

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

Первый заместитель директора
НЧИ КФУ Симонова Л. А.



_____ 20__ г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Численные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных Б1.В.ДВ.01.01

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: 2019

Автор(ы): Карабцев В.С.

Рецензент(ы): Симонова Л.А.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Карабцев В. С.

Протокол заседания кафедры No ____ от " ____ " _____ 20__ г.

Учебно-методическая комиссия Высшей инженерной школы (Отделение информационных технологий и энергетических систем) (Набережночелнинский институт (филиал)):

Протокол заседания УМК No ____ от " ____ " _____ 20__ г.

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования
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
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 основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
 - 7.1. Основная литература
 - 7.2. Дополнительная литература
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 к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Карабцев В.С. (Кафедра системного анализа и информатики, Отделение информационных технологий и энергетических систем), VSKarabcev@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
ПК-2	Способен понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат

Выпускник, освоивший дисциплину:

Должен знать:

- методы оценки погрешности вычислительных методов и алгоритмов; функций;
- методы аппроксимации, численного дифференцирования и интегрирования таблично заданных функций;
- методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений;
- методы решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений

Должен уметь:

- использовать математические методы для решения прикладных задач системного анализа и управления;
- решать задачи вычислительной математики с применением пакетов для научных и инженерных расчетов;
- применять полученные знания на практике

Должен владеть:

- разработки алгоритмов для реализации методов вычислительной математики;
- использования инструментальных средств систем компьютерной математики;
- применения вычислительных методов при решении прикладных задач;
- работы со справочной документацией

Должен демонстрировать способность и готовность:

Способность использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой

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

Способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.01.01 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. Введение в дисциплину. Методы дискретизации дифференциальных задач.	7	2	0	8	20
2.	Тема 2. Основные понятия теории разностных схем.	7	4	0	8	20
3.	Тема 3. Разностные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений.	7	6	0	8	18
4.	Тема 4. Численные методы решения двумерных разностных задач.	7	4	0	8	18
5.	Тема 5. Численные методы решения трехмерных разностных задач.	7	2	0	4	14
	Итого		18	0	36	90

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Введение в дисциплину. Методы дискретизации дифференциальных задач.

Основные понятия дискретного представления математических задач: сетка, размерность сетки, граничные и внутренние узлы сетки, шаг сетки, сеточная функция, разностные уравнения. Дискретизация области определения и пространства функций непрерывного аргумента и аппроксимация дифференциальных уравнений алгебраическими уравнениями. Понятие о погрешности аппроксимации дифференциальных задач, сеточных уравнений и вычисления сеточных функций

Конечно-разностные методы. Методы аппроксимации производных. Оценка погрешности и порядка погрешности аппроксимации. Сеточные шаблоны для аппроксимации частных производных. Слойная структура разностной схемы.

Системы алгебраических уравнений для неизвестных значений сеточной функции, полученные с помощью разностных схем. Основные прямые и итерационные методы решения сеточных уравнений. Безматричные итерационные методы.

Тема 2. Основные понятия теории разностных схем.

Явные разностные схемы и неявные разностные схемы. Правая разностная схема первого порядка. Левая разностная схема первого порядка. Центральная разностная схема первого порядка. Разностная схема второго порядка. Понятие о порядке точности разностных схем и аппроксимации разностных схем. Понятие об устойчивости разностных схем. Сходимость решений разностных уравнений. Понятие о консервативности разностных схем.

Тема 3. Разностные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений.

Понятие дифференциального уравнения. Краевые условия дифференциальных уравнений. Начальные условия дифференциальных уравнений. Задача Коши для дифференциального уравнения первого порядка (ОДУ-1). Сведение решения ОДУ- n к решению системы n ОДУ-1. Решение краевых задач для дифференциального уравнения второго порядка. Вычисление значений сеточной функции методом прогонки. Итерационный метод установления.

Тема 4. Численные методы решения двумерных разностных задач.

Явная разностная схема. Алгоритмы решения по явной разностной схеме. Устойчивость явной разностной схемы. Сходимость явной разностной схемы. Неявная разностная схема: схема расщепления, схема переменных направлений, схема предиктор-корректор. Использование граничных и начальных условий при решении задач. Методы решения сеточных уравнений. Устойчивость неявной разностной схемы. Сходимость неявной разностной схемы.

Тема 5. Численные методы решения трехмерных разностных задач.

Понятия о методах снижения размерности разностных задач. Метод искусственной сжимаемости. Устойчивость метода искусственной сжимаемости. Сходимость метода искусственной сжимаемости. Метод расщепления по физическим процессам. Устойчивость метода расщепления по физическим процессам. Сходимость метода расщепления по физическим процессам. Примеры применения различных методов и сравнительный анализ результатов.

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".

Положение от 29 декабря 2018 г. № 0.1.1.67-08/328 "О порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Положение № 0.1.1.67-06/241/15 от 14 декабря 2015 г. "О формировании фонда оценочных средств для проведения текущей, промежуточной и итоговой аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Положение № 0.1.1.56-06/54/11 от 26 октября 2011 г. "Об электронных образовательных ресурсах федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Регламент № 0.1.1.67-06/66/16 от 30 марта 2016 г. "Разработки, регистрации, подготовки к использованию в учебном процессе и удаления электронных образовательных ресурсов в системе электронного обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Регламент № 0.1.1.67-06/11/16 от 25 января 2016 г. "О балльно-рейтинговой системе оценки знаний обучающихся в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Регламент № 0.1.1.67-06/91/13 от 21 июня 2013 г. "О порядке разработки и выпуска учебных изданий в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

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
Семестр 7			
	<i>Текущий контроль</i>		
1	Лабораторные работы	ПК-2	3. Разностные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. 4. Численные методы решения двумерных разностных задач. 5. Численные методы решения трехмерных разностных задач.
2	Устный опрос	ПК-2	1. Введение в дисциплину. Методы дискретизации дифференциальных задач. 2. Основные понятия теории разностных схем. 3. Разностные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. 4. Численные методы решения двумерных разностных задач. 5. Численные методы решения трехмерных разностных задач.

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
3	Проверка практических навыков	ПК-2	1. Введение в дисциплину. Методы дискретизации дифференциальных задач. 2. Основные понятия теории разностных схем. 3. Разностные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. 4. Численные методы решения двумерных разностных задач. 5. Численные методы решения трехмерных разностных задач.
	Экзамен	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.	
Семестр 7					
Текущий контроль					
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
Проверка практических навыков	Продемонстрирован высокий уровень освоения навыков, достаточный для успешного решения задач профессиональной деятельности.	Продемонстрирован хороший уровень освоения навыков, достаточный для решения большей части задач профессиональной деятельности.	Продемонстрирован удовлетворительный уровень освоения навыков, достаточный для решения отдельных задач профессиональной деятельности.	Продемонстрирован неудовлетворительный уровень освоения навыков, недостаточный для решения задач профессиональной деятельности.	3

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
Экзамен	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 3, 4, 5

Лабораторная работа ♦ 1. Решение задачи Коши методом ломаных Эйлера

Лабораторная работа ♦ 2. Решение задачи Коши методом Рунге-Кутты

Лабораторная работа ♦ 3. Решение задачи Коши двухшаговым методом Адамса

Лабораторная работа ♦ 4. Исследование численных методов решения дифференциальных уравнений с помощью разностных схем.

Лабораторная работа ♦ 5. Решение краевой задачи второго порядка методом стрельбы

Лабораторная работа ♦ 6. Решение краевой задачи методом Галеркина

Лабораторная работа ♦ 7. Решение краевой задачи методом наименьших квадратов

Лабораторная работа ♦ 8. Исследование сходимости методов решения краевых задач

Лабораторная работа ♦ 9. Решение двумерной задачи второго порядка разными методами: явными и неявными и проведение сравнительного анализа

Лабораторная работа ♦ 10. Исследование методов численного решения трехмерной задачи

2. Устный опрос

Темы 1, 2, 3, 4, 5

1. Классификация дифференциальных уравнений в частных производных 2-го порядка

2. Начальные и граничные условия

3. Классификация граничных условий

4. Аппроксимация простейших дифференциальных операторов

5. Разностная аппроксимация производной первого порядка

6. Понятие порядка аппроксимации

7. Разностная аппроксимация производной второго порядка

8. Аппроксимация дифференциальных уравнений

9. Понятие разностной сетки

10. Порядок аппроксимации разностной схемы
11. Аппроксимация начальных и граничных условий
12. Понятие устойчивости разностных схем
13. Погрешность решения разностной схемы
14. Необходимое условие устойчивости разностных схем
15. Условная устойчивость явной разностной схемы, аппроксимирующей дифференциальное уравнение параболического типа
16. Абсолютная устойчивость неявной разностной схемы, аппроксимирующей дифференциальное уравнение параболического типа
17. Характеристика явной разностной схемы
18. Метод решения явной разностной схемы
19. Алгоритм решения явной разностной схемы
20. Характеристика неявной разностной схемы
21. Определение прогоночных коэффициентов на 1-м шаге по координате
22. Определение решения на правой границе
23. Метод прогонки - метод решения неявной разностной схемы
24. Алгоритм метода прогонки
25. Разностная схема Кранка-Николсон
26. Вывод разностной схемы Кранка-Николсон
27. Устойчивость разностной схемы Кранка-Николсон
28. Метод решения разностной схемы Кранка-Николсон
29. Исследование устойчивости явной разностной схемы с аппроксимацией производной по координате правой конечной разностью
30. Метод решения сеточных уравнений с аппроксимацией производной по координате правой конечной разностью
31. Исследование устойчивости явная разностной схемы с аппроксимацией производной по координате левой конечной разностью
32. Метод решения с аппроксимацией производной по координате левой конечной разностью
33. Исследование устойчивости неявной разностной схемы с аппроксимацией производной по координате правой конечной разностью
34. Метод решения с аппроксимацией производной по координате правой конечной разностью
35. Исследование устойчивости неявной разностной схемы с аппроксимацией производной по координате левой конечной разностью.
36. Схема расщепления разностной схемы для двумерной задачи параболического типа.
37. Характеристика первой и второй разностной подсхемы для двумерной задачи параболического типа.
38. Алгоритм решения сеточных уравнений для двумерной задачи параболического типа.
39. Схема переменных направлений для двумерной задачи параболического типа.
40. Метод решения двумерной задачи параболического типа с использованием схемы расщепления.
41. Алгоритм решения двумерной задачи параболического типа с использованием схемы расщепления.
42. Метод решения двумерной задачи параболического типа с использованием схемы переменных направлений
43. Разностная сетка для дискретизации трёхмерных задач.
44. Аппроксимация трёхмерных дифференциальных операторов.
45. Явная разностная схема для трёхмерных дифференциальных операторов.
46. Исследование устойчивости явной трёхмерной разностной схемы
47. Метод решения сеточных уравнений для явной трёхмерной разностной схемы
48. Неявная разностная схема для трёхмерных дифференциальных операторов
49. Схема расщепления трёхмерных дифференциальных операторов
50. Метод установления для решения задач эллиптического типа.
51. Метод установления для решения задач эллиптического типа с использованием явной разностной схемы.
52. Алгоритм решения сеточных уравнений при решении задач эллиптического типа.
53. Решение задачи эллиптического типа методом установления с использованием схемы расщепления.
54. Решение задачи эллиптического типа методом установления с использованием схемы переменных направлений.

3. Проверка практических навыков

Темы 1, 2, 3, 4, 5

Основные понятия дискретного представления математических задач: сетка, размерность сетки, граничные и внутренние узлы сетки, шаг сетки, сеточная функция, разностные уравнения. Дискретизация области определения и пространства функций непрерывного аргумента и аппроксимация дифференциальных уравнений алгебраическими уравнениями. Понятие о погрешности аппроксимации дифференциальных задач, сеточных уравнений и вычисления сеточных функций.

Конечно-разностные методы. Методы аппроксимации производных. Оценка погрешности и порядка погрешности аппроксимации. Сеточные шаблоны для аппроксимации частных производных. Слойная структура разностной схемы.

Системы алгебраических уравнений для неизвестных значений сеточной функции, полученные с помощью разностных схем. Основные прямые и итерационные методы решения сеточных уравнений. Безматричные итерационные методы.

Явные и неявные схемы. Понятие о порядке точности и аппроксимации разностных схем. Понятие об устойчивости разностных схем. Сходимость решений разностных уравнений. Понятие о консервативности разностных схем.

Задача Коши для дифференциального уравнения первого порядка (ОДУ-1). Сведение решения ОДУ-н к решению системы n ОДУ-1. Решение краевых задач для дифференциального уравнения второго порядка. Вычисление значений сеточной функции методом прогонки. Итерационный метод установления.

Явная разностная схема. Неявная разностная схема: схема расщепления, схема переменных направлений, схема предиктор-корректор. Методы решения сеточных уравнений.

Понятия о методах снижения размерности разностных задач. Метод искусственной сжимаемости. Метод расщепления по физическим процессам.

Экзамен

Вопросы к экзамену:

1. Классификация дифференциальных уравнений в частных производных 2-го порядка
2. Начальные и граничные условия
3. Классификация граничных условий
4. Аппроксимация простейших дифференциальных операторов
5. Разностная аппроксимация производной первого порядка
6. Понятие порядка аппроксимации
7. Разностная аппроксимация производной второго порядка
8. Аппроксимация дифференциальных уравнений
9. Понятие разностной сетки
10. Порядок аппроксимации разностной схемы
11. Аппроксимация начальных и граничных условий
12. Понятие устойчивости разностных схем
13. Погрешность решения разностной схемы
14. Необходимое условие устойчивости разностных схем
15. Условная устойчивость явной разностной схемы, аппроксимирующей дифференциальное уравнение параболического типа
16. Абсолютная устойчивость неявной разностной схемы, аппроксимирующей дифференциальное уравнение параболического типа
17. Характеристика явной разностной схемы
18. Метод решения явной разностной схемы
19. Алгоритм решения явной разностной схемы
20. Характеристика неявной разностной схемы
21. Определение прогоночных коэффициентов на 1-м шаге по координате
22. Определение решения на правой границе
23. Метод прогонки - метод решения неявной разностной схемы
24. Алгоритм метода прогонки
25. Разностная схема Кранка-Николсон
26. Вывод разностной схемы Кранка-Николсон
27. Устойчивость разностной схемы Кранка-Николсон
28. Метод решения разностной схемы Кранка-Николсон
29. Исследование устойчивости явной разностной схемы с аппроксимацией производной по координате правой конечной разностью
30. Метод решения сеточных уравнений с аппроксимацией производной по координате правой конечной разностью
31. Исследование устойчивости явная разностной схемы с аппроксимацией производной по координате левой конечной разностью
32. Метод решения с аппроксимацией производной по координате левой конечной разностью
33. Исследование устойчивости неявной разностной схемы с аппроксимацией производной по координате правой конечной разностью
34. Метод решения с аппроксимацией производной по координате правой конечной разностью
35. Исследование устойчивости неявной разностной схемы с аппроксимацией производной по координате левой конечной разностью.
36. Схема расщепления разностной схемы для двумерной задачи параболического типа.
37. Характеристика первой и второй разностной подсхемы для двумерной задачи параболического типа.
38. Алгоритм решения сеточных уравнений для двумерной задачи параболического типа.

39. Схема переменных направлений для двумерной задачи параболического типа.
40. Метод решения двумерной задачи параболического типа с использованием схемы расщепления.
41. Алгоритм решения двумерной задачи параболического типа с использованием схемы расщепления.
42. Метод решения двумерной задачи параболического типа с использованием схемы переменных направлений
43. Разностная сетка для дискретизации трёхмерных задач.
44. Аппроксимация трёхмерных дифференциальных операторов.
45. Явная разностная схема для трёхмерных дифференциальных операторов.
46. Исследование устойчивости явной трёхмерной разностной схемы
47. Метод решения сеточных уравнений для явной трёхмерной разностной схемы
48. Неявная разностная схема для трёхмерных дифференциальных операторов
49. Схема расщепления трёхмерных дифференциальных операторов
50. Метод установления для решения задач эллиптического типа.
51. Метод установления для решения задач эллиптического типа с использованием явной разностной схемы.
52. Алгоритм решения сеточных уравнений при решении задач эллиптического типа.
53. Решение задачи эллиптического типа методом установления с использованием схемы расщепления.
54. Решение задачи эллиптического типа методом установления с использованием схемы переменных направлений.

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
Семестр 7			
Текущий контроль			
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
Проверка практических навыков	Практические навыки проверяются путём выполнения обучающимися практических заданий в условиях, полностью или частично приближенных к условиям профессиональной деятельности. Проверяется знание теоретического материала, необходимое для правильного совершения необходимых действий, умение выстроить последовательность действий, практическое владение приёмами и методами решения профессиональных задач.	3	10
Экзамен	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 основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

7.1 Основная литература:

1. Карманова Е.В., Численные методы [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Е.В. Карманова. - 2-е изд., стер. - Москва : ФЛИНТА, 2015. - 172 с. - ISBN 978-5-9765-2303-6 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976523036.html>
2. Соболева О.Н., Введение в численные методы [Электронный ресурс] : учеб. пособие / О.Н. Соболева - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. - 64 с. - ISBN 978-5-7782-1776-8 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778217768.html>
3. Бахвалов, Н.С. Численные методы [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. - Москва : Издательство 'Лаборатория знаний', 2015. ? 639 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/70767>

7.2. Дополнительная литература:

1. Численные методы в уравнениях математической физики [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.Г. Персова [и др.] - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. - 60 с. - ISBN 978-5-7782-2971-6. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778229716.html>
2. Формалев В.Ф. Численные методы [Электронный ресурс]: учебник / В. Ф. Формалев, Д. Л. Ревизников. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 400 с. - ISBN 5-9221-0479-9. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922104799.html>
3. Орешкова М.Н. Численные методы [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.Н. Орешкова. - Архангельск : ИД САФУ, 2015. - 120 с. - ISBN 978-5-261-01040-1. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785261010401.html>
4. Балабко Л.В., Численные методы [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.В. Балабко, А.В. Томилова. - Архангельск : ИД САФУ, 2014. - 163 с. - ISBN 978-5-261-00962-7. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785261009627.html>

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

Википедия - <http://ru.wikipedia.org/wiki>
консультационный центр MATLAB - matlab.exponenta.ru
Образовательный математический сайт - exponenta.ru

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Лекционный материал доступен в составе электронного учебно-методического комплекса по дисциплине, размещенного на сервере локальной сети института. Материал содержит полный иллюстрированный текст лекций, а также презентации в формате MS PowerPoint по каждому тематическому разделу. Лекционный материал так же находится на кафедре системного анализа и информатики

Вид работ	Методические рекомендации
лабораторные работы	<p>Лабораторные задания предполагают программирование на любых языках в современной интегрированной среде программирования. В ходе выполнения лабораторных работ студент получает практический опыт и навыки:</p> <ul style="list-style-type: none"> ? В правильной постановке задач; ? Анализа проблем, возникающих при решении задач; ? Построения алгоритма решения; ? Исследования сходимости и определения точности решения; ? Проведения тестирования созданной программы; ? Документирования полученных результатов. <p>Задачи, решаемые в ходе лабораторного практикума, рассчитаны на применение теоретических знаний, получаемых при освоении лекционного материала по определенной теме. При этом при решении каждой последующей задачи, как правило, требуются знания предыдущих тематических разделов лекционного курса, и навыки, полученные при решении предыдущих задач.</p> <p>Рекомендуемая схема выполнения задания к лабораторной работе по данной дисциплине включает следующие этапы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ознакомление с заданием. 2. Изучение необходимого теоретического материала по предметной области задачи. 3. Проработка необходимого теоретического материала, связанного с разработкой алгоритма. 4. Изучение примеров решения аналогичных задач. 5. Разработка алгоритма. 6. Проработка необходимого теоретического материала, связанного с программной реализацией алгоритма решения задачи. 7. Создание проекта приложения и кодирование алгоритма на языке программирования. 8. Отладка и тестирование программы. <p>В зависимости от сложности решаемой задачи и опыта студента некоторые из приведенных этапов могут быть выполнены неявно, ?интуитивно?, или совмещены. Ряд этапов, в частности, этапы 5-7 могут комбинироваться друг с другом. В некоторых случаях допускается совмещать этап составления алгоритма с кодированием на языке программирования, однако это требует достаточно хорошего знания синтаксиса используемого языка.</p>
самостоятельная работа	<p>Изучение лекционного материала выполняется с использованием личных записей студента и рекомендованной литературы. В результате самоподготовки студент должен ответить на контрольные вопросы по разделам курса, приведенным в рабочей программе дисциплины. В соответствии с программой курса студент должен выполнить лабораторные работы по 9-ми темам. По результатам выполнения задания лабораторной работы оформляется отчет. Лабораторная работа засчитывается после защиты отчета. При сдаче отчета студент должен продемонстрировать умение использовать средства, освоенные на лабораторной работе, при решении подобных задач, формулировать ответы на вопросы по теме лабораторной работы. При подготовке к сдаче отчета о выполненной работе рекомендуется продумать ответы на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях. Для самопроверки усвоения материала лабораторных работ предназначаются контрольные вопросы в методических указаниях.</p> <p>Одной из главных задач учебного процесса вуза является развитие интеллектуальных способностей у студентов, определяющих индивидуальный способ мышления и способствующих саморазвитию личности. Одним из инновационных методов обучения при организации самостоятельной работы студентов является метод портфолио, Студентам необходимо собрать набор работ, публикаций и различных материалов, связывающий все аспекты его деятельности при изучении дисциплины в целостную картину и, файловую папку, в которую студенты подбирают учебный материал в соответствии с перечнем вопросов для самоподготовки к практическим занятиям по конкретным темам изучаемых дисциплин (так называемые тематические портфолио).</p> <p>Отбор материала для портфолио представляет собой кропотливую индивидуальную самостоятельную работу, позволяющую каждому студенту продумывать и осуществлять поиск оптимального решения конкретных задач, дающую возможность проанализировать и оценить уровень собственной деятельности в целях своего профессионально-творческого саморазвития. Данный вид работы требует от студентов большего времени на самоподготовку, но, в конечном итоге, закладывает основу глубоких знаний. Студент допускается к зачету только после выполнения и защиты отчетов лабораторных работ.</p> <p>При подготовке к сдаче отчета о выполненной работе рекомендуется продумать ответы на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях. Для самопроверки усвоения материала лабораторных работ предназначаются контрольные вопросы в методических указаниях.</p>

Вид работ	Методические рекомендации
устный опрос	При подготовке к сдаче отчета о выполненной работе рекомендуется продумать ответы на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях. Для самопроверки усвоения материала лабораторных работ предназначаются контрольные вопросы в методических указаниях. Опрос может проводиться в виде тестов и простого опроса во время сдачи лабораторной работы
проверка практических навыков	При подготовке к практическим занятиям и проведении лабораторных работ предусматривается: - самостоятельное изучение материалов в соответствии с разработанным планом практических и лабораторных работ; - освоение современными методами и приемами изучения учебного материала по информатике; Ожидается самостоятельная разработка компьютерных программ на языках высокого уровня, выполняющих вычисления при выполнении лабораторных работ. Возможно использование других вычислительных систем.
экзамен	Студент допускается к экзамену только после выполнения лабораторных работ. При подготовке к экзамену рекомендуется повторить материал лекций. При недостаточном понимании теоретических вопросов или затруднениях при решении задач следует посещать консультации преподавателя. Для успешного освоения дисциплины достаточно: 1. Иметь конспект лекций; 2. Изучать рекомендованную литературу; 3. Неукоснительно выполнять задания на самостоятельную работу. 4. Пользоваться консультациями преподавателя.

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

Освоение дисциплины "Численные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных" предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows Professional 7 Russian

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 2010 Professional Plus Russian

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI

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.

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

Освоение дисциплины "Численные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

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".