

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**СТАРООСКОЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. А.А. УГАРОВА**  
 (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения  
 высшего образования  
 «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»  
 (СТИ НИТУ «МИСиС»)

**СОГЛАСОВАНО**

Руководитель ОПОП ВО

 Макаров А.В.  
 «19» июня 2020 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Зам. директора по НИИ  
 СТИ НИТУ «МИСиС»

 Кожухов А.А.  
 «19» июня 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Конечно-элементный анализ в технических системах**

Закрепленная кафедра

**Технологии и оборудование в металлургии и  
 машиностроений им. В.Б. Крахта**

Учебный план

на 2020-2021 учебный год по направлению подготовки

Направление подготовки

**15.06.01 Машиностроение**

Направленность (профиль) ОПОП

**Машины, агрегаты и процессы (металлургия)**

Квалификация

**«Исследователь. Преподаватель-исследователь»**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**5 з.е.**

Часов по учебному плану

180

Формы контроля: экзамен

аудиторные занятия

24

самостоятельная работа

120

часов на контроль

36

Семестр(ы) изучения

3

**Распределение часов дисциплины по курсам**

Семестр	3		Итого
Вид занятий	УП	РП	
Лекции			
Практические	24	24	24
Итого ауд.	24	24	24
Самостоятельная работа	120	120	120
Часы на контроль	36	36	36
<b>Итого:</b>	<b>180</b>	<b>180</b>	<b>180</b>

## Лист согласования рабочей программы дисциплины

Рабочая программа разработана:  
Должность

Кабулова Евгения Георгиевна

доцент, кандидат технических наук, доцент  
*а также уч.ст., уч.зв. – при наличии*

  
\_\_\_\_\_ *подпись*

Рабочая программа дисциплины «Конечно-элементный анализ в технических системах» разработана в соответствии с ОС ВО НИТУ «МИСиС»:

Образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки  
15.06.01 Машиностроение  
*код, наименование*

(утвержден приказом НИТУ «МИСиС» от «02» декабря 2015 г. №602 о.в.)

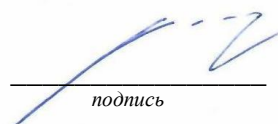
на основании учебного плана на 2020- 2021 учебный год по направлению подготовки (специальности)

15.06.01 Машиностроение, Машины, агрегаты и процессы (металлургия),  
*код и наименование направления подготовки (специальности), наименование направленности (профиля) ОПОП ВО*

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
Технологии и оборудование в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта  
*наименование кафедры*

Протокол от «11» июня 2020 г. № 6.

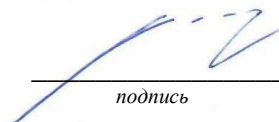
Заведующий кафедрой ТОММ  
*аббревиатура наименования кафедры*

  
\_\_\_\_\_ *подпись*

А.В. Макаров  
*И.О. Фамилия*

«11» июня 2020 г.

Руководитель ОПОП ВО  
заведующий кафедрой ТОММ,  
кандидат технических наук, доцент  
*должность, уч.ст., уч.зв.*

  
\_\_\_\_\_ *подпись*

А.В. Макаров  
*И.О. Фамилия*

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. **Целью освоения дисциплины** является получение навыков применения конечно-элементного подхода к решению дифференциальных уравнений механики сплошной среды в заданной области с определенными граничными условиями.

1.2. **Задачи освоения дисциплины** ознакомление с базовыми понятиями теории математического моделирования, со способами постановки физических задач, разработки численных алгоритмов для их решения на компьютере с помощью пакетов прикладных программ, реализующих метод конечных элементов, а также для программной реализации на языках Си и Си++. Изучение математических основ метода конечных элементов – триангуляции расчетной области, конструирования базисных функций, алгоритмам решения.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1 Учебная дисциплина «Конечно-элементный анализ в технических системах» (Б1.В.ДВ.01.01) включена в вариативную часть Блока 1 «Дисциплины (модули)» ОПОП.

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины необходимы следующие знания, умения и навыки, сформированные при изучении образовательной программы высшего образования уровня специалитета, магистратуры:

**Знания:** случайных величин дискретного и непрерывного типов; функций распределения; математического ожидания; дисперсии; среднего квадратичного отклонения.

**Умения:** определять функциональные зависимости плотности распределения, математического ожидания, дисперсии и среднего квадратического отклонения случайной величины.

**Навыки:** владения методикой и математико-статистическим аппаратом для выявления существенных факторов.

2.3. **Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:**

- Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности (научно-исследовательская практика);
- Научно-исследовательская деятельность и подготовка научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук;
- Представление научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации);
- Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ОС НИТУ «МИСиС» и ОПОП ВО по данному направлению подготовки:

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ
ОПК-1.1 Способность научно обоснованно оценивать новые решения в области построения и моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования, а также средств технологического оснащения производства

Знать:	алгоритм построения математических моделей машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования, средств технологического оснащения производства
Уметь:	применять методы планирования эксперимента, анализа и оптимизации математических моделей для математического моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования, а также средств технологического оснащения производства
Владеть:	навыками построения и анализа математических моделей машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования, средств технологического оснащения производства
ОПК-2.1 Способность формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники	
Знать:	методику решения нетиповых задач в области математического моделирования технических систем и объектов
Уметь:	применять методы математического моделирования для решения нетиповых задач математического, физического, конструкторского, технологического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники
Владеть:	навыками планирования эксперимента и составления математических моделей при решении нетиповых задач математического, физического, конструкторского, технологического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники
ПК-1.1Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области машиностроения с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	
Знать:	современные методы исследования в профессиональной области
Уметь:	осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области машиностроения с использованием информационно-коммуникационных технологий
Владеть:	навыками использования современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
ПК-2.1 Готовность к преподавательской деятельности по образовательным программам высшего образования по УГСН 15.00.00 Машиностроение	
Знать:	методы построения математических моделей машиностроительных изделий и процессов
Уметь:	формулировать и излагать материалы в рамках проведения аудиторных занятий по разделам преподаваемой дисциплины
Владеть:	навыками построения математических моделей, анализа и обработки экспериментальных результатов в области машиностроения для ведения преподавательской деятельности

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость освоения дисциплины «Конечно-элементный анализ в технических системах» составляет 5 зачетные единицы (з.е.) или 180 академических часов, в том числе 24 часа аудиторных занятий и 120 часов самостоятельной работы.

**Таблица 1. Структура и содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование радела, темы	Семестр	Контактная рабо- та (в часах)			Самостоят. работа	Код компетенции	Формы теку- щего контроля успеваемости (по темам)
			Л	ПЗ	ЛР			Форма проме- жуточной атте- стации (по се- местрам)
1	Основная концеп- ция метода конеч- ных элементов. Метод конечных элементов в одно- мерных задачах. Слабое и сильное решения. Финит- ные и базисные функции. Есте- ственные и глав- ные краевые усло- вия. Метод конеч- ных элементов в двумерном случае. Задача Дирихле для уравнений Лапласа. Слабое решение. Постро- ение приближен- ного решения ме- тодом конечных элементов. Интер- поляция кусочно- линейными функ- циями. Нумерация узлов. Индексация узлов и формиро- вание таблицы входных данных. Симплекс элемен- ты. Одномерный симплекс-элемент. Локальная систе- ма координат. Разбиение расчет- ной области на конечные элемен- ты. Включение отдельного конеч- ного элемента в исследуемую об-	3		8		40	ОПК-1.1 ОПК-2.1 ПК-1.1 ПК-2.1	Устный опрос Защита прак- тических работ №1-2

	ласть. Аппроксимация искомой функции в конечном элементе. Решение некоторых краевых задач при помощи метод конечных элементов. Решение задачи переноса тепла в стержне помощью метода конечных элементов. Элементы высокого порядка.							
2	Метод Галеркина. Конечно-элементный метод Галеркина решения краевых задач. Основные этапы решения двумерных стационарных задач с помощью метода конечных элементов на основе метода Галеркина.	3		6		30	ОПК-1.1 ОПК-2.1 ПК-1.1 ПК-2.1	Устный опрос. Защита практической работы №3
3	Применение метода конечных элементов для решения стационарных задач	3		10		30	ОПК-1.1 ОПК-2.1 ПК-1.1 ПК-2.1	Устный опрос. Защита практической работы №4-5. Защита домашнего задания
4	Программная реализация метода конечных элементов. Применение систем автоматизированного проектирования для построения твердотельных моделей.	3				20	ОПК-1.1 ОПК-2.1 ПК-1.1 ПК-2.1	Устный опрос. Защита домашнего задания.
<b>ИТОГО</b>				<b>24</b>		<b>120</b>	ОПК-1.1 ОПК-2.1 ПК-1.1 ПК-2.1	<b>Экзамен</b>

Примечание: Условные обозначения: Л – занятия лекционного типа; ПЗ – практические занятия, ЛР – лабораторные работы; СР – самостоятельная работа по отдельным темам

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

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «Конечно-элементный анализ в технических системах» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным освоением дисциплин и прохождением практик, а в процессе освоения дисциплины – последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой разделов, тем.

### **5.1. Контрольные вопросы для самостоятельной подготовки к промежуточной аттестации по итогам изучения дисциплины**

#### **Вопросы к экзамену**

1. Основная концепция и преимущества метода конечных элементов. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
2. Метод конечных элементов в одномерных задачах. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
3. Слабое и сильное решения. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
4. Финитные и базисные функции. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
5. Естественные и главные краевые условия. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
6. Метод конечных элементов в двумерном случае. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
7. Задача Дирихле для уравнений Лапласа. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
8. Слабое решение. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
9. Построение приближенного решения методом конечных элементов. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
10. Интерполяция кусочно-линейными функциями. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
11. Нумерация узлов. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
12. Разбиение расчетной области на конечные элементы. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
13. Постановка краевой задачи для уравнения Пуассона. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
14. Краткая характеристика методов решения краевой задачи. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
15. Симплекс элементы. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
16. Базовый каталог конечных элементов. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
17. Дискретизация области на элементы. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
18. Одномерный симплекс-элемент. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
19. Индексация узлов и формирование таблицы входных данных. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
20. Аппроксимация искомой функции в конечном элементе. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
21. Локальная система координат. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
22. Включение отдельного конечного элемента в исследуемую область. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
23. Решение краевых задач при помощи метода конечных элементов. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
24. Метод конечных элементов для задач теории упругости. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
25. Решение задачи переноса тепла в стержне помощью метода конечных элементов. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)

26. Обобщенное решение краевой задачи методом Галеркина для элементного вклада. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
27. Геометрические аспекты метода конечных элементов. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
28. Формирование геометрической части таблицы входных данных. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
29. Получение базисных функций для элемента из базисного каталога элементов. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
30. Методы нахождения базисных функций. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
31. Свойства как критерии правильности нахождения базисных функций. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
32. Матричное представление элементного вклада. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
33. Формирование глобальных матриц из сокращенных матриц элементов. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
34. Найдите выражения для стандартизованных матриц элемента в различных системах координат. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
35. Расчетные формулы для средних объемной и поверхностных температур одного из элементов базового каталога по их узловым значениям. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
36. Решение системы динамических уравнений в рамках метода конечных элементов. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)
37. Уравнение теплопроводности в обобщенной криволинейной системе координат. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)

### Практические задания к экзамену

1. Пусть дано уравнение (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)

$$\operatorname{div} \kappa \nabla u = f(x, y), (x, y) \in D.$$

Граничные условия имеют вид:

$$\alpha \frac{\partial u}{\partial n} + \beta u = g(x, y), (x, y) \in \partial D.$$

Записать слабую формулировку задачи.

2. Пусть дано уравнение (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)

$$D = [0, a] \times [0, b], \quad f(x, y) = \sin x \cos y, \quad \alpha = 1, \quad \beta = 4xy,$$

$$g(x, y) = 1, \quad \varphi(x, y) = \sin 4x \sin 3y, \quad \kappa(x, y) = 2 + \sin xy.$$

Написать последовательность операторов для задания границ области.

3. Пусть дано уравнение (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)

$$D = [0, a] \times [0, b], \quad f(x, y) = \sin x \cos y, \quad \alpha = 1, \quad \beta = 4xy,$$

$$g(x, y) = 1, \quad \varphi(x, y) = \sin 4x \sin 3y, \quad \kappa(x, y) = 2 + \sin xy.$$

Написать последовательность операторов, строящих триангуляцию.

4. Пусть дано уравнение (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)

$$D = [0, a] \times [0, b], \quad f(x, y) = \sin x \cos y, \quad \alpha = 1, \quad \beta = 4xy,$$

$$g(x, y) = 1, \quad \varphi(x, y) = \sin 4x \sin 3y, \quad \kappa(x, y) = 2 + \sin xy.$$

Записать последовательность операторов, задающих пространство конечных элементов.

5. Пусть дано уравнение (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)

$$D = [0, a] \times [0, b], \quad f(x, y) = \sin x \cos y, \quad \alpha = 1, \quad \beta = 4xy,$$



$$g(x, y) = 1, \varphi(x, y) = \sin 4x \sin 3y, \kappa(x, y) = 2 + \sin xy.$$

Определить на пространстве конечных элементов необходимые для решения функции.

6. Пусть дано уравнение (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)

$$u_t + \operatorname{div}(-\kappa \nabla u) = f(x, y, t), (x, y) \in D.$$

Граничные условия имеют вид:

$$\alpha \frac{\partial u}{\partial n} + \beta u = g(x, y), (x, y) \in \partial D.$$

Начальное условие имеет вид:

$$u(x, y, 0) = \varphi(x, y), (x, y) \in D.$$

$$D = [0, a] \times [0, b], f(x, y, t) = e^{-t} \sin x \cos y, \alpha = 1, \beta = xy,$$

$$g(x, y) = 0, \varphi(x, y) = \sin 3x \sin 4y, \kappa(x, y) = 1 + 0,1xy.$$

Записать слабую формулировку задачи.

7. Пусть дано уравнение (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)

$$u_t + \operatorname{div}(-\kappa \nabla u) = f(x, y, t), (x, y) \in D.$$

Граничные условия имеют вид:

$$\alpha \frac{\partial u}{\partial n} + \beta u = g(x, y), (x, y) \in \partial D.$$

Начальное условие имеет вид:

$$u(x, y, 0) = \varphi(x, y), (x, y) \in D.$$

$$D = [0, a] \times [0, b], f(x, y, t) = e^{-t} \sin x \cos y, \alpha = 1, \beta = xy,$$

$$g(x, y) = 0, \varphi(x, y) = \sin 3x \sin 4y, \kappa(x, y) = 1 + 0,1xy.$$

Написать последовательность операторов для задания границ области.

8. Пусть дано уравнение (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)

$$u_t + \operatorname{div}(-\kappa \nabla u) = f(x, y, t), (x, y) \in D.$$

Граничные условия имеют вид:

$$\alpha \frac{\partial u}{\partial n} + \beta u = g(x, y), (x, y) \in \partial D.$$

Начальное условие имеет вид:

$$u(x, y, 0) = \varphi(x, y), (x, y) \in D.$$

$$D = [0, a] \times [0, b], f(x, y, t) = e^{-t} \sin x \cos y, \alpha = 1, \beta = xy,$$

$$g(x, y) = 0, \varphi(x, y) = \sin 3x \sin 4y, \kappa(x, y) = 1 + 0,1xy.$$

Написать последовательность операторов, строящих триангуляцию.

9. Пусть дано уравнение (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)

$$u_t + \operatorname{div}(-\kappa \nabla u) = f(x, y, t), (x, y) \in D.$$

Граничные условия имеют вид:

$$\alpha \frac{\partial u}{\partial n} + \beta u = g(x, y), (x, y) \in \partial D.$$

Начальное условие имеет вид:

$$u(x, y, 0) = \varphi(x, y), (x, y) \in D.$$

$$D = [0, a] \times [0, b], f(x, y, t) = e^{-t} \sin x \cos y, \alpha = 1, \beta = xy,$$

$$g(x, y) = 0, \varphi(x, y) = \sin 3x \sin 4y, \kappa(x, y) = 1 + 0,1xy.$$

Записать последовательность операторов, задающих пространство конечных элементов.

10. Написать фрагмент кода на языке Си++ или Си, реализующий задание границы области в случае правильного шестиугольника и построение сетки. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)

11. Написать фрагмент кода на языках Си++ или Си, реализующий визуализацию векторного поля в заранее заданной части области. (ОПК-1.1, ОПК-2.1, ПК-1.1, ПК-2.1)

## 5.2. Перечень работ, выполняемых в процессе изучения дисциплины:

Практические занятия:

Практическое занятие №1. Системы базисных функций.

Практическое занятие №2. Весовые функции.

Практическое занятие №3. Конечно-элементный метод Галеркина решения краевых задач.

Практическое занятие №4. Основные этапы решения двумерных стационарных задач с помощью метода конечных элементов на основе метода Галеркина.

Практическое занятие №5. Принципы разбиения плоских областей на конечные элементы

Практическое занятие №6. Аппроксимация линейными многочленами и базисные функции.

Практическое занятие №7. Слабая формулировка конечно-элементного метода Галеркина.

Домашнее задание направлено на самостоятельное решение уравнения Пуассона для заданной функции двух переменных методом конечных элементов в различных расчетных областях. При реализации алгоритмов задания для анализа точности методов необходимо для каждого из них проводить исследование по следующей схеме:

1. Написать постановку задачи – определить для заданной функции;
2. Правую часть уравнения Пуассона и граничные условия на стенках расчетной области;
3. Определить варьируемые параметры метода;
4. Привести программную реализацию на языке Си или Си++ поставленной задачи методом конечных элементов;
5. Провести исследование точности метода конечных элементов при решении поставленной задачи в зависимости от типа граничных условий.

Аспирант сдает программную реализацию каждого из вышеперечисленных методов взвешенных невязок, а также таблицы и графики, демонстрирующие результаты решения метода конечных элементов поставленной задачи (решение уравнения Пуассона). Семестровые задания даются каждому индивидуально.

Создание программной реализации, проведение исследования точности метода. Ниже приведены примеры функций, являющихся точным решением уравнения Пуассона в квадратной области с заданными граничными условиями, рекомендуемых для решения в рамках выполнения семестрового задания.

$$1. u = xy^2, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1.$$

$$2. u = x^2 + y^2, -1 \leq x \leq 1, -1 \leq y \leq 1.$$

$$3. u = 2xy^2 - 4x, -5 \leq x \leq 3, 4 \leq y \leq 6.$$

$$4. u = \sin x + y^2, -\pi \leq x \leq \pi, 0 \leq y \leq 1.$$

### 5.3. Оценочные материалы (оценочные средства), используемые для экзамена

По дисциплине предусмотрен экзамен. Экзаменационный билет состоит из 3 вопросов. Типовые вопросы экзамена приведены в вопросах самоподготовки.

Вопрос 1 – из перечня вопросов 1-19 самостоятельной подготовки к экзамену.

Вопрос 2 – из перечня вопросов 20-37 самостоятельной подготовки к экзамену.

Вопрос 3 – из перечня практических заданий для подготовки к экзамену.

### 5.4. Методика оценки результатов обучения по дисциплине «Конечно-элементный анализ в технических системах»

Таблица 2. Показатели оценивания результатов обучения в виде знаний

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

Таблица 3. Показатели оценивания результатов обучения в виде умений и владений

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

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) Основная литература:

Обозначение	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л 1.1	Наседкин А.В., Наседкина А.А.	Моделирование связанных задач: математические постановки и конечно-элементные технологии: учебное пособие	ЭБС Университетская библиотека ONLINE Режим доступа: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=577955">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=577955</a>	Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет, 2019.
Л 1.2	Галанин М.П., Савенков Е.Б.	Методы численного анализа математических моделей	НТБ СТИ НИТУ «МИСиС»	М.: МГТУ им. Н.Э Баумана, 2010.
Л 1.3	Жилкин В.А.	Введение в метод конечного элемента: учебное пособие	ЭБС Университетская библиотека ONLINE Режим доступа: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=565839">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=565839</a>	Санкт-Петербург: Проспект Науки, 2014.

### б) Дополнительная литература:

Обозначение	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л 1.1	Барботько А.И., Гладышкин А.О.	Основы теории математического моделирования	НТБ СТИ НИТУ «МИСиС»	Старый Оскол: ТНТ, 2008.
Л 1.2	Бахвалов Н.С. , Жидков Н.П. , Кобельков Г.М.	Численные методы: учебное пособие	ЭБС Университетская библиотека ONLINE Режим доступа: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=566895">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=566895</a>	Москва: Лаборатория знаний, 2020.
Л 1.3	Радин В.П. , Самогин Ю.Н., Чирков В.П.	Метод конечных элементов в динамических задачах сопротивления материалов : учебное пособие :	ЭБС Университетская библиотека ONLINE Режим доступа: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=275558">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=275558</a> .	Москва: Физматлит, 2013.
Л 1.4	Васильев Ф.П.	Методы оптимизации: учебник. Ч. 1. Конечномерные задачи оптимизации. Принцип максимума. Динамическое программирование.	ЭБС Университетская библиотека ONLINE Режим доступа: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=63313">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=63313</a>	Москва: МЦНМО, 2011.

в) Перечень методических материалов, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», программного обеспечения и информационных справочных систем и профессиональных баз данных, необходимый для освоения дисциплины

Обозначение	Авторы, со- ставители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
ЛЗ.1	Кабулова Е.Г., Титова А.П.	Конечно-элементный анализ в технических системах: Методиче- ские указания к прак- тическим занятиям и выполнению домаш- него задания	НТБ СТИ НИТУ «МИСиС»	Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2020. – 36 с.
Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»				
Э1	Метод конечных элементов. Применение в инженерной практике. <a href="https://www.youtube.com/watch?v=DMWH_oPfNVM">https://www.youtube.com/watch?v=DMWH_oPfNVM</a>			
Э2	Метод конечных элементов. Основы. <a href="https://www.youtube.com/watch?v=aa4cjQI4B3Q">https://www.youtube.com/watch?v=aa4cjQI4B3Q</a>			
Э3	Метод конечных элементов. Задача теплопроводности. <a href="https://www.youtube.com/watch?v=MRknrVlwF4Y">https://www.youtube.com/watch?v=MRknrVlwF4Y</a>			
Э4	Решение краевых задач методом конечных разностей. <a href="https://www.youtube.com/watch?v=1IHyaYHi7eo">https://www.youtube.com/watch?v=1IHyaYHi7eo</a>			
Э5	Метод Галеркина <a href="https://www.youtube.com/watch?v=TogWb27rxJ8">https://www.youtube.com/watch?v=TogWb27rxJ8</a>			
Э6	Основы методов конечных элементов и простейшая разностная схема <a href="https://www.youtube.com/watch?v=ieLiVVeeib8">https://www.youtube.com/watch?v=ieLiVVeeib8</a>			
Перечень программного обеспечения				
П1	Microsoft Windows			
П2	Microsoft Office			
П3	Turbo Pascal (онлайн компилятор)			
П4	Dev C++ (онлайн компилятор)			
Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных				
И1	Справочно-правовая система «Консультант Плюс»			
И2	Электронная библиотека НИТУ «МИСиС». Доступ: <a href="http://elibrary.misis.ru">http://elibrary.misis.ru</a>			
И3	Электронная библиотечная система «Университетская библиотека» ONLINE. Доступ <a href="https://biblioclub.ru/">https://biblioclub.ru/</a>			
И4	Электронно-библиотечная система «IPR BOOKS». Доступ: <a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>			
И5	Научная электронная библиотека «eLIBRARY.RU». Доступ: <a href="https://elibrary.ru">https://elibrary.ru</a>			

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Аудитория №213 (309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон Макаренко, дом 40б)

Лаборатория эконометрических и статистических исследований

Перечень основного оборудования, учебно-наглядных пособий:

- комплект мебели для преподавателя,
- комплект мебели для обучающихся на 25 посадочных мест,
- доска аудиторная,
- компьютер-моноблок – 10 шт.,

- компьютер,
- проектор,
- экран настенный.

Программное обеспечение:

- Microsoft Windows,
- Microsoft Office,
- Kaspersky Endpoint Security,
- Linux mint,
- Liber Office,
- Turbo Pascal (онлайн компилятор),
- Dev C++ (онлайн компилятор).

## 2. Помещение для самостоятельной работы

Аудитория №107 (309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон Макаренко, дом 3а).

Лаборатория САПР

Перечень основного оборудования, учебно-наглядных пособий:

- комплект мебели для преподавателя,
- комплект мебели для обучающихся на 24 посадочных мест,
- доска аудиторная,
- компьютер – 8 шт.,
- проектор,
- экран настенно-потолочный.

Программное обеспечение:

- Microsoft Windows,
- Microsoft Office,
- КОМПАС-3D,
- ANSYS,
- интерактивная мультимедийная учебная система SYMPlus,
- Kaspersky Endpoint Security.

В помещении для самостоятельной работы обучающихся имеется подключение к сети «Интернет» и доступ в электронную информационно-образовательную среду организации.

При необходимости рабочая программа дисциплины (модуля) может быть адаптирована для обеспечения образовательного процесса инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе для обучения с применением дистанционных образовательных технологий. Для этого требуется заявление аспиранта (его законного представителя) и заключение психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК).

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Для лучшего усвоения и закрепления основных теоретических приложений изучаемого курса предусмотрено проведение практических занятий. Необходимым условием успешного участия в практических занятиях является самостоятельная подготовка обучающихся.

Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе обучающегося. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации.

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется и контролируется с помощью:

- вопросов для самоконтроля;
- защиты домашних заданий;
- защиты практических работ.