

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт вычислительной математики и информационных технологий



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Таюрский Д.А.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Автоматизация решения краевых задач на ЭВМ Б1.В.ДВ.22

Направление подготовки: 01.03.04 - Прикладная математика

Профиль подготовки: Математическое моделирование

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Даутов Р.З.

**Рецензент(ы):**

Федотов Е.М.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Задворнов О. А.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института вычислительной математики и информационных технологий:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No

Казань  
2017

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Даутов Р.З. кафедра вычислительной математики отделение прикладной математики и информатики ,  
Rafail.Dautov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является усвоение студентами теоретических знаний и практических навыков в области автоматизация решения краевых задач математической физики на ЭВМ на примере пакета программ PDETOOL системы MATLAB

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.22 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 01.03.04 Прикладная математика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 7 семестр.

Данная дисциплина читается для студентов, обучающихся по направлению 'Прикладная математика'. Базируется на дисциплинах 'Математический анализ', 'Уравнения Математической Физики', 'Метод конечных элементов'.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-1 (профессиональные компетенции)	Готовность к самостоятельной работе
ОПК-2 (профессиональные компетенции)	Способность использовать современные математические методы и современные прикладные программные средства и осваивать современные технологии программирования
ПК-1 (профессиональные компетенции)	Способность использовать стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач на ЭВМ, отлаживать, тестировать прикладное программное обеспечение
ПК-2 (профессиональные компетенции)	Способность и готовность настраивать и тестировать и осуществлять проверку вычислительной техники
ПК-3 (профессиональные компетенции)	Способность и готовность демонстрировать знания современных языков программирования, операционных систем, офисных приложений, Интернета, способов и механизмов управления данными; принципов организации, состава и схемы работы операционных систем
ПК-4 (профессиональные компетенции)	Способность и готовность решать проблемы, брать на себя ответственность

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

теоретические сведения о задачах математической физики и сеточных методах их решения

2. должен уметь:

понимать и применять на практике компьютерные технологии для решения различных задач линейной алгебры и уравнений задач математической физики

3. должен владеть:
- навыками самостоятельного анализа и решения теоретических и практических задач, связанных с численным решением краевых задач математической физики методом конечных элементов
4. должен демонстрировать способность и готовность:
- применять полученные знания и навыки в своей профессиональной деятельности

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных(ые) единиц(ы) 252 часа(ов).  
 Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 7 семестре.  
 Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.  
 86 баллов и более - "отлично" (отл.);  
 71-85 баллов - "хорошо" (хор.);  
 55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);  
 54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Основные уравнения механики сплошной среды	7		6	0	0	
2.	Тема 2. Уравнения параболического типа	7		6	0	0	
3.	Тема 3. Уравнения гиперболического типа	7		4	0	0	Письменное домашнее задание
5.	Тема 5. Краевые задачи линейной теории упругости	7		4	0	0	
6.	Тема 6. Слабая формулировка краевых задач	7		4	0	0	Контрольная работа

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
7.	Тема 7. Дискретизация краевых задач методом конечных элементов	7		8	0	0	
8.	Тема 8. Типы конечных элементов	7		8	0	0	Письменное домашнее задание
9.	Тема 9. Дискретизация (триангуляция) областей и их кодировка	7		3	0	0	
10.	Тема 10. Автоматизация сборки дискретных уравнений	7		4	0	0	Контрольная работа
11.	Тема 11. Визуализация решения	7		2	0	0	Проверка практических навыков
12.	Тема 12. Методы решения разреженных систем алгебраических уравнений	7		5	0	0	
13.	Тема 13. Работа с разреженными матрицами в МатЛаб.	7		0	0	10	Проверка практических навыков
14.	Тема 14. Обзор пакета программ pdetool	7		0	0	6	Проверка практических навыков
15.	Тема 15. Задание геометрических данных	7		0	0	3	
16.	Тема 16. Задание функциональных данных	7		0	0	3	
17.	Тема 17. Работа с сетками	7		0	0	6	Проверка практических навыков
18.	Тема 18. Визуализация скалярных и векторных полей	7		0	0	4	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
19.	Тема 19. Решение задач теплопередачи	7		0	0	10	Лабораторные работы Отчет
20.	Тема 20. Решение плоских задач линейной теории упругости	7		0	0	6	
21.	Тема 21. Взаимодействие pdetool с МатЛаб	7		0	0	6	
.	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	Экзамен
	Итого			54	0	54	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Основные уравнения механики сплошной среды

#### **лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Уравнение движения, неразрывности, энергии. Примеры замкнутых математических моделей сплошных сред: идеальная жидкость, идеальный совершенный газ, несжимаемая вязкая жидкость. Классификации уравнений в частных производных второго порядка в двумерных и трехмерных областях.

### Тема 2. Уравнения параболического типа

#### **лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Способы передачи тепла: теплопроводность, конвекция, излучение. Тепловой поток, тензор теплопроводности, закон Фурье, нелинейный закон. Распространение тепла в твердых телах: уравнение теплопроводности трехмерного тела. Краткий вывод уравнения. Начальные и краевые условия. Двумерные уравнения теплопроводности. Стационарные уравнения теплопроводности.

### Тема 3. Уравнения гиперболического типа

#### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Вывод уравнений акустики. Уравнения колебаний мембраны. Начальные и краевые условия. Двумерные уравнения. Гармонические колебания. Задачи на собственные значения: собственные частоты и моды колебаний.

### Тема 5. Краевые задачи линейной теории упругости

#### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Система отсчета. Деформация упругого тела и ее характеристики. Внутренние и внешние силы. Основные законы движения. Тензор напряжений. Дифференциальные уравнения движения. Определяющие соотношения линейной теории упругости. Динамическая задача линейной теории упругости. Статическая задача линейной теории упругости. Двумерные задачи теории упругости: задача о плоских напряжениях и плоских деформациях. Задача термо-упругости. Задачи на собственные значения: собственные частоты и моды колебаний.

### Тема 6. Слабая формулировка краевых задач

#### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Слабая формулировка краевых задач эллиптического типа. Пространство Соболева  $H^1$ . Пространство решений и тестовых функций: главные и естественные краевые условия. Задача Дирихле и задача Неймана. Существование и единственность решения уравнения теплопроводности. Слабая формулировка краевых задач параболического типа. Слабая формулировка краевых задач гиперболического типа. Слабая формулировка краевых задач линейной теории упругости. Слабая формулировка задач на собственные значения.

### **Тема 7. Дискретизация краевых задач методом конечных элементов**

#### **лекционное занятие (8 часа(ов)):**

Дискретизация двумерных и трехмерных уравнений эллиптического типа методом конечных элементов (МКЭ) на основе линейных треугольных и тетраэдральных элементов. Вывод соответствующих систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Свойства матрицы СЛАУ: симметрия, положительная определенность, обусловленность. Точность схемы МКЭ. Аппроксимация задач на собственные значения. Аппроксимация стационарных задач линейной теории упругости. Полудискретизация по пространству уравнений параболического и гиперболического типов (метод прямых). Корректность полученной задачи. Коши. Явная, неявная и схема Кранка-Николсона полной аппроксимации параболической задачи. Схема полной аппроксимации второго порядка аппроксимации по времени для гиперболической задачи. Схемы МКЭ с численным интегрированием. Примеры квадратурных формул для треугольных и четырехугольных элементов.

### **Тема 8. Типы конечных элементов**

#### **лекционное занятие (8 часа(ов)):**

Понятие о конечном элементе как тройке. Базисный лагранжев треугольный конечный элемент степени  $m$ . Базисный лагранжев прямоугольный элемент степени  $m$ . Ассоциированные элементы. Аффино-эквивалентные конечные элементы. Понятие о регулярности аффино-эквивалентных элементов. Криволинейные и изопараметрические элементы.

### **Тема 9. Дискретизация (триангуляция) областей и их кодировка**

#### **лекционное занятие (3 часа(ов)):**

Способы триангуляции областей. Кодировка триангуляций. Триангуляция двумерных областей с использованием МатЛаб-функции `initmesh`.

### **Тема 10. Автоматизация сборки дискретных уравнений**

#### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Алгоритм сборки матрицы и правой части системы МКЭ. Матрица жесткости и вектор сил конечного элемента. Вычисление матрицы жесткости и вектора сил для задачи теплопроводности для аффиных и изопараметрических элементов. Вычисление матрицы жесткости и вектора сил конечного элемента для линейной задачи упругости в случае линейных треугольных элементов.

### **Тема 11. Визуализация решения**

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

О представлении решения двумерных и трехмерных задач. Задача визуализации двумерных скалярных и векторных полей. Задача визуализации трехмерных скалярных и векторных полей. Способы и алгоритм построения изолиний решений схем МКЭ.

### **Тема 12. Методы решения разреженных систем алгебраических уравнений**

#### **лекционное занятие (5 часа(ов)):**

Компактный метод Гаусса. Ленточные и профильные матрицы. Сохранение профиля матрицы при LU разложении. Понятие о перенумерации неизвестных и решении разреженных систем линейных алгебраических уравнений. Итерационные методы. Обзор итерационных методов вариационного типа, реализованных в МатЛаб. Важность предобуславливания систем большой размерности.

### **Тема 13. Работа с разреженными матрицами в МатЛаб.**

#### **лабораторная работа (10 часа(ов)):**

Схемы хранения разреженных матриц. Создание разреженных матриц в МатЛаб. Программирование сборки глобальной матрицы жесткости и вектора сил. Обзор функций раздела sparse в МатЛаб. Тестовые разреженные матрицы. Тестирование прямого метода решения разреженных СЛАУ. Тестирование итерационных методов решения разреженных СЛАУ. Тестирование функции eigs определения собственных чисел и векторов разреженных матриц.

#### **Тема 14. Обзор пакета программ pdetool**

##### **лабораторная работа (6 часа(ов)):**

Обзор пакета программ pdetool. Быстрое введение в пакет: решение задачи Дирихле для уравнения Пуассона с визуализацией решения. Эксперименты с сетками. Типы краевых задач, решаемых в пакете: разбор пункта меню options/applications.

#### **Тема 15. Задание геометрических данных**

##### **лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Геометрическое представление областей. Работа с пунктом меню draw. Внутреннее представление геометрии области. Функция pdegeom. Экспорт геометрии в МатЛаб.

#### **Тема 16. Задание функциональных данных**

##### **лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Работа с пунктами меню определения уравнений (pde), краевых условий (boundary) и решения (solve). Способы задания коэффициентов и краевых условий уравнений. Экспорт коэффициентов и краевых условий уравнений в МатЛаб.

#### **Тема 17. Работа с сетками**

##### **лабораторная работа (6 часа(ов)):**

Построение сеток в pdetool. Разбор и эксперименты с пунктом меню mesh. Построение регулярных и сгущающихся сеток. Кодировка сеток. Экспорт сеток в МатЛаб.

#### **Тема 18. Визуализация скалярных и векторных полей**

##### **лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Работа с пунктами меню options и plot. Эксперименты с решением задачи Дирихле для уравнения Пуассона с визуализацией решения для различных геометрий, краевых условий и сеток. Интерпретация полученных решений.

#### **Тема 19. Решение задач теплопередачи**

##### **лабораторная работа (10 часа(ов)):**

Решение стационарных и нестационарных задач теплопередачи. Эксперименты с визуализацией решения для различных геометрий, краевых условий и сеток. Интерпретация полученных решений. Выполнение лабораторной работы.

#### **Тема 20. Решение плоских задач линейной теории упругости**

##### **лабораторная работа (6 часа(ов)):**

Решение стационарных и квазистационарных задач линейной теории упругости. Эксперименты с визуализацией решения для различных геометрий, краевых условий и сеток.

#### **Тема 21. Взаимодействие pdetool с МатЛаб**

##### **лабораторная работа (6 часа(ов)):**

О возможностях использования функций pdetool в МатЛаб. Разбор функций задания геометрии области, коэффициентов, краевых условий. Разбор функции построения сеток и функции построения графиков. Функции сборки систем МКЭ. Решение конкретных краевых задач в среде МатЛаб с использованием функций pdetool.

### **4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
---	-------------------	---------	-----------------	---------------------------------------	------------------------	---------------------------------------

Тема 3. Уравнения

гиперболического типа

домашнего задания

## домашнее задание

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
6.	Тема 6. Слабая формулировка краевых задач	7		подготовка к контрольной работе	8	Контрольная работа
8.	Тема 8. Типы конечных элементов	7		подготовка домашнего задания	8	Письменное домашнее задание
10.	Тема 10. Автоматизация сборки дискретных уравнений	7		подготовка к контрольной работе	8	Контрольная работа
13.	Тема 13. Работа с разреженными матрицами в МатЛаб.	7		Работа с функциями пакета sparse	16	Проверка практических навыков
14.	Тема 14. Обзор пакета программ pdetool	7		Работа с функциями pdetool	12	Проверка практических навыков
17.	Тема 17. Работа с сетками	7		Работа с функцией initmesh	14	Проверка практических навыков
19.	Тема 19. Решение задач теплопередачи	7		Выполнение лабораторной работы	10	Лабораторные работы
				подготовка к отчету	20	Отчет
	Итого				108	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Обучение происходит в форме лекционных и лабораторных занятий, а также самостоятельной работы студентов.

Теоретический материал излагается на лекциях. Причем конспект лекций, который остается у студента в результате прослушивания лекции не может заменить учебник. Его цель - формулировка основных утверждений и определений. Прослушав лекцию, полезно ознакомиться с более подробным изложением материала в учебнике. Список литературы разделен на две категории: необходимый для сдачи экзамена минимум и дополнительная литература.

Изучение курса подразумевает не только овладение теоретическим материалом, но и получение практических навыков для более глубокого понимания разделов дисциплины на основе решения задач и упражнений, иллюстрирующих доказываемые теоретические положения, а также развитие абстрактного мышления и способности самостоятельно доказывать частные утверждения.

Самостоятельная работа предполагает выполнение домашних работ. Практические задания, выполненные в аудитории, предназначены для указания общих методов решения задач определенного типа. Закрепить навыки можно лишь в результате самостоятельной работы.

Кроме того, самостоятельная работа включает подготовку к экзамену. При подготовке к сдаче экзамена весь объем работы рекомендуется распределять равномерно по дням, отведенным для подготовки к экзамену, контролировать каждый день выполнения работы. Лучше, если можно перевыполнить план. Тогда всегда будет резерв времени.

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Основные уравнения механики сплошной среды**

### **Тема 2. Уравнения параболического типа**

### **Тема 3. Уравнения гиперболического типа**

Письменное домашнее задание , примерные вопросы:

1) Вывести уравнение теплопроводности из уравнений механики сплошной среды 2) Доказать единственность решения задачи Дирихле для уравнения Пуассона. 3) Сформулировать и указать различия начально-краевых задач для уравнений параболического и гиперболического типов

### **Тема 5. Краевые задачи линейной теории упругости**

### **Тема 6. Слабая формулировка краевых задач**

Контрольная работа , примерные вопросы:

1) Получить слабую формулировку краевой задачи для стационарной задачи теплопроводности 2) Получить слабую формулировку краевой задачи для линейной стационарной задачи теории упругости

### **Тема 7. Дискретизация краевых задач методом конечных элементов**

### **Тема 8. Типы конечных элементов**

Письменное домашнее задание , примерные вопросы:

1) Получить формулы для базисных функций линейного треугольного элемента на базисном элементе. 2) Получить формулы для базисных функций квадратичного треугольного элемента на базисном элементе. 3) Получить формулы для базисных функций билинейного прямоугольного элемента на базисном элементе. 4) Получить формулы для базисных функций квадратичного прямоугольного элемента на базисном элементе.

### **Тема 9. Дискретизация (триангуляция) областей и их кодировка**

### **Тема 10. Автоматизация сборки дискретных уравнений**

Контрольная работа , примерные вопросы:

1) Получить расчетные формулы вычисления локальной матрицы жесткости для уравнения теплопроводности и линейных конечных элементов 2) Получить расчетные формулы вычисления локальной матрицы жесткости для уравнения Ламе и линейных конечных элементов

### **Тема 11. Визуализация решения**

### **Тема 12. Методы решения разреженных систем алгебраических уравнений**

### **Тема 13. Работа с разреженными матрицами в МатЛаб.**

Проверка практических навыков , примерные вопросы:

Проверка практических навыков работы с функциями sparse и eig МатЛаб

### **Тема 14. Обзор пакета программ pdetool**

Проверка практических навыков , примерные вопросы:

Проверка практических навыков работы с пунктами меню пакета pdetool

### **Тема 15. Задание геометрических данных**

### **Тема 16. Задание функциональных данных**

### **Тема 17. Работа с сетками**

Проверка практических навыков , примерные вопросы:

Проверка практических навыков работы с пунктом меню mesh пакета pdetool

### **Тема 18. Визуализация скалярных и векторных полей**

### **Тема 19. Решение задач теплопередачи**

Лабораторные работы , примерные вопросы:

Каждый студент на четвертом занятии получает индивидуальное задание по решению конкретной задачи математической физики, связанной с некоторой предметной областью. Студент должен решить полученное задание, используя средства пакета pdetool и представить результаты вычислений в требуемом графическом виде.

Отчет , примерные вопросы:

По результатам выполнения лабораторной работы студент пишет отчет, используя Word или LaTeX.

**Тема 20. Решение плоских задач линейной теории упругости**

**Тема 21. Взаимодействие pdetool с МатЛаб**

**Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Примерные экзаменационные билеты

Билет 1.

1. Получить слабую формулировку стационарной задачи теплопроводности в случае, когда температура тела на границе области задана.
2. Получить расчетные формулы для элементов локальной матрицы жесткости для сформулированной в вопросе 1 задачи при использовании линейных треугольных элементов.
3. Дать описание функции initmesh

Билет 2.

1. Получить слабую формулировку нестационарной задачи теплопроводности в случае, когда температура тела на границе области задана.
2. Получить расчетные формулы для элементов локальной матрицы жесткости для сформулированной в вопросе 1 задачи при использовании линейных треугольных элементов.
3. Дать описание функции eig

Билет 3.

1. Получить слабую формулировку стационарной задачи теплопроводности в случае, когда температура тела на границе области задан поток тепла.
2. Получить расчетные формулы для элементов локальной матрицы жесткости для сформулированной в вопросе 1 задачи при использовании линейных треугольных элементов.
3. Дать описание функции sparse

Билет 4.

1. Получить слабую формулировку нестационарной задачи теплопроводности в случае, когда температура тела на границе области задан поток тепла.
2. Получить расчетные формулы для элементов локальной матрицы жесткости для сформулированной в вопросе 1 задачи при использовании линейных треугольных элементов.
3. Дать описание функции refinemesh

### 7.1. Основная литература:

1. Даутов Р.З. Введение в теорию метода конечных элементов: учебное пособие для студентов высших учебных заведений,

обучающихся по специальности 'Прикладная математика и информатика' и по направлению 'Прикладная математика и информатика' /

Р. З. Даутов , М. М. Карчевский. ?Изд. 2-е, испр..?Казань: Казанский университет, 2011.?237 с.: ил.; 21.?

Библиогр.: с. 228-229 (25 назв.).?Предм. указ.: с. 234-237.?ISBN 978-5-98180-993-4.

2. Даутов Р.З., Карчевский М.М. Введение в теорию метода конечных элементов:

[Учебное пособие]. - Казань: Казанский университет. 2012. - 240 с. (с грифом УМО).  
[http://kpfu.ru/publication?p\\_id=47325](http://kpfu.ru/publication?p_id=47325).

3. Даутов Р.З. Метод Галеркина с возмущениями для задач на собственные значения. [Учебное пособие]. - Казань, 2010. - 94 с.  
[http://kpfu.ru/publication?p\\_id=21045](http://kpfu.ru/publication?p_id=21045)

4. Самогин, Ю.Н. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.Н. Самогин, В.Е. Хроматов, В.П. Чирков. ? Электрон. дан. ? М. : Физматлит, 2012. ? 200 с. ? Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59633](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59633) ? Загл. с экрана.

5. Киреев, В.И. Численные методы в примерах и задачах [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.И. Киреев, А.В. Пантелеев. ? Электрон. дан. ? СПб. : Лань, 2015. ? 448 с. ? Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=65043](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=65043) ? Загл. с экрана.

## **7.2. Дополнительная литература:**

1. Стренг, Гилберт. Теория метода конечных элементов. / Г. Стренг, Дж. Фикс; под ред. Г. И. Марчука; пер. с англ. В. И. Агошкова [и др.]. ?М.: Мир, 1977. ?348 с.: ил.; 22. ?Библиогр.: с. 324-335. ?Имен. указ.: с. 342-344. ?Предм. указ.: с. 345-347.

2. Ильин В. П. Методы и технологии конечных элементов / В.П. Ильин; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т вычисл. математики и мат. геофизики. ?Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2007. ?370 с.: ил.; 22. ?Библиогр.: с. 357-361 (71 назв.). ?Предм. указ.: с. 362-367. ?ISBN 978-5-901548-30-1, 460.

3. Репченков В. И. Физические основы метода конечных элементов: пособие для студентов механико-математического факультета / В. И. Репченков, Ю. Е. Нагорный. ?Минск: БГУ, 2009. ?90, [1] с.: ил.; 20. ?Библиогр.: с. 89. ?ISBN 978-985-518-194-2, 100.

4. Сьярле Ф. Метод конечных элементов для эллиптических задач: перевод с английского / Ф. Сьярле;

Под ред. Н. Н. Яненко; Пер. Б. И. Класов. ?Москва: Мир, 1980. ?512с.

5. Деклу Ж. Методы конечных элементов / Ж. Деклу. ?Москва: Мир, 1976. ?95с.

## **7.3. Интернет-ресурсы:**

Естественно-научный портал - <http://en.edu.ru/>

Портал математических интернет-ресурсов - <http://www.math.ru/>

Портал образовательных математических ресурсов - <http://www.allmath.com/>

Сайт образовательных ресурсов по математике - <http://www.exponenta.ru/>

Сайт с учебными материалами по математике - <http://mathhelp.spb.ru>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

Освоение дисциплины "Автоматизация решения краевых задач на ЭВМ" 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.

Лекционные занятия по дисциплине проводятся в аудитории, оснащенной доской и мелом или маркером.

Лабораторные занятия проводятся в компьютерном классе, оснащенный доской и мелом или маркером.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 01.03.04 "Прикладная математика" и профилю подготовки Математическое моделирование .

Автор(ы):

Даутов Р.З. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Федотов Е.М. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.