР	
1	Тема 1. Метод конечных элементов. Основные понятия	7		4	6			16	Опрос, реферат
2	Тема 2. Матрицы жёсткости конечных элементов	7		2	6			16	Реферат, защита практической работы
3	Тема 3. Решение прикладных задач:	7		2	6			16	Реферат, защита

	теплопроводность, гидромеханика							практической работы
4	Тема 4. Осесимметричные задачи теории поля	7		2	2		15	Реферат, защита расчетной работы
5	Тема 5. Механика деформируемого твердого тела	7		2	6		16	Реферат
6	Тема 6. Элементы высокого порядка	7		4	6		16	Реферат, опрос
	ИТОГО			16	32		95	ЭКЗАМЕН

Условные обозначения:

Л – занятия лекционного типа; ПЗ – практические занятия, ЛР – лабораторные работы; КР – курсовая работа; СР – самостоятельная работа по отдельным темам

Таблица 3
Матрица соотнесения тем/разделов
учебной дисциплины/модуля и формируемых в них компетенций

Темы, разделы дисциплины	Кол-во часов	Компетенции	общее количество компетенций
		УК-1	
Тема 1. Метод конечных элементов. Основные понятия	10	+	1
Тема 2. Матрицы жёсткости конечных элементов	8	+	1
Тема 3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика	8	+	1
Тема 4. Осесимметричные задачи теории поля	4	+	1
Тема 5. Механика деформируемого твердого тела	8	+	1
Тема 6. Элементы высокого порядка	10	+	1
ИТОГО	48		1

Содержание дисциплины

Тема 1. Метод конечных элементов. Основные понятия

Общая характеристика метода конечных элементов. Сравнение методов решения ДУ в частных производных. Основные этапы метода конечных элементов. Дискретизация области. Типы конечных элементов: одномерные, двумерные и трехмерные элементы; симплекс-, комплекс-, мультиплексные конечные элементы. Разбиение области на элементы. Нумерация узлов. Линейные интерполяционные полиномы. Глобальная и местная системы координат. Интерполяционные полиномы для дискретизованной области.

Тема 2. Матрицы жёсткости конечных элементов

Локальная и глобальная система координат.

Формирование глобальной матрицы жёсткости. Непрямой и прямой методы построения матрицы жесткости, их особенности, возможности машинной реализации. Локальные матрицы жесткости элементов: полного размера и редуцированные. Процедура включения локальных матриц жесткости в глобальную. Ленточная структура матрицы жесткости; влияние структуры на вычислительную эффективность и требования к памяти при решении СЛАУ. Учёт кинематических граничных условий: преобразование матриц жесткости и нагрузок.

Тема 3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика

Некоторые типовые краевые задачи. Демонстрация этапов метода конечных элементов на примере одномерной задачи переноса тепла в стержне. Формирование системы уравнений на основе вариационного подхода. Повторное решение задачи: формирование локальных систем уравнений для отдельных конечных элементов путем разбиения интеграла на интегралы для элементов.

Тема 4. Осесимметричные задачи теории поля

Некоторые типовые краевые задачи. Демонстрация этапов метода конечных элементов на примере одномерной задачи переноса тепла в стержне. Формирование системы уравнений на основе вариационного подхода. Повторное решение задачи: формирование локальных систем уравнений для отдельных конечных элементов путем разбиения интеграла на интегралы для элементов.

Обзор других типовых задач теории поля.

Тема 5. Механика деформируемого твердого тела

Задачи в области механики деформируемого твердого тела: постановка, особенности. Формирование системы уравнений на основе минимизации интегральной величины, связанной с работой напряжений и внешней нагрузки - минимизация потенциальной энергии упругой системы. Рассмотрение одномерной задачи теории упругости.

Тема 6. Элементы высокого порядка

Квадратичные и кубические элементы. Применение квадратичного элемента. Естественная система координат. Преобразования координат. Матрица Якоби. Применение численного интегрирования для определения матриц элемента. Треугольный и тетраэдральный элементы высокого порядка. Функции формы. Производные функций формы. Составление матриц элементов.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕПОДАВАНИЮ И ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1. Указания по организации и проведению лекционных, практических (семинарских) и лабораторных занятий с перечнем учебно-методического обеспечения

Указания по организации и проведению лекционных, практических (семинарских) и лабораторных занятий с перечнем учебно-методического обеспечения

При разработке учебных программ по ФГОС-3 поколения предполагается использование кроме традиционных форм проведения занятий также активные и интерактивные формы. При этом студенты глубже понимают учебный материал, память также акцентируется на проблемных ситуациях, что способствует запоминанию учебного материала.

В процессе обучения необходимо обращать внимание в первую очередь на те методы, при которых слушатели идентифицируют себя с учебным материалом, включаются в изучаемую ситуацию, побуждаются к активным действиям, переживают состояние успеха и соответственно мотивируют свое поведение. Всем этим требованиям в наибольшей степени отвечают интерактивные методы обучения.

Интерактивные лекционные занятия проводятся в следующей форме.

1. Лекция-беседа

В названном виде занятий планируется диалог с аудиторией, это наиболее простой способ индивидуального общения, построенный на непосредственном контакте преподавателя и студента.

Участие (внимание) слушателей в данной лекции обеспечивается путем вопросно-ответной беседы с аудиторией (постановка проблемного задания).

Вначале лекции и по ходу ее преподаватель задает слушателям вопросы не для контроля усвоения знаний, а для выяснения уровня осведомленности по рассматриваемой проблеме.

Вопросы могут быть элементарными: для того, чтобы сосредоточить внимание, как на отдельных нюансах темы, так и на проблемах.

2. Лекция с элементами обратной связи.

В данном случае подразумевается изложение учебного материала и использование знаний по смежным предметам (межпредметные связи) или по изученному ранее учебному материалу. Обратная связь устанавливается посредством ответов студентов на вопросы преподавателя по ходу лекции. Чтобы определить осведомленность студентов по излагаемой проблеме, в начале какого-либо раздела лекции задаются необходимые вопросы.

Если студенты правильно отвечают на вводный вопрос, преподаватель может ограничиться кратким тезисом или выводом и перейти к следующему вопросу.

Если же ответы не удовлетворяют уровню желаемых знаний, преподаватель сам излагает подробный ответ, и в конце объяснения снова задает вопрос, определяя степень усвоения учебного материала.

Если ответы вновь демонстрируют низкий уровень знаний студентов – следует изменить методику подачи учебного материала.

В форме лекции с элементами обратной связи проводятся занятия, в которых **необходимо связать** уже имеющиеся знания с излагаемым материалом.

3. Проектная работа

Учебный процесс, опирающийся на использование интерактивных методов обучения, организуется с учетом включенности в процесс познания всех студентов группы без исключения. Совместная деятельность означает, что каждый вносит свой особый индивидуальный вклад, в ходе работы идет обмен знаниями, идеями, способами деятельности. Организуется проектная работа, осуществляется работа с научно-технической документацией. Такие методы основаны на принципах взаимодействия, активности обучаемых, опоре на групповой опыт, обязательной обратной связи. Создается среда образовательного общения, которая характеризуется открытостью, взаимодействием участников, равенством их аргументов, накоплением совместного знания, возможностью взаимной оценки и контроля.

Студенты делятся на 3...4 группы, выдается общее задание, но задаются различные варианты решения задачи, каждая группа анализирует предложенное решение, корректирует его и защищает перед студентами других подгрупп. Преподаватель выполняет роль рецензента. Задание желательно формировать на основе ситуаций, которые рассматривались при проведении нескольких занятий в активной форме. При проведении таких занятий преподаватель должен объяснить студентам значение компетентностного подхода для формирования современного специалиста, сформировать основные компетенции по специальности и показать пути их освоения.

4. Комплекс семинарских и лабораторных работ

Ведущий преподаватель вместе с новыми знаниями ведет участников обучения к самостоятельному поиску. Активность преподавателя уступает место активности студентов, его задачей становится создание условий для их инициативы. Преподаватель отказывается от роли своеобразного фильтра, пропускающего через себя учебную информацию, и выполняет функцию помощника в работе, одного из источников информации.

Студентам выдается список тем практических/семинарских занятий. Каждый студент готовит отчет с элементами анализа литературных источников изучаемой проблемы.

Промежуточная аттестация студентов подразделяется на зачетную, именуемую зачетной неделей, и экзаменационную сессию. Зачеты сдаются в течение одной недели перед экзаменационной сессией. Продолжительность экзаменационных сессий (а их две: зимняя и летняя) в учебном году устанавливается Госстандартом.

5.2. Указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю)

Таблица 4

Содержание самостоятельной работы обучающихся

Номер раздела	Темы/вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов	Формы работы
---------------	---	--------------	--------------

(темы)			
1	Тема 1. Метод конечных элементов. Основные понятия	16	Внеаудиторная, изучение учебных пособий
2	Тема 2. Матрицы жёсткости конечных элементов	16	Внеаудиторная, изучение учебных пособий
3	Тема 3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика	16	Внеаудиторная, изучение учебных пособий
4	Тема 4. Осесимметричные задачи теории поля	15	Внеаудиторная, изучение учебных пособий
5	Тема 5. Механика деформируемого твердого тела	16	Внеаудиторная, изучение учебных пособий
6	Тема 6. Элементы высокого порядка	16	Внеаудиторная, изучение учебных пособий

5.3. Виды и формы письменных работ, предусмотренных при освоении дисциплины, выполняемые обучающимися самостоятельно.

Программой предусмотрены расчетное задание. Однако, по усмотрению преподавателя или по просьбе студента, студент для повышения своей оценки имеет право взять дополнительную письменную работу, выполняемую внеаудиторно. Работа может носить характер доклада, реферата, проекта и т.д.

Критерии выставления оценок за названные работы сформулированы в ФОСах. Здесь приводятся требования к оформлению работы.

Общие требования оформления доклада/проектной работы/контрольной работы

Указанные работы выполняются на листах писчей бумаги формата А-4 в Microsoft Word; объем: 5-15 страниц текста для отчета. Размер шрифта – 14; интервал – 1,5; с нумерацией страниц сверху страницы посередине, абзацный отступ на расстоянии 2,25 см от левой границы поля.

Все формулы, единицы измерений, расчеты приводятся и ведутся в системе СИ.

При оформлении работы соблюдаются поля:

левое – 25 мм;

правое – 10 мм;

нижнее – 20 мм;

верхнее – 20 мм.

Оформление таблиц:

1. Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире.

2. При переносе части таблицы название помещают только над первой частью таблицы, нижнюю горизонтальную черту, ограничивающую таблицу, не проводят.

3. Таблицу следует располагать в отчете непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

4. На все таблицы должны быть ссылки в реферате. При ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Оформление иллюстраций:

1. Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, компьютерные распечатки, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице.

2. Иллюстрации могут быть в компьютерном исполнении, в том числе и цветные.

3. На все иллюстрации должны быть даны ссылки в реферате.

4. Иллюстрации, за исключением иллюстрации приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

5. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1». Слово «рисунок» и его наименование располагают посередине строки.

6. Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например, Рисунок 1.1.

7. Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом: Рисунок 1 — Схема карты сайта.

8. Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например, Рисунок А.3.

9. При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» при нумерации в пределах раздела.

Приложения:

1. Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.

2. В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа, за исключением справочного приложения «Библиография», которое располагают последним.

3. Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение», его обозначения и степени.

4. Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

5. Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.

6. Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O.

7. В случае полного использования букв русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

8. Если в документе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

9. Текст каждого приложения, при необходимости, может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

10. Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Представление.

Работа должна быть представлена в **двух видах**: печатном и электронном.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации различных видов учебной работы по дисциплине могут использоваться электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

6.1. Образовательные технологии

Интерактивных занятий (25%)

№	Формы	Описание
1.	Работа с Microsoft PowerPoint	Подготовка презентаций докладов в PowerPoint
2.	Интернет. Поиск информации по теме.	Проведение самостоятельного поиска информации по темам дисциплины с использованием интернет-ресурсов.

Таблица 5 – Образовательные технологии, используемые при реализации учебных занятий

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Форма учебного занятия		
	Лекция	Практическое занятие, семинар	Лабораторная работа
Тема 1. Метод конечных элементов. Основные понятия	Обзорная лекция	Семинар	Не предусмотрено
Тема 2. Матрицы жёсткости конечных элементов	Лекция-диалог	Семинар	Не предусмотрено
Тема 3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика	Лекция-диалог	Практическое занятие	Не предусмотрено
Тема 4. Осесимметричные задачи теории поля	Обзорная лекция	Практическое занятие	Не предусмотрено
Тема 5. Механика деформируемого твердого тела	Лекция-диалог	Практическое занятие	Не предусмотрено
Тема 6. Элементы высокого порядка	Обзорная лекция	Практическое занятие	Не предусмотрено

Учебные занятия по дисциплине могут проводиться с применением информационно-телекоммуникационных сетей при опосредованном (на расстоянии) интерактивном взаимодействии обучающихся и преподавателя в режимах on-line в формах: видео-лекций, лекций-презентаций, видеоконференции, собеседования в режиме чат, форума, чата, выполнения виртуальных практических и/или лабораторных работ и др.

Максимальный объем занятий обучающегося с применением электронных образовательных технологий не должен превышать 25%.

6.2. Информационные технологии

Для оперативного обмена информацией, получения заданий и выставления оценок широко используется электронная почта преподавателя.

Интернет и IT технологии широко используются при подготовке лекций, презентаций, кейс-заданий и пр.

При реализации различных видов учебной и внеучебной работы используются следующие информационные технологии: виртуальная обучающая среда (или система управления обучением LMS Moodle) или иные информационные системы, сервисы и мессенджеры.

6.3. Программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

6.3.1. Программное обеспечение

Наименование программного обеспечения	Назначение
Mozilla FireFox	Браузер
Microsoft Office 2013, Microsoft Office Project 2013, Microsoft Office Visio 2013	Пакет офисных программ
7-zip	Архиватор
Microsoft Windows 7 Professional	Операционная система
Google Chrome	Браузер
OpenOffice	Пакет офисных программ
Opera	Браузер
Платформа дистанционного обучения LMS Moodle	Виртуальная обучающая среда

6.3.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Электронный каталог Научной библиотеки АГУ на базе MARK SQL НПО «Информ-систем»: <https://library.asu.edu.ru>.
2. Электронная библиотека «Астраханский государственный университет» собственной генерации на электронной платформе ООО «БИБЛИОТЕХ»: <https://biblio.asu.edu.ru>.
3. Электронный каталог «Научные журналы АГУ»: <http://journal.asu.edu.ru/>.
4. Универсальная справочно-информационная полнотекстовая база данных периодических изданий ООО «ИВИС»: <http://dlib.eastview.com/>
5. Электронно-библиотечная система eLibrary. <http://elibrary.ru>
6. Справочная правовая система КонсультантПлюс: <http://www.consultant.ru>

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Паспорт фонда оценочных средств

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) «Теплотехнический расчет в машиностроении» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным освоением дисциплин (модулей) и прохождением практик, а в процессе освоения дисциплины (модуля) – последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой разделов, тем.

Таблица 6

Соответствие разделов, тем дисциплины (модуля), результатов обучения по дисциплине (модулю) и оценочных средств

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины (модуля)	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
-------	--	--------------------------------	----------------------------------

1	Тема 1. Метод конечных элементов. Основные понятия	УК-1	Опрос, реферат
2	Тема 2. Матрицы жёсткости конечных элементов	УК-1	Реферат, защита практической работы
3	Тема 3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика	УК-1	Реферат, защита практической работы
4	Тема 4. Осесимметричные задачи теории поля	УК-1	Реферат, защита расчетной работы
5	Тема 5. Механика деформируемого твердого тела	УК-1	Реферат
6	Тема 6. Элементы высокого порядка	УК-1	Реферат, опрос

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Таблица 7
Показатели оценивания результатов обучения в виде знаний

Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 «отлично»	демонстрирует глубокое знание теоретического материала, умение обоснованно излагать свои мысли по обсуждаемым вопросам, способность полно, правильно и аргументированно отвечать на вопросы, приводить примеры
4 «хорошо»	демонстрирует знание теоретического материала, его последовательное изложение, способность приводить примеры, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	демонстрирует неполное, фрагментарное знание теоретического материала, требующее наводящих вопросов преподавателя, допускает существенные ошибки в его изложении, затрудняется в приведении примеров и формулировке выводов
2 «неудовлетворительно»	демонстрирует существенные пробелы в знании теоретического материала, не способен его изложить и ответить на наводящие вопросы преподавателя, не может привести примеры

Таблица 8
Показатели оценивания результатов обучения в виде умений и владений

Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 «отлично»	демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы
4 «хорошо»	демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	демонстрирует отдельные, несистематизированные навыки, не способен применить знание теоретического материала при выполнении заданий, испытывает затруднения и допускает ошибки при выполнении заданий, выполняет задание при подсказке преподавателя, затрудняется в

	формулировке выводов
2 «неудовлетворительно»	не способен правильно выполнить задание

7.3. Контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения по дисциплине (модулю)

На практических занятиях студенты выполняют индивидуальные задания по каждой теме.

Тема 1. Метод конечных элементов. Основные понятия

1. Опрос

- 1) Общая характеристика метода конечных элементов.
- 2) Сравнение методов решения ДУ в частных производных.
- 3) Основные этапы метода конечных элементов.
- 4) Дискретизация области.
- 5) Типы конечных элементов: одномерные, двумерные и трехмерные элементы; симплекс-, комплекс-, мультиплексные конечные элементы.
- 6) Разбиение области на элементы. Нумерация узлов.
- 7) Линейные интерполяционные полиномы.
- 8) Глобальная и местная системы координат.
- 9) Интерполяционные полиномы для дискретизованной области.

2. Темы для рефератов

- 1) Общая характеристика метода конечных элементов.
- 2) Сравнение методов решения ДУ в частных производных.
- 3) Основные этапы метода конечных элементов.
- 4) Дискретизация области.
- 5) Типы конечных элементов: одномерные, двумерные и трехмерные элементы; симплекс-, комплекс-, мультиплексные конечные элементы.
- 6) Разбиение области на элементы. Нумерация узлов.
- 7) Линейные интерполяционные полиномы.
- 8) Глобальная и местная системы координат.
- 9) Интерполяционные полиномы для дискретизованной области.

Тема 2. Матрицы жёсткости конечных элементов

1. Темы для рефератов

- 1) Что такое матрица жесткости?
- 2) Каков физический смысл ее элементов применительно к задаче теории упругости?
- 3) Как меняется этот физический смысл при переходе к задаче теплопроводности?
- 4) Что такое матрица нагрузок?
- 5) Какой она имеет размер?
- 6) Чем отличаются глобальная и локальная матрицы жесткости?
- 7) Какие подходы к формированию матриц жесткости?
- 8) Что такое прямой метод?
- 9) Что собой представляет процедура включения локальных матриц в глобальную?
- 10) Каковы особенности структуры матрицы жесткости?
- 11) Как учитывается структура матрицы в компьютерной реализации?

Тема 3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика

1. Темы для рефератов

- 1) Постановка задачи теплопроводности одномерного стержня
- 2) Краевые условия
- 3) Основные подходы к формированию системы уравнений на примере одномерной задачи теплопроводности
- 4) Осесимметричная задача

2. Практическое задание

- 1) Расчетная работа 1 «Аппроксимация перемещений по области конечного элемента».
- 2) Расчетная работа 2 «Формирование матрицы жесткости конечного элемента в программе MathCAD».
- 3) Расчетная работа 3 «Статический расчет фермы МКЭ в программе MathCAD»

Тема 4. Осесимметричные задачи теории поля

1. Темы для рефератов

- 1) МКЭ. Математическая постановка задачи, решаемой МКЭ
- 2) Область применения метода, какие классы задач решаются с помощью МКЭ
- 3) Методы-аналоги МКЭ
- 4) Сопоставление МКЭ и сеточных методов, достоинства и недостатки.
- 5) Основные этапы МКЭ. Функция формы. Роль методов интерполяции в рамках МКЭ
- 6) Конечный результат решения задачи МКЭ

2. Расчетная работа

Расчетная работа 1 «Статический расчет пластины МКЭ»

Расчетная работа 2 «Динамический расчет пластины МКЭ»

Тема 5. Механика деформируемого твердого тела

1. Темы для рефератов

- 1) Механика композиционных материалов и конструкций, механика интеллектуальных материалов
- 2) Динамика деформируемого твердого тела. Теория волновых процессов в средах различной структуры.
- 3) Устойчивость процессов деформирования.
- 4) Прочность при сложных режимах нагружения. Теория накопления повреждений. Механика разрушения твердых тел.
- 5) Экспериментальные методы исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе объектов, испытывающих фазовые структурные превращения при внешних воздействиях.

Тема 6. Элементы высокого порядка

1. Темы для рефератов

- 1) Конечные элементы дискретных систем. Общие процедуры формирования и решения уравнений МКЭ.
- 2) Одномерные пруженные системы. Матрица жесткости пружины. Методика составления уравнений МКЭ.
- 3) Общие процедуры формирования систем линейных алгебраических уравнений МКЭ. Описание процедур. Сопоставление глобальной нумерации объектов конечноэлементной аппроксимации с локальной.
- 4) Декартовы и естественные координаты. Преимущества.
- 5) Хранение глобальных матриц разрешающих СЛАУ. Компактное хранение коэффициентов

- разрешающей системы. Методы: CSR, CSIR. Понятие портрета матрицы, симметричность портрета. Алгоритм вычисления произведения матрицы на вектор на базе метода хранения CSR. Неполное LU разложение, преимущества в сравнении с полным
- б) Колебания механических систем. Составление уравнений движения с использованием принципов МКЭ. Учет демпфирующих элементов. Расчет напряженнодеформированного состояния дискретных систем с учетом: пруженных, демпфирующих элементов, а также сосредоточенных масс.
 - 7) Стационарные тепловые потоки через стенки. МКЭ для решения задачи теплопроводности. Одномерный случай. Матрица тепловых потоков в типовом теплопередающем элементе. Составление разрешающих СЛАУ МКЭ. Учет конвективного теплообмена.
 - 8) Стационарное течение жидкости через сеть трубопроводов. Одномерный случай. Матрица гидравлического сопротивления отдельного типового элемента трубопровода. Составление разрешающих СЛАУ МКЭ. Учет граничных условий.
 - 9) Поворотные пружины.
 - 10) Устойчивость простейших пружинных систем.
 - 11) Одномерные краевые задачи. Общие этапы решения МКЭ двухточечной краевой задачи второго порядка. Анализ вариантов граничных условий. Обработка одномерных конечных элементов.
 - 12) Двумерные краевые задачи. Постановка задачи. Физическая интерпретация постановки задачи. Обработка двумерных конечных элементов.
 - 13) Функции формы для одномерных и двумерных конечных элементов: одномерный, двумерный и трехмерный симплекс-элемент. Местная система координат
 - 14) Одномерный, треугольный и тетраэдральный элементы высокого порядка. Естественная система координат. Матрица Якоби. Субпараметрические, изопараметрические и суперпараметрические элементы.
 - 15) Эрмитовы конечные элементы.
 - 16) Четырехугольные элементы: линейные, квадратические, кубические. Вычисление производных от функций форм.

Вопросы к экзамену

1. Конечные элементы дискретных систем. Общие процедуры формирования и решения уравнений МКЭ.
2. Одномерные пруженные системы. Матрица жесткости пружины. Методика составления уравнений МКЭ.
3. Общие процедуры формирования систем линейных алгебраических уравнений МКЭ. Описание процедур. Сопоставление глобальной нумерации объектов конечноэлементной аппроксимации с локальной.
4. Декартовы и естественные координаты. Преимущества.
5. Хранение глобальных матриц разрешающих СЛАУ. Компактное хранение коэффициентов разрешающей системы. Методы: CSR, CSIR. Понятие портрета матрицы, симметричность портрета. Алгоритм вычисления произведения матрицы на вектор на базе метода хранения CSR. Неполное LU разложение, преимущества в сравнении с полным
6. Колебания механических систем. Составление уравнений движения с использованием принципов МКЭ. Учет демпфирующих элементов. Расчет напряженнодеформированного состояния дискретных систем с учетом: пруженных, демпфирующих элементов, а также сосредоточенных масс.
7. Стационарные тепловые потоки через стенки. МКЭ для решения задачи теплопроводности. Одномерный случай. Матрица тепловых потоков в типовом теплопередающем элементе. Составление разрешающих СЛАУ МКЭ. Учет конвективного

теплообмена.

8. Стационарное течение жидкости через сеть трубопроводов. Одномерный случай. Матрица гидравлического сопротивления отдельного типового элемента трубопровода. Составление разрешающих СЛАУ МКЭ. Учет граничных условий.

9. Поворотные пружины.

10. Устойчивость простейших пружинных систем.

11. Одномерные краевые задачи. Общие этапы решения МКЭ двухточечной краевой задачи второго порядка. Анализ вариантов граничных условий. Обработка одномерных конечных элементов.

12. Двумерные краевые задачи. Постановка задачи. Физическая интерпретация постановки задачи. Обработка двумерных конечных элементов.

13. Функции формы для одномерных и двумерных конечных элементов: одномерный, двумерный и трехмерный симплекс-элемент. Местная система координат

14. Одномерный, треугольный и тетраэдральный элементы высокого порядка.

Естественная система координат. Матрица Якоби. Субпараметрические, изопараметрические и суперпараметрические элементы.

15. Эрмитовы конечные элементы.

16. Четырехугольные элементы: линейные, квадратические, кубические. Вычисление производных от функций форм.

17. Решение задач о стационарных полях МКЭ: задача теплопроводности, электрического потенциала, течения жидкости

18. Решение задач МКЭ: задача статики линейной теории упругости.

7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

Таблица 10 – Технологическая карта рейтинговых баллов по дисциплине (модулю)

№ п/п	Контролируемые мероприятия	Количество мероприятий / баллы	Максимальное количество баллов	Срок представления
Основной блок				
1.	Выполнение практической работы	5	20	В течение семестра
2.	Ответ на занятии	5	20	В течение семестра
Всего			40	-
Блок бонусов				
3.	Посещение занятий	6	10	В течение семестра
Всего			10	-
Дополнительный блок**				
4.	Зачет	1	50	-
Всего			50	-
ИТОГО			100	-

Таблица 11 – Система штрафов (для одного занятия)

Показатель	Балл
Нарушение сроков сдачи самостоятельных работ	5

Таблица 12 – Шкала перевода рейтинговых баллов в итоговую оценку за семестр по дисциплине (модулю)

Сумма баллов	Оценка по 4-балльной шкале	
90–100	5 (отлично)	Зачтено
85–89	4 (хорошо)	
75–84		
70–74		
65–69	3 (удовлетворительно)	
60–64		
Ниже 60	2 (неудовлетворительно)	Не зачтено

При реализации дисциплины (модуля) в зависимости от уровня подготовленности обучающихся могут быть использованы иные формы, методы контроля и оценочные средства, исходя из конкретной ситуации.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8.1. Основная литература

1. Димитриенко, Ю. И. Метод конечных элементов для решения локальных задач механики композиционных материалов : учебное пособие / Ю. И. Димитриенко, А. П. Соколов. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - 66 с. - ISBN --. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0029.html (ЭБС «Консультант студента»)
2. Сидоров, В. Н. Расчётные методы в статике сооружений. Примеры расчётов методом конечных элементов в среде Mathcad : учебное пособие. / Сидоров В. Н. , Чентемиров Г. М. - Москва : Издательство АСВ, 2018. - 232 с. - ISBN 978-5-4323-0264-9. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432302649.html> (ЭБС «Консультант студента»)
3. Галанин, М. П. Методы численного анализа математических моделей / М. П. Галанин, Е. Б. Савенков. - 2-е изд. , испр. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. - 591 с. - ISBN 978-5-7038-4796-1. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703847961.html> (ЭБС «Консультант студента»)
4. Персова, М. Г. Методы конечноэлементного анализа / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. - 204 с. - ISBN --. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ngtu_0004.html (ЭБС «Консультант студента»)
5. Котович, А. В. Решение задач теории упругости методом конечных элементов : учебное пособие / А. В. Котович, И. В. Станкевич. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. - 106 с. - ISBN 978-5-7038-3567-8. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703835678.html> (ЭБС «Консультант студента»)

8.2. Дополнительная литература

1. Тухфатуллин, Б. А. Смешанная форма метода конечных элементов для расчёта плоских стержневых систем : учебное пособие / Тухфатуллин Б. А. , Пугеева Л. Е. , Раков В. Д. - Томск : Том. гос. архит. -строит. ун-та, 2020. - 104 с. - ISBN 978-5-93057-949-9. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930579499.html> (ЭБС «Консультант студента»)
2. Котович, А. В. Решение задач теплопроводности методом конечных элементов : метод. указания к решению задач по курсу "Сеточные методы" / А. В. Котович, И. В. Станкевич; под ред. В. С. Зарубина. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - 84 с. - ISBN --. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0011.html (ЭБС «Консультант студента»)
3. Савельева, И. Ю. Математическое моделирование процессов теплопроводности методом конечных элементов : учебное пособие / И. Ю. Савельева, И. В. Станкевич. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. - 176 с. - ISBN 978-5-7038-4932-3. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703849323.html> (ЭБС «Консультант студента»)

8.3. Интернет-ресурсы, необходимые для освоения дисциплины (модуля)

1. **Электронно-библиотечная система (ЭБС) ООО «Политехресурс» «Консультант студента».** Многопрофильный образовательный ресурс «Консультант студента» является электронной библиотечной системой, предоставляющей доступ через сеть Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретенным на основании прямых договоров с правообладателями. Каталог в настоящее время содержит около 15000 наименований. www.studentlibrary.ru.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Для проведения занятий по дисциплине необходима аудитория, оборудованная учебной мебелью, мультимедийной техникой с возможностью презентации обучающих материалов, средствами наглядного представления учебных материалов, лабораторными установками; программное обеспечение; зал самостоятельной работы, оборудованный компьютерами, имеющими доступ к сети Интернет.

10. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Рабочая программа дисциплины (модуля) при необходимости может быть адаптирована для обучения (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий) лиц с ограниченными возможностями здоровья, инвалидов. Для этого требуется заявление обучающихся, являющихся лицами с ограниченными возможностями здоровья, инвалидами, или их законных представителей и рекомендации психолого-медико-педагогической комиссии. При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья учитываются их индивидуальные психофизические особенности. Обучение инвалидов осуществляется также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).

Для лиц с нарушением слуха возможно предоставление учебной информации в визуальной форме (краткий конспект лекций; тексты заданий, напечатанные увеличенным шрифтом), на аудиторных занятиях допускается присутствие ассистента, а также

сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков. Текущий контроль успеваемости осуществляется в письменной форме: обучающийся письменно отвечает на вопросы, письменно выполняет практические задания. Доклад (реферат) также может быть представлен в письменной форме, при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д.) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.). Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости время подготовки к ответу может быть увеличено.

Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации, а также использование на аудиторных занятиях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь. Текущий контроль успеваемости осуществляется в устной форме. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, на аудиторных занятиях, а также при проведении процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации могут быть предоставлены необходимые технические средства (персональный компьютер, ноутбук или другой гаджет); допускается присутствие ассистента (ассистентов), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь (занять рабочее место, передвигаться по аудитории, прочитать задание, оформить ответ, общаться с преподавателем).