

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

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: 2017

## 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) Каримов В.С. Марданшин Р.Г.

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

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

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

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

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;

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:

- применять полученные знания на практике.

### 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.1 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 (модуля)

###### 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. Слоенная 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-н 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"

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	ОПК-3 , ПК-2 , ОПК-1	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.
2	Устный опрос	ОПК-1 , ОПК-3 , 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.
3	Проверка практических навыков	ОПК-1 , ОПК-3 , 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.
	<b>Экзамен</b>	ОПК-1, ОПК-3, 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.	
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
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.	
<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 задачи Коши конечно-разностными методами

Лабораторная работа ♦ 2. Исследование численных методов решения дифференциальных уравнений с помощью разностных схем.

Лабораторная работа ♦ 3. Решение краевой задачи второго порядка разностными методами

Лабораторная работа ♦ 4. Решение двумерной задачи второго порядка разными методами: явными и неявными и проведение сравнительного анализа

Лабораторная работа ♦ 5. 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 разности
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 разности
32. Метод решения с аппроксимацией производной по координате левой конечной разностью
33. Исследование устойчивости неявной разностной схемы с аппроксимацией производной по координате правой конечной разности
34. Метод решения с аппроксимацией производной по координате правой конечной разностью
35. Исследование устойчивости неявной разностной схемы с аппроксимацией производной по координате левой конечной разности.
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
<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
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
<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;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной 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 Научной библиотеки КФУ.

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

Википедия - <http://ru.wikipedia.org/wiki>

консультационный центр MATLAB - [matlab.exponenta.ru](http://matlab.exponenta.ru)

Образовательный математический сайт - [exponenta.ru](http://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
лабораторные работы	Лабораторные задания предполагают программирование на любых языках в современной интегрированной среде программирования. В ходе выполнения лабораторных работ студент получает практический опыт и навыки: ? 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. 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. Рекомендуемая схема выполнения задания к лабораторной работе по данной дисциплине включает следующие этапы: 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. 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.

Вид работ	Методические рекомендации
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>
устный опрос	<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. Опрос может проводиться в виде тестов и простого опроса во время сдачи лабораторной работы</p>
проверка практических навыков	<p>При подготовке к практическим занятиям и проведению лабораторных работ предусматривается:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- самостоятельное изучение материалов в соответствии с разработанным планом практических и лабораторных работ;</li> <li>- освоение современными методами и приемами изучения учебного материала по информатике;</li> </ul> <p>Ожидается самостоятельная разработка компьютерных программ на языках высокого уровня, выполняющих вычисления при выполнении лабораторных работ. Возможно использование других вычислительных систем.</p>
экзамен	<p>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.</p> <p>Для успешного освоения дисциплины достаточно:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Иметь конспект лекций;</li> <li>2. Изучать рекомендованную литературу;</li> <li>3. Неукоснительно выполнять задания на самостоятельную работу.</li> <li>4. Пользоваться консультациями преподавателя.</li> </ol>

**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.1 Численные методы решения дифференциальных  
уравнений в частных производных

**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: 2017

**Основная литература:**

1 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>

2 Гулин А. В. Введение в численные методы в задачах и упражнениях [Электронный ресурс] : Учебное пособие / А. В. Гулин. - Москва: ООО 'Научно-издательский центр ИНФРА-М', 2014. - 368 с. - ISBN 978-5-16-009717-6. - Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=454592>.

3 Зализняк В. Е. Численные методы. Основы научных вычислений [Текст]: учебное пособие / В. Е. Зализняк; Сибирский Федеральный ун-т. - Москва: Юрайт, 2012. - 357 с. - (Бакалавр). - Доп. УМО. - В пер. - ISBN 978-5-9916-1621-8. (52 экз)

**Дополнительная литература:**

1. Формалев В.Ф., Численные методы. [Электронный ресурс] / Формалев В. Ф., Ревизников Д. Л. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 400 с. - ISBN 5-9221-0479-9 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922104799.html>

2. Орешкова М.Н., Численные методы [Электронный ресурс] / Орешкова М.Н. - Архангельск : ИД САФУ, 2015. - 120 с. - ISBN 978-5-261-01040-1 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785261010401.html>

3. Персова М.Г., Численные методы в уравнениях математической физики [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Вагин Д.В., Домников П.А., Кошкина Ю.И. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. - 60 с. - ISBN 978-5-7782-2971-6 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778229716.html>



Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.1 Численные методы решения дифференциальных  
уравнений в частных производных

**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: 2017

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.