

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Институт естественных наук и математики



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ**  
**И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

<b>Перечень сведений о рабочей программе дисциплины</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Программа аспирантуры</b> Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ	<b>Код ПА</b> 1.2.2.
<b>Группа специальностей</b> Компьютерные науки и информатика	<b>Код</b> 1.2.
<b>Федеральные государственные требования (ФГТ)</b>	Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951
<b>Самостоятельно утвержденные требования (СУТ)</b>	Приказ «О введении в действие «Требований к разработке и реализации программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре УрФУ» №315/03 от 31.03.2022

Екатеринбург  
2022 г.

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Структурное подразделение
1	Елфимова Екатерина Александровна	д.ф.-м.н., доцент	Зав. кафедрой	Кафедра теоретической и математической физики Института естественных наук и математики
2	Пименов Владимир Германович	д.ф.-м.н., профессор	Зав. кафедрой	Кафедра вычислительной математики и компьютерных наук Института естественных наук и математики
3	Соловьева Ольга Эдуардовна	д.ф.-м.н., профессор	Профессор	Кафедра вычислительной математики и компьютерных наук Института естественных наук и математики

**Рекомендовано:**

**Учебно-методическим советом института естественных наук и математики**

Председатель учебно-методического совета ИЕНиМ  
Протокол № 5 от 17.05.2022 г.

 Е.С. Буянова

**Согласовано:**

Начальник ОПНПК

 Е.А. Бутрина

# **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

## **1.1. Аннотация содержания дисциплины**

Дисциплина «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» направлена на изучение теоретических подходов к построению математических моделей явлений и процессов различной природы, принципов вероятностного и операционного моделирования, на разработку и исследование алгоритмов и численных методов, на применение численных методов для решения задач математического моделирования, на создание комплексов программ.

Для усвоения дисциплины «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» обучаемый должен обладать базовой естественнонаучной подготовкой и компетенциями, полученными при освоении программ подготовки «Математика», «Прикладная математика», «Математика и компьютерные науки», «Механика и математическое моделирование» или аналогичным направлениям.

## **1.2. Язык реализации дисциплины - русский**

## **1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

Дисциплина «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» относится к базовой части программы аспирантуры, направлена на подготовку к сдаче кандидатского минимума.

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

### **Знать:**

- основы методологии математического моделирования;
- элементы вероятностного моделирования;
- элементы операционного моделирования;
- классическую теорию алгоритмов, классические результаты и современное состояние теории сложности вычислений;
- классические разделы математической логики и ее приложения к описанию комбинаторных задач;
- основные разделы теории графов, включая теорию случайных графов и теорию экспандеров;
- классические разделы и современное состояние теории формальных языков, их распознавателей и преобразователей (автоматов и машин) и порождающих систем (грамматик).
- теорию обыкновенных дифференциальных уравнений
- теорию дифференциальных уравнений в частных производных
- основные классы численных методов, их особенности;
- теоретические подходы к созданию комплексов программ;

### **Уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- выбирать и анализировать научную литературу для избранного направления исследований, формулировать задачи работы на основе анализа литературы;
- строить и исследовать математические модели дискретных процессов с использованием графов, автоматов, языков, матроидов и других дискретноматематических объектов;

- строить и исследовать математические модели непрерывных процессов на основе теории дифференциальных уравнений;
- разрабатывать алгоритмы для решения задач и анализировать их сложность;
- планировать оптимальное проведение численного эксперимента;
- выбирать численные методы, подходящие для решения той или иной задачи.
- использовать специализированное программное обеспечение и современные информационные технологии создания комплексов программ;
- давать рекомендации на основании проведенных исследований.

**Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности):**

- навыками работы с научной литературой и базами данных с целью определения направления исследования и решения специализированных задач;
- методикой планирования, постановки и обработки результатов численного эксперимента;
- математическим моделированием научных задач;
- основными численными методами;
- методами построения и оценки алгоритмов;
- методами теории сложности;
- методами аналитического и численного решения дифференциальных уравнений;
- методами теории графов;
- методами теории автоматов и теории формальных языков;
- методами математической логики и теории вычислимости.

**1.4.Объем дисциплины**

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	6
1.	Аудиторные занятия	4	4	4
2.	Лекции	4	4	4
3.	Практические занятия	0	0	0
4.	Самостоятельная работа аспирантов, включая все виды текущей аттестации	104		104
5.	Промежуточная аттестация	Экзамен	1	Экзамен, 18
6.	Общий объем по учебному плану, час.	108	5	108
7.	Общий объем по учебному плану, з.е.	3		3

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	<b>Основы математического моделирования.</b> <i>Лекции 2 часа; самостоятельная работа аспиранта, 50 часов.</i>	Методы построения математических моделей на основе обыкновенных дифференциальных уравнений и дифференциальных уравнений в частных производных.
2	<b>Алгоритмы и сложность.</b> <i>Лекции 1 час; самостоятельная работа аспиранта, 25 часов.</i>	Построение и анализ эффективных алгоритмов, вероятностные и приближенные алгоритмы, теория сложности и ее приложения
3	<b>Численные методы решения задач математического моделирования.</b> <i>Лекции 1 час; самостоятельная работа аспиранта, 25 часов.</i>	Комбинаторная теория графов, спектральная теория графов, теория случайных графов, теория экспандеров. Численные методы решения дифференциальных уравнений.

## 3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 3.1. Практические занятия

не предусмотрено

### 3.2. Примерная тематика самостоятельной работы

#### 3.2.1. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

не предусмотрено

#### 3.2.2. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

не предусмотрено

## 4. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 4.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений аспирантов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
<b>Знания</b>	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

## 4.2. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 4.2.1. Перечень примерных вопросов для зачета

не предусмотрено

### 4.2.2. Перечень примерных вопросов для экзамена

1. Экстремальные задачи в евклидовых пространствах. Выпуклые задачи на минимум. Математическое программирование, линейное программирование, выпуклое программирование. Задачи на минимакс.

2. Основы вариационного исчисления. Задачи оптимального управления. Принцип максимума. Принцип динамического программирования.
3. Принятие решений. Общая проблема решения. Функция потерь. Байесовский и минимаксный подходы. Метод последовательного принятия решения.
4. Исследование операций и задачи искусственного интеллекта. Экспертизы и неформальные процедуры. Автоматизация проектирования. Искусственный интеллект. Распознавание образов.
5. Численные методы алгебры. Прямые и итерационные методы решения систем линейных уравнений с полными матрицами и матрицами специального вида. Одношаговые итерационные методы.
6. Численное интегрирование. Интерполяционные квадратурные формулы. Задача оптимизации квадратуры. Квадратурные формулы типа Гаусса. Многомерные квадратурные формулы. Понятие о методе Монте-Карло. Интегрирование сильно осциллирующих функций.
7. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. Численные методы решения задачи Коши и краевых задач. Оценка погрешности, сходимость и устойчивость. Методы прогонки и стрельбы. Разностные схемы для решения дифференциальных уравнений с разрывными коэффициентами. Понятие о жестких системах обыкновенных дифференциальных уравнений и методах их решения.
8. Разностные и вариационно-разностные методы решения уравнений математической физики. Основные понятия (аппроксимация, устойчивость, сходимость). Методы построения разностных схем (метод сеток, интегроинтерполяционный метод, метод аппроксимации интегральных тождеств, вариационно-разностные и проекционно-разностные методы, метод Галеркина, метод конечных элементов, метод аппроксимации квадратичного функционала); их применение к решению краевых и начально-краевых задач для эллиптических, параболических и гиперболических уравнений. Оценка порядка аппроксимации и сходимости. Двухслойные и трехслойные схемы; их устойчивость.
9. Экономичные методы решения нестационарных многомерных задач; методы решения нелинейных уравнений (теплопроводности и газовой динамики). Дивергентные и монотонные разностные схемы. Схемная и искусственная вязкость.
10. Методы решения сеточных уравнений. Прямые методы (прогонки, быстрого дискретного преобразования Фурье, циклической редукции). Метод последовательной верхней релаксации, неявные схемы с эквивалентными по спектру операторами, попеременно-треугольный метод. Методы расщепления и переменных направлений. Оценки скорости сходимости.
11. Методы решения обратных и некорректных задач. Применение методов регуляризации, минимизации сглаживающего функционала и итерационных методов для решения вырожденных, несовместных и плохо обусловленных систем линейных алгебраических уравнений и интегральных уравнений первого рода.

12. Основные принципы математического моделирования. Элементарные математические модели в механике, гидродинамике, электродинамике. Универсальность математических моделей. Методы построения математических моделей на основе фундаментальных законов природы. Вариационные принципы построения математических моделей.
13. Математические модели в статистической механике, экономике, биологии. Методы математического моделирования измерительно-вычислительных систем.
14. Модели динамических систем. Особые точки. Бифуркации. Динамический хаос. Эргодичность и перемешивание. Понятие о самоорганизации. Диссипативные структуры. Режимы с обострением.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1.Рекомендуемая литература**

#### **5.1.1. Основная литература**

1. Иванов, В. В. Математическое моделирование : учебное пособие / В. В. Иванов, О. В. Кузьмина ; Поволжский государственный технологический университет. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2022. – 116 с.
2. Математическое моделирование : учебное пособие : [16+] / сост. Д. В. Арясова, М. А. Аханова, С. В. Овчинникова ; Тюменский индустриальный университет. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2018. – 283 с.
3. Краснощеков П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей. М.: Изд-во МГУ, 1984.

#### **5.1.2. Дополнительная литература**

4. М. О. Асанов, В. А. Баранский, В. В. Расин. Дискретная математика. Графы, матроиды, алгоритмы : учеб. пособие [для вузов]. СПб : Лань, 2010.
5. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979.
6. Чуличков А.И. Математические модели нелинейной динамики. М.: Физматлит, 2000.
7. Благодатских В.И. Введение в оптимальное управление. М.: Высшая школа, 2001.
8. . Краснощеков П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей. М.: Изд-во МГУ, 1984.
9. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1977.
10. Vasin V.V., Eremin I.I. Operators and Iterative Processes of Fejer Type. Theory and Applications. Berlin-New-York: Wolter de Grugter, 2009.
11. Соловьева О.Э., Мархасин В.С., Кацнельсон Л.Б., Сульман Т.Б., Васильева А.Д., Курсанов А.Г. Математическое моделирование живых систем. Екатеринбург Издательство Уральского университета, 2013.
12. Ягола А.Г., Ван Янфей, Степанова И.Э., Титаренко В.Н. Обратные задачи и методы их решения. Приложения к геофизике. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014.
13. Кабанихин С.И. Обратные и некорректно поставленные задачи. Новосибирск. Сибирское научное издательство. 2009.
14. Замятин А.П., Шур А.М. Языки, грамматики, распознаватели. Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 2007.
15. Верещагин Н.К., Шень А. Лекции по математической логике и теории алгоритмов. М.: МЦНМО, 2000.

## 5.2. Методические разработки

Не используются

## 5.3. Программное обеспечение

1. Офисный пакет LibreOffice;
2. ABBYY FineReader;
3. Пакет программ для научных исследований MATCAD;
4. Пакет программ для научных исследований MATLAB и Simulink;
5. Пакет программ для научных исследований WOLFRAM Mathematica;
6. Программа для управления библиографической информацией Mendeley;
7. Программа GIMP для редактирования растровых изображений;
8. Программа для обработки векторной графики Inkscape;
9. JupyterLab - среда интерактивных вычислений и визуализации на языках программирования общего назначения (Python) и специализированных (R, Juila).

## 5.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Академия Гугл <https://scholar.google.ru/schhp?hl=ru>
2. Научно-информационный портал ResearchGate <https://www.researchgate.net>
3. Поисковая интернет-платформа публикаций Semantic Scholar <https://www.semanticscholar.org>
4. Поисковая система EBSCO Discovery Service <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=141>;
5. Федеральный институт промышленной собственности <http://www1.fips.ru>;
6. Российская электронная научная библиотека. <http://www.elibrary.ru>

## 5.5. Электронные образовательные ресурсы

1. Каталоги библиотеки УрФУ <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=76>;
2. Электронный каталог <http://opac.urfu.ru>;
3. Электронно-библиотечные системы <http://lib.urfu.ru/mod/resource/view.php?id=2330>;
4. Электронные ресурсы свободного доступа <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=75>;
5. Электронные ресурсы по подписке <http://lib.urfu.ru/mod/data/view.php?id=1379>.

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

Уральский федеральный университет имеет специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования (Тургенева 4, аудитории 601-640). Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории.

Уральский федеральный университет имеет материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации программы аспирантуры, обеспечения дисциплин (модулей), научно-исследовательской работы и практик, в соответствии с требованиями к материально-техническому и учебно-методическому обеспечению направленности программы.