

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Набережночелнинский институт (филиал)  
Отделение информационных технологий и энергетических систем



**УТВЕРЖДАЮ**  
Заместитель директора  
по образовательной деятельности  
НЧИ КФУ  
Н.Д. Ахметов  
«31» августа 2020 г.

**Программа дисциплины**  
Метод конечных элементов

Направление подготовки: 01.03.02 - Прикладная математика и информатика  
Профиль подготовки: отсутствует  
Квалификация выпускника: бакалавр  
Форма обучения: очная  
Язык обучения: русский  
Год начала обучения по образовательной программе: 2018

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Программу дисциплины разработали доцент, к.т.н. (доцент) Ахметзянов И.З. (Кафедра системного анализа и информатики, Отделение информационных технологий и энергетических систем), [InZAhmetzyanov@kpfu.ru](mailto:InZAhmetzyanov@kpfu.ru), старший преподаватель, б/с Грудцына Л.Ю. (Кафедра системного анализа и информатики, Отделение информационных технологий и энергетических систем), [LJGrudcyна@kpfu.ru](mailto:LJGrudcyна@kpfu.ru); заведующий кафедрой, к.ф.-м.н. (доцент) Марданшин Р.Г. (Кафедра системного анализа и информатики, Отделение информационных технологий и энергетических систем), [RGMardanshin@kpfu.ru](mailto:RGMardanshin@kpfu.ru)

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Выпускник, освоивший дисциплину, должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-1	Способность использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой
ОПК-3	Способность к разработке алгоритмических и программных решений в области системного и прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей, созданию информационных ресурсов глобальных сетей, образовательного контента, прикладных баз данных, тестов и средств тестирования систем и средств на соответствие стандартам и исходным требованиям
ПК-2	Способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат

Выпускник, освоивший дисциплину:

Должен знать:

базовые положения, законы и методы естественных наук и математики;  
основные методы разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей;  
теоретические основы и вычислительные аспекты МКЭ;

Должен уметь:

самостоятельно анализировать научные, научно-исследовательские и инженерные задачи в рамках профессиональной деятельности; отбирать и использовать необходимую информацию, а также работать с литературными и иными источниками по теме проводимого исследования;

применять и совершенствовать методы разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей;

применять различные способы решения задач теории поля, теории упругости, теории деформируемых твердых тел, в том числе с использованием специализированных программных комплексов, реализующих МКЭ, а также формировать расчётные схемы, анализировать исходные данные и результаты расчётов на основе МКЭ.

Должен владеть:

навыками выбора моделей, методов решения задач профессиональной деятельности;

навыками использования методов разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей;

базовыми навыками подготовки и выполнения расчетов на основе МКЭ в современных программных комплексах ELCUT, NX.

Должен демонстрировать способность и готовность:

применять результаты освоения дисциплины в профессиональной деятельности

## 2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.03.02 "Прикладная математика и информатика ()" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 4 курсе в 7 семестре.

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц(ы) на 180 часов.

Контактная работа - 54 часа, в том числе лекции - 18 часов, практические занятия - 0 часов, лабораторные работы - 36 часов, контроль самостоятельной работы - 0 часов.

Самостоятельная работа - 90 часов.

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часов.

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 7 семестре.

## 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Метод конечных элементов. Основные понятия	7	6	0	8	20
2.	Тема 2. Матрицы жёсткости КЭ	7	2	0	8	20
3.	Тема 3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля	7	4	0	10	20
4.	Тема 4. Механика деформируемого твердого тела	7	2	0	8	20

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
5.	Тема 5. Элементы высокого порядка	7	4	0	2	10
	Итого		18	0	36	90

## 4.2 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 КЭ

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, 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 4. 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 5. Элементы высокого порядка

Квадратичные и кубичные 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. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

## **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в библиотеке НЧИ КФУ. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов библиотеки НЧИ КФУ.

#### **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

ELCUT - <http://elcut.ru/>

Метод конечных элементов на примере уравнения Пуассона - <https://habr.com/ru/post/263597/>

100 ВОПРОСОВ ПО МЕТОДУ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ - <http://www.kokch.kts.ru/me/m9rus/index.htm>

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

<b>Вид работ</b>	<b>Методические рекомендации</b>
лекции	<p>Во время лекционных занятий студенту рекомендуется вести краткий конспект, фиксируя основные теоретические положения изучаемых разделов дисциплины. При подготовке к устному опросу, контрольным работам и экзаменам следует в первую очередь обращаться к конспекту лекций по дисциплине. При этом работа с конспектом лекций и другими литературными источниками должна проводиться систематически, в процессе этой работы студент должен стараться получить полное представление об интересующих его вопросах, особенно, если возникли трудности в понимании какой-то темы.</p> <p>Во время лекции настоятельно рекомендуется вовлеченность в диалог с лектором. Следует стремиться отвечать на задаваемые им вопросы, участвовать в обсуждениях отдельных вопросов. Если студент не успевает за темпом подачи материала или какой-то аспект оказался слишком сложен для восприятия, рекомендуется при первой возможности задать уточняющий вопрос или попросить преподавателя повторно рассмотреть вызвавший затруднения материал.</p>
лабораторные работы	Лабораторные занятия проводятся в компьютерном классе. Задания по лабораторным работам, рекомендации по их выполнению и примеры выполнения находятся в соответствующих методических материалах.

Вид работ	Методические рекомендации
	<p>Контроль за выполнением лабораторных работ проходит в виде защиты соответствующей работы преподавателю на компьютере индивидуально каждым студентом. Для успешной защиты студент должен:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- для лабораторных работ, НЕ предусматривающих создание программ: <ul style="list-style-type: none"> <li>* предоставить отчет о выполнении работы, включающий постановку решаемой задачи (модель динамического программирования) и подробное описание процесса решения;</li> </ul> </li> <li>- для лабораторных работ, по которым предусмотрено создание программ: <ul style="list-style-type: none"> <li>* предоставить корректно работающую программу, интерфейс пользователя которой выполнен в соответствии с требованиями к работе.</li> <li>* быть готовым ответить на вопросы преподавателя, касающиеся: 1) теоретического материала, необходимого для выполнения задания; 2) непосредственно исходного кода программы, 3) реализованных в работе алгоритмов;</li> <li>* знать и понимать основные термины предметной области, которой принадлежит решаемая задача.</li> </ul> </li> </ul>
самостоятельная работа	<p>Особенностью обучения бакалавров является высокий уровень самостоятельности обучающихся в ходе образовательного процесса. Можно выделить два вида самостоятельной работы - аудиторная, под руководством преподавателя, и внеаудиторная. Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию. Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия. На аудиторных занятиях по дисциплине с участием преподавателя применяются следующие формы СРС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- текущие консультации;</li> <li>- разбор и проработка основных приемов работы и способов решения задач по дисциплине.</li> </ul> <p>Внеаудиторная СРС по дисциплине:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проработка и усвоение теоретического материала на базе рекомендованной преподавателем учебной литературы (включая электронные библиотеки и др.);</li> <li>- подготовка к лабораторным работам (изучение образцов выполнения заданий, разобранных примеров решения некоторых задач и др.);</li> <li>- оформление отчетов по лабораторным работам;</li> <li>- подготовка к устному опросу;</li> <li>- подготовка к контрольной работе;</li> <li>- подготовка к экзамену.</li> </ul>
Письменное домашнее задание	<p>Письменная домашнее задание заключается в подготовке реферата по одной из предложенных тем. Объем реферата - максимум 15 страниц. Этапы работы над рефератом:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выбор темы.</li> <li>2. Изучение основных источников по теме.</li> <li>3. Составление списка литературы.</li> <li>4. Конспектирование или тезирование необходимого материала.</li> <li>5. Систематизация зафиксированной и отобранной информации.</li> <li>6. Определение основных понятий темы.</li> <li>7. Корректировка основных вопросов анализа.</li> <li>8. Разработка логики исследования проблемы, составление плана.</li> <li>9. Реализация плана, написание реферата.</li> <li>10. Самоанализ, предполагающий оценку новизны, степени раскрытия сущности проблемы, обоснованности выбора источников и оценку объема реферата.</li> </ol>



Вид работ	Методические рекомендации
	<p>11. Проверка оформления списка литературы.  12. Редакторская правка текста.  13. Оформление реферата и проверка текста с точки зрения грамотности и стилистики.  В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах: в команде "Microsoft Teams". Домашние задания размещаются на вкладке Задания канала Общий в соответствующей команде "Microsoft Teams».</p>
устный опрос	<p>Устный опрос проводится по всем темам (разделам) дисциплины. Опрос проводится на лабораторных занятиях, обучающиеся отвечают на вопросы преподавателя согласно перечню вопросов к устному опросу. Вопросы носят в большинстве случаев теоретический характер и задаются для актуализации лекционного материала, а также для проверки освоения студентом основных терминов, понятий и теоретических положений дисциплины.</p>
экзамен	<p>Подготовку к экзамену целесообразно начать с подбора литературы. Прежде всего следует внимательно перечитать учебную программу и программные вопросы для подготовки к экзамену, чтобы выделить из них наименее знакомые. Далее должен следовать этап повторения всего программного материала. На эту работу целесообразно отвести большую часть времени. Следующим этапом является самоконтроль знания изученного материала, который заключается в устных ответах на программные вопросы, выносимые на экзамен. Тезисы ответов на наиболее сложные вопросы желательно записать, так как в процессе записи включаются дополнительные моторные ресурсы памяти.  Важным элементом подготовки является разбор и анализ математической постановки задач и вывода расчетных соотношений как в общем виде, так и с учетом специфики конкретной задачи.  Предложенная методика непосредственной подготовки к зачету может быть и изменена. Так, для студентов, которые считают, что они усвоили программный материал в полном объеме и уверены в прочности своих знаний, достаточно беглого повторения учебного материала. Основное время они могут уделить углубленному изучению отдельных, наиболее сложных, дискуссионных проблем.  Литература для подготовки к зачету рекомендуется преподавателем. Она также может быть указана в программе курса и учебно-методических пособиях.</p>

**10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории – помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации укомплектованные специальной мебелью и оборудованием.

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования.

## **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;

- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;

- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;

- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;

- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;

- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;

- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:

- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;

- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;

- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 01.03.02 "Прикладная математика и информатика».

Приложение №1  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Метод конечных элементов

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Набережночелнинский институт (филиал)  
Отделение информационных технологий и энергетических систем

**Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**  
Метод конечных элементов

Направление подготовки/специальность: 01.03.02 – Прикладная математика и информатика  
Направленность (профиль) подготовки: отсутствует  
Квалификация выпускника: бакалавр  
Форма обучения: очная  
Язык обучения: русский  
Год начала обучения по образовательной программе: 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю)
2. Критерии оценивания сформированности компетенций
3. Распределение оценок за формы текущего контроля и промежуточную аттестацию
4. Оценочные средства, порядок их применения и критерии оценивания
  - 4.1. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ
    - 4.1.1. Лабораторные работы
      - 4.1.1.1. Порядок проведения и процедура оценивания.
      - 4.1.1.2. Критерии оценивания
      - 4.1.1.3. Содержание оценочного средства
    - 4.1.2. Устный опрос
      - 4.1.2.1. Порядок проведения и процедура оценивания
      - 4.1.2.2. Критерии оценивания
      - 4.1.2.3. Содержание оценочного средства
    - 4.1.4. Письменное домашнее задание
      - 4.1.4.1. Порядок проведения и процедура оценивания
      - 4.1.4.2. Критерии оценивания
      - 4.1.4.3. Содержание оценочного средства
  - 4.2. Оценочные средства промежуточной аттестации
    - 4.2.1. Экзамен. Устный/письменный ответ на вопросы
      - 4.2.1.1. Порядок проведения и процедура оценивания.
      - 4.2.1.2. Критерии оценивания.
      - 4.2.1.3. Оценочные средства

**1. Соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю)**

Код и наименование компетенции	Проверяемые результаты обучения для данной дисциплины	Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации
<p>ОПК-1 способностью использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой</p>	<p>Знать: базовые положения, законы и методы естественных наук и математики Уметь: самостоятельно анализировать научные, научно-исследовательские и инженерные задачи в рамках профессиональной деятельности; отбирать и использовать необходимую информацию, а также работать с литературными и иными источниками по теме проводимого исследования Владеть: навыками выбора моделей, методов решения задач профессиональной деятельности</p>	<p><b>Текущий контроль:</b> <b>1. Лабораторные работы по темам:</b> 1. Метод конечных элементов. Основные понятия 2. Матрицы жёсткости КЭ 3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля 4. Механика деформируемого твердого тела 5. Элементы высокого порядка <b>2. Устный опрос по темам:</b> 1. Метод конечных элементов. Основные понятия 2. Матрицы жёсткости КЭ 3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля 4. Механика деформируемого твердого тела 5. Элементы высокого порядка. <b>3. Письменное домашнее задание:</b> 1. Метод конечных элементов. Основные понятия 2. Матрицы жёсткости КЭ 3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля 4. Механика деформируемого твердого тела 5. Элементы высокого порядка.</p> <p><b>Промежуточная аттестация:</b> Экзамен (контрольные вопросы).</p>
<p>ОПК-3 способностью к разработке</p>	<p>Знать: основные методы разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного</p>	<p><b>Текущий контроль:</b> <b>1. Лабораторные работы по темам:</b></p>

<p>алгоритмических и программных решений в области системного и прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей, созданию информационных ресурсов глобальных сетей, образовательного контента, прикладных баз данных, тестов и средств тестирования систем и средств на соответствие стандартам и исходным требованиям</p>	<p>программирования, математических, информационных и имитационных моделей          Уметь: применять и совершенствовать методы разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей;          Владеть: навыками использования методов разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей</p>	<p>1. Метод конечных элементов. Основные понятия          2. Матрицы жёсткости КЭ          3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля          4. Механика деформируемого твердого тела          5. Элементы высокого порядка  <b>2. Устный опрос по темам:</b>          1. Метод конечных элементов. Основные понятия          2. Матрицы жёсткости КЭ          3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля          4. Механика деформируемого твердого тела          5. Элементы высокого порядка.  <b>3. Письменное домашнее задание:</b>          1. Метод конечных элементов. Основные понятия          2. Матрицы жёсткости КЭ          3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля          4. Механика деформируемого твердого тела          5. Элементы высокого порядка.  <b>Промежуточная аттестация:</b>          Экзамен (контрольные вопросы).</p>
<p>ПК-2 – Способен понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат</p>	<p>Знать теоретические основы и вычислительные аспекты МКЭ.          Уметь применять различные способы решения задач теории поля, теории упругости, теории деформируемых твердых тел, в том числе с использованием специализированных программных комплексов, реализующих МКЭ, а также формировать расчётные схемы, анализировать исходные данные и результаты расчётов на основе МКЭ.</p>	<p><b>Текущий контроль:</b>  <b>1. Лабораторные работы по темам:</b>          1. Метод конечных элементов. Основные понятия          2. Матрицы жёсткости КЭ          3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля</p>

	<p>Владеть базовыми навыками подготовки и выполнения расчетов на основе МКЭ в современных программных комплексах ELCUT, NX.</p>	<p>4. Механика деформируемого твердого тела  5. Элементы высокого порядка</p> <p><b>2. Устный опрос по темам:</b></p> <p>1. Метод конечных элементов. Основные понятия  2. Матрицы жёсткости КЭ  3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля</p> <p>4. Механика деформируемого твердого тела  5. Элементы высокого порядка.</p> <p><b>3. Письменное домашнее задание:</b></p> <p>1. Метод конечных элементов. Основные понятия  2. Матрицы жёсткости КЭ  3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля</p> <p>4. Механика деформируемого твердого тела  5. Элементы высокого порядка.</p> <p><b>Промежуточная аттестация:</b>  Экзамен (контрольные вопросы).</p>
--	---	---



## 2. Критерии оценивания сформированности компетенций

Компетенция	Зачтено			Не зачтено
	Высокий уровень (отлично) (86-100 баллов)	Средний уровень (хорошо) (71-85 баллов)	Низкий уровень (удовлетворительно) (56-70 баллов)	Ниже порогового уровня (неудовлетворительно) (0-55 баллов)
ОПК-1	Знает базовые положения, законы и методы естественных наук и математики	Знает некоторые базовые положения, законы и методы естественных наук и математики	Перечисляет некоторые базовые положения, законы и методы естественных наук и математики	Не знает базовые положения, законы и методы естественных наук и математики
	Умеет самостоятельно анализировать научные, научно-исследовательские и инженерные задачи в рамках профессиональной деятельности; отбирать и использовать необходимую информацию, а также работать с литературными и иными источниками по теме проводимого исследования	Умеет анализировать инженерные задачи в рамках профессиональной деятельности; отбирать и использовать необходимую информацию, а также работать с литературными и иными источниками по теме проводимого исследования	Умеет анализировать задачи в рамках профессиональной деятельности; отбирать и использовать необходимую информацию, а также работать с литературными и иными источниками по теме проводимого исследования только под контролем преподавателя	Не умеет самостоятельно анализировать научные, научно-исследовательские и инженерные задачи в рамках профессиональной деятельности; отбирать и использовать необходимую информацию, а также работать с литературными и иными источниками по теме проводимого исследования
	Владеет навыками выбора моделей, методов решения задач профессиональной деятельности в рамках дисциплины	Владеет навыками выбора моделей, методов решения учебных задач	Владеет базовыми навыками выбора моделей, методов решения учебных задач, допуская ошибки	Не владеет навыками выбора моделей, методов решения задач профессиональной деятельности
ОПК-3	Знает основные методы разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей	Знает основные методы разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных моделей	Перечисляет некоторые основные методы разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных моделей	Не знает основные методы разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных

				и имитационных моделей
	Умеет применять и совершенствовать методы разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей	Умеет применять методы разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных моделей в учебных ситуациях	Умеет применять методы разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных моделей в учебных ситуациях, допуская ошибки	Не умеет применять и совершенствовать методы разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей;
	Владеет навыками использования методов разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей	Владеет некоторыми навыками использования методов разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных моделей	Владеет базовыми навыками использования методов разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных моделей	Не владеет навыками использования методов разработки алгоритмических и программных решений в области прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей
ПК-2	Знает теоретические основы и вычислительные аспекты МКЭ.	Знает базовые теоретические основы и вычислительные аспекты МКЭ.	Знает область применения и базовые вычислительные аспекты МКЭ.	Не знает теоретические основы и вычислительные аспекты МКЭ.
	Умеет применять различные способы решения задач теории поля, теории упругости, теории деформируемых твердых тел, в том числе с использованием специализированных программных комплексов, реализующих МКЭ,	Умеет применять наиболее простые на практике способы решения задач теории поля, теории упругости, преимущественно с использованием специализированных программных комплексов, реализующих МКЭ, а также формировать	Умеет применять МКЭ в составе специализированного программного обеспечения для решения типовых учебных задач теории поля, теории упругости, а также выполнять элементарную интерпретацию и анализ результатов	Не умеет применять даже наиболее простые на практике способы решения задач теории поля, теории упругости, преимущественно с использованием специализированных программных комплексов, реализующих

	а также формировать расчётные схемы, анализировать исходные данные и результаты расчётов на основе МКЭ.	типовые расчётные схемы, выполнять интерпретацию и несложный анализ результатов расчётов на основе МКЭ.	решения задач МКЭ по готовым методикам.	МКЭ, а также формировать типовые расчётные схемы, выполнять интерпретацию и несложный анализ результатов расчётов на основе МКЭ..
	Владеет базовыми навыками подготовки и выполнения расчетов на основе МКЭ в современных программных комплексах ELCUT, NX.	Владеет базовыми навыками подготовки и выполнения типовых расчетов на основе МКЭ в современных программных комплексах ELCUT, NX.	Владеет базовыми навыками подготовки и выполнения типовых расчетов на основе МКЭ сформулированных в форме учебных заданий в современных программных комплексах типа ELCUT, под контролем преподавателя или по подробным методикам.	Не владеет базовыми навыками подготовки и выполнения расчетов на основе МКЭ в современных программных комплексах ELCUT, NX.

### 3. Распределение оценок за формы текущего контроля и промежуточную аттестацию

7 семестр:

Текущий контроль:

Лабораторные работы – 30 баллов

Устный опрос – 10 баллов

Письменное домашнее задание – 10 баллов

Итого  $30+10+10 = 50$  баллов

Промежуточная аттестация – экзамен.

Экзамен нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Обучающийся получает два вопроса и время на подготовку (60 минут). Зачёт проводится в устной, письменной или компьютерной форме. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.

Контрольные вопросы – 50 баллов, по 25 баллов за ответ на каждый вопрос:

Итого  $25+25 = 50$  баллов

Общее количество баллов по дисциплине за текущий контроль и промежуточную аттестацию:  $50+50=100$  баллов.

Соответствие баллов и оценок:

**Для экзамена:**

86-100 – отлично;

71-85 – хорошо;

56-70 – удовлетворительно;

0-55 – неудовлетворительно.

## **4. Оценочные средства, порядок их применения и критерии оценивания**

### **4.1. Оценочные средства текущего контроля**

#### **4.1.1. Лабораторные работы**

##### **4.1.1.1. Порядок проведения и процедура оценивания.**

Лабораторные работы выполняются по следующим темам:

1. Метод конечных элементов. Основные понятия
2. Матрицы жёсткости КЭ
3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля
4. Механика деформируемого твердого тела
5. Элементы высокого порядка.

В аудитории, оснащённой соответствующим оборудованием, обучающиеся проводят учебные эксперименты и тренируются в применении практико-ориентированных технологий. Оцениваются знание материала и умение применять его на практике, умения и навыки по работе с оборудованием в соответствующей предметной области. После выполнения лабораторной работы осуществляется защита полученных результатов; оформление отчета не требуется.

Рекомендуемая схема выполнения заданий к лабораторной работе по данной дисциплине включает следующие этапы:

- Ознакомление с заданием.
- Изучение необходимого теоретического материала.
- Изучение примеров выполнения задания.
- Разработать алгоритм решения поставленной задачи.
- Выполнение задания в соответствии с разработанным алгоритмом (реализация решения).

Защита лабораторной работы заключается в проверке преподавателем задания согласно определенному варианту. В ходе защиты преподаватель задает студенту вопросы, касающиеся технологии выполнения задания, а также соответствующего лекционного материала. Неспособность студента грамотно ответить на поставленные вопросы является поводом для преподавателя усомниться в авторстве работы.

В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах:

- в команде «Microsoft Teams».

##### **4.1.1.2. Критерии оценивания**

Механизм оценивания лабораторных работ:

- 1) 86-100% от максимального числа баллов

Задание выполнено полностью и без ошибок, обучающийся способен объяснить методы и алгоритмы, использованные при решении задачи.

- 2) 71-85% от максимального числа баллов

Задание выполнено полностью с незначительными ошибками, обучающийся способен описать и объяснить последовательность решения задачи.

- 3) 56-70% от максимального числа баллов

Задание выполнено более чем наполовину, в решении присутствуют серьёзные ошибки, обучающийся способен описать порядок своих действий при решении задачи.

- 4) 0-55% от максимального числа баллов

Задание выполнено фрагментарно или не выполнено вообще, обучающийся не способен объяснить смысл своих действий при выполнении работы.

##### **4.1.1.3. Содержание оценочного средства**

Темы и описание лабораторных работ в 7 семестре:

Лабораторная работа № 1.

Решение одномерной задачи методом конечных элементов

Цель работы: практическое знакомство с основными этапами применения метода конечных элементов (МКЭ) для приближенного решения краевой задачи (одномерный случай).

Задание

1. Ознакомиться:

- a. с основными понятиями, назначением МКЭ;
- b. с основными этапами МКЭ;
- c. с прямым способом построения глобальной матрицы жесткости;
- d. с предназначением и сутью метода Бубнова-Галеркина (Б-Г).

2. Решить методом конечных элементов указанную в индивидуальном задании краевую задачу, используя для построения уравнений МКЭ метод Б-Г. Этапы решения задачи:

a. разбиение области на конечные симплекс-элементы (количество элементов указано в индивидуальном варианте);

b. запись интерполирующих функций, определяющих элемент, в векторно-матричной форме, а также функций формы элемента;

c. формирование уравнения метода Б-Г для элемента, его вычисление, формирование локальных матриц жесткости и матриц нагрузок элементов;

d. включение локальных матриц элементов в глобальную матрицу жесткости и матрицу нагрузок;

e. учет граничных условий путем изменения глобальных матриц;

f. вычисление узловых значений искомой функции путем решения линейного матричного уравнения;

g. вычисление (если необходимо) приближенных значений искомой функции в заданных точках.

Оформить отчет, включив в него описание всех этапов решения задачи и полученные результаты.

Лабораторная работа № 2.

Решение одномерных и двумерных задач методом конечных элементов в программной среде Elcut.

Цель работы: Ознакомление с общими принципами и процедурой формулировки и решения различных простых задач методом конечных элементов в специализированной программной среде на примере пакета Elcut 6.0.

Задание

1. Решить, используя пакет ELCUT, указанную в индивидуальном варианте одномерную задачу из лабораторной работы №1.

2. Решить, используя пакет ELCUT, указанную в индивидуальном варианте двумерную задачу, указанную в индивидуальном варианте ниже.

Лабораторная работа № 3.

Решение связанных задач методом конечных элементов в программной среде Elcut.

Цель работы: получение практических навыков решения связанных (мультидисциплинарных) задач методом конечных элементов в специализированной программной среде на примере пакета Elcut 6.0.

Задание

1. Решить, используя пакет ELCUT, указанную в индивидуальном варианте связанную задачу.

2. Используя вспомогательную программу ELCUT LabelMover, определить зависимость между указанными в индивидуальном варианте задания величинами.

Лабораторная работа № 4.

Решение трехмерных задач механики твердого тела методом конечных элементов в пакете Siemens NX.

Цель работы: ознакомление с основами применения модуля NX Nastran для конечноэлементного анализа в пакете Siemens NX.

Задание

1. Создать геометрическую модель детали в среде моделирования NX CAD. Необходимо использовать размеры, соответствующие индивидуальному варианту.

2. Сформировать в пакете ?Расширенная симуляция? задачу для конечноэлементного анализа напряженного деформированного состояния созданной детали, соответствующего указанной в варианте схеме нагружения и ограничения степеней свободы. Решить задачу, используя МКЭ-решатель NX Nastran. Определить максимальное перемещение узлов МКЭ-модели; используя критерий фон-Мизеса, определить, превышен ли предел прочности для деформированной детали.

Контрольные вопросы при защите лабораторной работы:

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие задачи нужно решить в процессе выполнения работы?
3. Опишите методику выполнения работы.
4. Запишите основные расчетные соотношения, используемые в работе.
5. Какое программное и аппаратное обеспечение используется при выполнении работы?
6. Кратко опишите процесс выполнения работы.
7. Опишите основные результаты, полученные в процессе выполнения работы.
8. Соответствуют ли полученные результаты известным теоретическим положениям?
9. Какие выводы можно сделать по результатам выполнения работы?
10. При решении каких практических задач могут быть использованы получаемые результаты?

#### **4.1.2. Устный опрос**

##### **4.1.2.1. Порядок проведения и процедура оценивания**

Устный опрос проводится по следующим темам:

1. Метод конечных элементов. Основные понятия
2. Матрицы жёсткости КЭ
3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля
4. Механика деформируемого твердого тела
5. Элементы высокого порядка.

Устный опрос проводится во время аудиторной работы. Обучающиеся отвечают на вопросы преподавателя, участвуют в дискуссии. Оценивается уровень домашней подготовки по теме, способность системно и логично излагать материал, анализировать, формулировать собственную позицию, отвечать на дополнительные вопросы.

В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах:

- в команде «Microsoft Teams».

##### **4.1.2.2. Критерии оценивания**

Механизм оценивания ответов при устном опросе:

- 1) 86-100% от максимального числа баллов
  - знает весь теоретический материал по рассматриваемому вопросу, предусмотренный учебной программой;
  - может дать подробное описание и провести сравнительный анализ различных подходов к решению рассматриваемой задачи;
  - корректно использует понятийный аппарат;
  - высказывает свою точку зрения по рассматриваемому вопросу и может ее аргументированно обосновать.

2) 71-85% от максимального числа баллов

- основные теоретические положения по рассматриваемому вопросу;
- может описать различные подходы к решению рассматриваемой задачи;
- корректно использует понятийный аппарат;
- высказывает свою точку зрения.

3) 56-70% от максимального числа баллов

- имеет общее представление о предмете обсуждения, способах решения рассматриваемой задачи;

- допускает ошибки при использовании понятийного аппарата;
- высказывает свои мысли сумбурно, ответ слабо структурирован.

4) 0-55% от максимального числа баллов

- не владеет теоретическим материалом;
- не владеет понятийным аппаратом;
- не способен внятно сформулировать свои мысли.

#### 4.1.2.3. Содержание оценочного средства

Примерные вопросы в 7 семестре:

Тема 1. Метод конечных элементов. Основные понятия

Дайте определение МКЭ. Какова математическая постановка задачи, решаемой МКЭ? Объясните происхождение термина. Какова область применения метода, какие классы задач решаются с помощью МКЭ? Какие есть методы-аналоги? Сопоставьте МКЭ и сеточные методы, опишите их достоинства и недостатки. Перечислите основные этапы МКЭ. Что такое функция формы? Какова роль методов интерполяции в рамках МКЭ? Что является конечным результатом решения задачи МКЭ?

Тема 2. Матрицы жёсткости КЭ

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

Тема 3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля

Какова постановка задачи теплопроводности одномерного стержня? Какие краевые условия? Какие основные подходы к формированию системы уравнений можете назвать на примере одномерной задачи теплопроводности? Что такое осесимметричная задача? В чем их особенности?

Тема 4. Механика деформируемого твердого тела

Назовите ключевые особенности класса задач из области механики деформируемого твердого тела? Чем отличаются упругие деформации от неупругих (пластичных)? Что такое деформация? В чем отличие деформации от перемещения? Дайте определение механическому напряжению. Что такое тензор напряжений? Как связаны деформации и напряжения упругого тела? Сформулируйте в качестве примера одномерную задачу из данной области.

Тема 5. Элементы высокого порядка

В чем принципиальное отличие элементов высокого порядка от простых (симплекс) КЭ? В чем их преимущества и недостатки?



#### **4.1.4. Письменное домашнее задание**

##### **4.1.4.1. Порядок проведения и процедура оценивания**

Письменное домашнее задание предусмотрено по следующим темам:

1. Метод конечных элементов. Основные понятия
2. Матрицы жёсткости КЭ
3. Решение прикладных задач: теплопроводность, гидромеханика, осесимметричные задачи теории поля
4. Механика деформируемого твердого тела
5. Элементы высокого порядка.

Обучающиеся получают задание по освещению определённых теоретических вопросов или решению задач. Работа выполняется письменно дома и сдаётся преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.

В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах:

- в команде «Microsoft Teams»;
- в Виртуальной аудитории.

##### **4.1.4.2. Критерии оценивания**

Механизм оценивания выполненного письменного домашнего задания:

- 1) 86-100% от максимального числа баллов

Правильно выполнены все задания. Корректно даны необходимые пояснения и комментарии по просьбе преподавателя, получены ответы на вопросы, демонстрирующие отличный уровень понимания и владения теоретическим материалом и практические навыки.

- 2) 71-85% от максимального числа баллов

Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.

- 3) 56-70% от максимального числа баллов

Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьёзные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.

- 4) 0-55% от максимального числа баллов

Задания выполнены менее чем наполовину или не выполнены вовсе. Студент не может дать корректных пояснений по сути выполняемого задания, не владеет терминологией и не может продемонстрировать даже базовых знаний теоретического материала, связанного с заданием.

##### **4.1.4.3. Содержание оценочного средства**

Примеры заданий в 7 семестре:

Подготовка реферата. Примерные темы:

- 1) Триангуляция Делоне.
- 2) Аппроксимация решения систем дифференциальных уравнений методом взвешенных невязок.
- 3) Моделирование двумерных плоских задач теории упругости в напряжениях методом взвешенных невязок.
- 4) Отображение с помощью бесконечных элементов.
- 5) Ортогональная коллокация.
- 6) Связь между методом коллокаций и методом конечных разностей.
- 7) Согласующиеся элементы и кусочный тест.

- 8) Использование неортогональных, неструктурированных сеток для аппроксимации областей со сложной геометрией.
- 9) История метода конечных элементов.
- 10) Метод Галеркина.

## **4.2. Оценочные средства промежуточной аттестации**

### **4.2.1. Экзамен. Устный/письменный ответ на вопросы**

#### **4.2.1.1. Порядок проведения и процедура оценивания.**

Форма сдачи экзамена вариативна и может быть, как устной, так и письменной. Экзамен проводится по билетам, в каждом билете по 2 вопроса; время, отведенное на ответы – 1 час. Перечень экзаменационных вопросов включает 32 пункта.

#### **4.2.1.2. Критерии оценивания.**

**Баллы в интервале 86-100% от максимальных ставятся, если:**

Обучающийся дал полный ответ на все вопросы, при ответе использовал примеры практического применения рассматриваемого теоретического материала, ответил на все дополнительные вопросы, ответ четкий и хорошо структурированный, освоен понятийный аппарат.

**Баллы в интервале 71-85% от максимальных ставятся, если:**

Обучающийся дал полный ответ на все вопросы, однако испытывал затруднение с приведением практических примеров применения рассматриваемого теоретического материала, ответил не на все дополнительные вопросы, ответ структурирован, освоен понятийный аппарат.

**Баллы в интервале 56-70% от максимальных ставятся, если:**

Обучающийся раскрыл вопросы лишь частично, не смог привести практические примеры применения рассматриваемого теоретического материала, частично ответил на некоторые из дополнительных вопросов, допускает несущественные ошибки при использовании понятийного аппарата.

**Баллы в интервале 0-55% от максимальных ставятся, если:**

Обучающийся не ответил на вопросы или же ответы не соответствовали заданным вопросам, не дал адекватного ответа на дополнительные вопросы, допускает грубые ошибки при использовании понятийного аппарата или не использует понятийный аппарат предметной области вовсе.

#### **4.2.1.3. Оценочные средства**

Вопросы к экзамену в 7 семестре:

1. Основная концепция метода конечных элементов.
2. Этапы МКЭ.
3. Разбиение области на элементы. Определение узловых точек и элементов. Нумерация узлов.
4. Типы конечноэлементных (КЭ) сеток.
5. Типы конечных элементов. Классификация конечных элементов.
6. Одномерный симплекс элемент.
7. Двумерный симплекс элемент.
8. Трехмерный симплекс элемент.
9. Комплекс-элемент. Примеры для одномерного и двумерного случаев
10. Мультиплекс-элемент. Отличие от комплекс-элемента.
11. Интерполирование векторных величин.
12. Местная система координат. L координаты (2-мерный случай).
13. Свойства интерполяционного полинома.
14. Интерполяционные полиномы для дискретизированной области. Скалярные величины. Векторные величины.

15. Формирование расчетной системы уравнений (СУ). Способы формирования СУ. Матрицы жесткости, нагрузок. Их физический смысл для различных областей применения МКЭ.
16. Локальные и глобальные матрицы жесткости и нагрузок. Способы формирования глобальных матриц.
17. Прямой метод построения глобальной матрицы жесткости и нагрузок.
18. Уравнения метода конечных элементов: задачи теории поля.
19. Уравнения метода конечных элементов: теория упругости.
20. Кручение стержня некругового сечения. Общая теория кручения стержня. Построение матриц элементов.
21. Радиальные и осесимметрические задачи теории поля. Симметрические двумерные задачи теории поля. Осесимметрические задачи теории поля.
22. Механика деформируемого твердого тела. Теория упругости. Одномерный случай. Напряжения в элементах.
23. Двумерные задачи теории упругости.
24. Трехмерные задачи теории упругости.
25. Осесимметрические задачи теории упругости.
26. Нестационарные КЭ-задачи.
27. Общие принципы решения междисциплинарных задач МКЭ.
28. Элементы высокого порядка. Одномерный элемент: Квадратичные и кубичные элементы, применение. Естественная система координат. Преобразования координат. Матрица Якоби.
29. Применение численного интегрирования при определении матриц элемента.
30. Треугольный и тетраэдральный элементы высокого порядка. Функции формы. Вычисление производных функций формы. Составление матриц элементов.
31. Тетраэдральные элементы.
32. Четырехугольные элементы. Линейный, квадратичный, кубичный четырехугольные элементы. Производные функции формы. Соотношения, определяющие элементы.

### Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Профиль подготовки: нет

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

#### Основная литература:

1. Демидович, Б.П. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б.П. Демидович, И.А. Марон, Э.З. Шувалова. ? Электрон. дан. ? Санкт-Петербург : Лань, 2010. ? 400 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/537>. ? Загл. с экрана.
2. Даутов, Р.З. Программная реализация метода конечных элементов в MATLAB [Электронный ресурс] : учебное пособие / Р.З. Даутов. ? Электрон. дан. ? Казань : КФУ, 2014. ? 106 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72805>. ? Загл. с экрана.
4. Котович А.В., Решение задач теории упругости методом конечных элементов [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / А.В. Котович, И.В. Станкевич. - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. - 106 с. - ISBN 978-5-7038-3567-8 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703835678.html>

#### Дополнительная литература:

1. Мишенков, Г.В. Метод конечных элементов в курсе сопротивления материалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.В. Мишенков, Ю.Н. Самогин, В.П. Чирков ; под ред. В.П. Чиркова. - Электрон. дан. - Москва : Физматлит, 2015. - 472 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71992>. - Загл. с экрана.
2. Трушин С.И., Метод конечных элементов. Теория и задачи [Электронный ресурс] : Учебное пособие / Трушин С.И. - М. : Издательство АСВ, 2008. - 256 с. - ISBN 978-5-93093-539-9 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930935399.html>
3. Строительная механика: метод конечных элементов: Учебное пособие / Трушин С.И. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 305 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат) (Переплёт 7БЦ) ISBN 978-5-16-011428-6 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/524311>
4. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел/Присекин В.Л., Расторгуев Г.И. - Новосиб.: НГТУ, 2010. - 238 с.: ISBN 978-5-7782-1287-9 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/548237>

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Профиль подготовки: нет

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Elcut 6.1 Student(свободно распространяемая)

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань», доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "Консультант студента", доступ к которой предоставлен обучающимся. Многопрофильный образовательный ресурс "Консультант студента" является

электронной библиотечной системой (ЭБС), предоставляющей доступ через сеть Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретенным на основании прямых договоров с правообладателями. Полностью соответствует требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования к комплектованию библиотек, в том числе электронных, в части формирования фондов основной и дополнительной литературы.