

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



« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

Метод конечных элементов

Направление подготовки: 01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Профиль подготовки:

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2020

## 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)
  - 6.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения
  - 6.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
  - 6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы
- 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
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)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и) старший преподаватель, б/с Грудцына Л.Ю. (Кафедра системного анализа и информатики, Отделение информационных технологий и энергетических систем), LJGrudcyna@kpfu.ru

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

<b>Шифр компетенции</b>	<b>Расшифровка приобретаемой компетенции</b>
ПК-2	Способен понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

теоретические основы и вычислительные аспекты МКЭ;

Должен уметь:

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:

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 (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.01.02 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(ые) единиц(ы) на 180 часа(ов).

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

Самостоятельная работа - 90 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

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
5.	Тема 5. Элементы высокого порядка	7	4	0	2	10
	Итого		18	0	36	90

### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

#### 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 №14-55-996ин/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)****6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения**

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
<b>Семестр 7</b>			
	<b>Текущий контроль</b>		
1	Лабораторные работы	ПК-2	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
2	Устный опрос	ПК-2	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
3	Письменное домашнее задание	ПК-2	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>Экзамен</b>	ПК-2	

## 6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
<b>Семестр 7</b>					
<b>Текущий контроль</b>					
Лабораторные работы	Оборудование и методы использованы правильно. Проявлена превосходная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения полностью освоены. Результат лабораторной работы полностью соответствует её целям.	Оборудование и методы использованы в основном правильно. Проявлена хорошая теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения в основном освоены. Результат лабораторной работы в основном соответствует её целям.	Оборудование и методы частично использованы правильно. Проявлена удовлетворительная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения частично освоены. Результат лабораторной работы частично соответствует её целям.	Оборудование и методы использованы неправильно. Проявлена неудовлетворительная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения не освоены. Результат лабораторной работы не соответствует её целям.	1
Устный опрос	В ответе качественно раскрыто содержание темы. Ответ хорошо структурирован. Прекрасно освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован высокий уровень понимания материала. Превосходное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Основные вопросы темы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме. Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован хороший уровень понимания материала. Хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Тема частично раскрыта. Ответ слабо структурирован. Понятийный аппарат освоен частично. Понимание отдельных положений из материала по теме. Удовлетворительное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Тема не раскрыта. Понятийный аппарат освоен неудовлетворительно. Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Неумение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	2
Письменное домашнее задание	Правильно выполнены все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьёзные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены менее чем наполовину. Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	3



Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
<b>Экзамен</b>	Обучающийся обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой дисциплины, усвоил взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.	Обучающийся обнаружил полное знание учебно-программного материала, успешно выполнил предусмотренные программой задания, усвоил основную литературу, рекомендованную программой дисциплины, показал систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.	Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой, знаком с основной литературой, рекомендованной программой дисциплины, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.	Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании университета к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.	

**6.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

**Семестр 7**

**Текущий контроль**

**1. Лабораторные работы**

Темы 1, 2, 3, 4, 5

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.

### 2. Устный опрос

Темы 1, 2, 3, 4, 5

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?



### 3. Письменное домашнее задание

Темы 1, 2, 3, 4, 5

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.

#### Экзамен

Вопросы к экзамену:

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. Трёхмерный 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. Трёхмерные 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. Четырёхугольные элементы. Линейный, квадратичный, кубичный четырёхугольные элементы. Производные функции формы. Соотношения, определяющие элементы.

#### 6.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

В КФУ действует балльно-рейтинговая система оценки знаний обучающихся. Суммарно по дисциплине (модулю) можно получить максимум 100 баллов за семестр, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов.

Для зачёта:

56 баллов и более - "зачтено".

55 баллов и менее - "не зачтено".

Для экзамена:

86 баллов и более - "отлично".

71-85 баллов - "хорошо".

56-70 баллов - "удовлетворительно".

55 баллов и менее - "неудовлетворительно".

Форма контроля	Процедура оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	Этап	Количество баллов
<b>Семестр 7</b>			
<b>Текущий контроль</b>			
Лабораторные работы	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.	1	30
Устный опрос	Устный опрос проводится на практических занятиях. Обучающиеся выступают с докладами, сообщениями, дополнениями, участвуют в дискуссии, отвечают на вопросы преподавателя. Оценивается уровень домашней подготовки по теме, способность системно и логично излагать материал, анализировать, формулировать собственную позицию, отвечать на дополнительные вопросы.	2	10
Письменное домашнее задание	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.	3	10
<b>Экзамен</b>	Экзамен нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Экзамен проводится в устной или письменной форме по билетам, в которых содержатся вопросы (задания) по всем темам курса. Обучающемуся даётся время на подготовку. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.		50

### 7. Перечень 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 и предоставленных доступов НЧИ КФУ;

- в печатном виде - в фонде библиотеки Набережночелнинского института (филиала) 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 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) 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 Набережночелнинского института (филиала) 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/>

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

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

Вид работ	Методические рекомендации
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. Причем 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> <p>В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся работают на следующих платформах и ресурсах: в команде "Microsoft Teams" и/или в Виртуальной аудитории ИАС КФУ. Лекции проводятся в режиме видеособрания в соответствии с расписанием.</p>
лабораторные работы	<p>Лабораторные занятия проводятся в компьютерном классе. Задания по лабораторным работам, рекомендации по их выполнению и примеры выполнения находятся в соответствующих методических материалах.</p> <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>* предоставить отчет о выполнении работы, включающий постановку решаемой задачи (модель динамического программирования) и подробное описание процесса решения;</li> <li>- для лабораторных работ, по которым предусмотрено создание программ;</li> <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> <p>В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах: в команде "Microsoft Teams" и/или в Виртуальной аудитории ИАС КФУ. Задания к лабораторным работам размещаются на вкладке Задания канала Общий в соответствующей команде "Microsoft Teams".</p>
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: - текущие консультации; - разбор и проработка основных приемов работы и способов решения задач по дисциплине. Внеаудиторная СРС по дисциплине: - проработка и усвоение теоретического материала на базе рекомендованной преподавателем учебной литературы (включая электронные библиотеки и др.); - подготовка к лабораторным работам (изучение образцов выполнения заданий, разобранных примеров решения некоторых задач и др.); - оформление отчетов по лабораторным работам; - подготовка к устному опросу; - подготовка к контрольной работе; - подготовка к экзамену.</p> <p>В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся работают на следующих платформах и ресурсах: в команде "Microsoft Teams" и/или в Виртуальной аудитории ИАС КФУ. Все необходимые для самостоятельной работы учебно-методические материалы, учебники, учебные пособия, обучающие видеоролики размещаются на вкладке Файлы канала Общий в соответствующей команде "Microsoft Teams".</p>

Вид работ	Методические рекомендации
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> <p>В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся работают на следующих платформах и ресурсах: в команде "Microsoft Teams" и/или в Виртуальной аудитории ИАС КФУ. Устный опрос проводится в режиме видеособрания.</p>
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> <li>11. Проверка оформления списка литературы.</li> <li>12. Редакторская правка текста.</li> <li>13. Оформление реферата и проверка текста с точки зрения грамотности и стилистики.</li> </ol> <p>В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах: в команде "Microsoft Teams" и/или в Виртуальной аудитории ИАС КФУ. Домашние задания размещаются на вкладке Задания канала Общий в соответствующей команде "Microsoft Teams".</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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Литература для подготовки к экзамену рекомендуется преподавателем. Она также может быть указана в программе курса и учебно-методических пособиях.</p> <p>В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся работают на следующих платформах и ресурсах: в команде "Microsoft Teams" и/или в Виртуальной аудитории ИАС КФУ. Экзамен проводится в режиме видеособрания в соответствии с расписанием.</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 (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Компьютерный класс.

## **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 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.01.02 Метод конечных элементов

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

Направление подготовки: 01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Профиль подготовки:

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2020

**Основная литература:**

1. Бахвалов Н. С. Численные методы : учебник / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. - 9-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2020. - 636 с. - ISBN 978-5-00101-836-0. - URL: <https://e.lanbook.com/book/126099> (дата обращения: 06.08.2020). - Текст : электронный.
2. Демидович Б. П. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения : учебное пособие / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова. - 5-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 400 с. - ISBN 978-5-8114-0799-6. - URL: <https://e.lanbook.com/book/167810> (дата обращения: 13.05.2021). - Текст : электронный.
3. Даутов Р.З. Программная реализация метода конечных элементов в MATLAB : учебное пособие / Р.З. Даутов. - Казань : КФУ, 2014. - 106 с. - ISBN 978-5-00019-313-6. - URL: <https://e.lanbook.com/book/72805> (дата обращения: 15.07.2020). - Текст : электронный.

**Дополнительная литература:**

1. Мишенков Г.В. Метод конечных элементов в курсе сопротивления материалов : учебное пособие / Г.В. Мишенков, Ю.Н. Самогин, В.П. Чирков ; под ред. В.П. Чиркова. - Москва : Физматлит, 2015. - 472 с. - ISBN 978-5-9221-1615-2. - URL: <https://e.lanbook.com/book/71992> (дата обращения: 15.07.2020). - Текст : электронный.
2. Трушин С.И. Метод конечных элементов. Теория и задачи : учебное пособие / С.И. Трушин. - Москва : Издательство АСВ, 2008. - 256 с. - ISBN 978-5-93093-539-9. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930935399.html> (дата обращения: 15.07.2020). - Текст : электронный.
3. Трушин С.И. Строительная механика: метод конечных элементов : учебное пособие / С.И. Трушин. - Москва : ИНФРА-М, 2019. - 305 с. + Доп. материалы. - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-011428-6. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/1032990> (дата обращения: 15.07.2020). - Текст : электронный.
4. Присекин В.Л. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел : учебник / В.Л. Присекин, Г.И. Расторгуев. - Новосибирск : НГТУ, 2010. - 238 с. - ISBN 978-5-7782-1287-9. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/548237> (дата обращения: 13.05.2021). - Текст : электронный.



Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.01.02 Метод конечных элементов

**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:

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2020

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

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.