

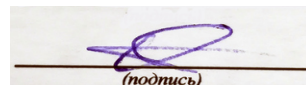
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины  
«Математическое моделирование устройств и систем»**

Направление подготовки

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль

Интегральная электроника и нанoeлектроника

Форма обучения

очная

Программа одобрена

на заседании кафедры

от «17» апреля 2023 года, протокол № 5

Программа одобрена НМК

физического факультета

протокол № 5 от « 25 » апреля 2023 года

Ярославль

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Математическое моделирование устройств и систем» являются:

- изучение основных понятий и методов современного математического моделирования, используемых для решения актуальных задач естествознания;
- овладение стандартными методами составления математических моделей, их анализа и разработки алгоритмов аналитического и численного исследования этих моделей;
- формирование представлений о границах применимости аналитических и численных методов и совместного их использования в сочетании с современными компьютерными технологиями

## 2. Место дисциплины в структуре ОП магистратуры

Дисциплина «Математическое моделирование устройств и систем» относится к базовой части общенаучного цикла М1. Изучается в 1 семестре. Освоение дисциплины основывается на знаниях, умениях и владениях, приобретенных студентами на уровне бакалавриата в процессе изучения математических дисциплин, в том числе в области методов численного решения математических задач, методов и алгоритмов приближенных вычислений, математического программного обеспечения. Результаты освоения дисциплины «Математическое моделирование устройств и систем» используются в научно-исследовательской работе магистрантов, выпускных квалификационных работах. Приобретенные знания, умения и владения актуальны для формирования основных профессиональных и общекультурных компетенций выпускника.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП магистратуры

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Код компетенции	Формулировка компетенции	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
<b>ОПК-1</b> Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественно-научную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора.	<b>ИД_ОПК-1.1.</b> Знает тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники.	<b>Знать:</b> основные математические модели, имеющие наиболее широкое распространение при моделировании приборов и устройств электроники и наноэлектроники;
	<b>ИД_ОПК-1.2.</b> Демонстрирует умение использовать передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной сфере деятельности.	<b>Уметь:</b> разбираться в алгоритмах и методах исследования математических моделей и применять их для решения поставленной задачи; осуществлять поиск научно-технической информации;

	<b>ИД_ОПК-1.3.</b> Демонстрирует владение передовым отечественным и зарубежным опытом в профессиональной сфере деятельности.	<b>Владеть:</b> навыками применения стандартных численных методов и алгоритмов в решении задач математического моделирования;
<b>ОПК-3</b> Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач.	<b>ИД_ОПК-3.1.</b> Знает принципы построения локальных и глобальных компьютерных сетей, основы Интернет-технологий, типовые процедуры применения проблемно-ориентированных прикладных программных средств в дисциплинах профессионального цикла и профессиональной сфере деятельности.	<b>Знать:</b> Математические программные средства, позволяющие реализовывать стандартные алгоритмы численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений математической физики;
	<b>ИД_ОПК-3.2.</b> Использует современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций, способствующие повышению эффективности научной и образовательной сфер деятельности.	<b>Уметь:</b> находить необходимые для исследования аналитические и численные методы и алгоритмы; выбирать и анализировать исходные данные для задач электроники, с использованием современных прикладных математических пакетов;
	<b>ИД_ОПК-3.3.</b> Применяет методы математического моделирования приборов и технологических процессов с использованием современных информационных технологий.	<b>Владеть:</b> способностью воспринимать, анализировать и обобщать информацию о математических моделях и способах их исследования на основе компьютерного моделирования;
<b>ОПК-4</b> Способен разрабатывать и применять специализированное программно-математическое обеспечение для проведения исследований и решения инженерных задач.	<b>ИД_ОПК-4.1.</b> Знает методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с помощью современного специализированного программно-математического обеспечения для решения научно-исследовательских задач в области микро- и нанoeлектроники.	<b>Знать:</b> простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нано- электроники различного функционального назначения.
	<b>ИД_ОПК-4.2.</b> Осуществляет выбор наиболее оптимальных прикладных программных пакетов для решения соответствующих задач научной и образовательной деятельности.	<b>Уметь:</b> использовать стандартные программные средства компьютерного моделирования

	<b>ИД_ОПК-4.3.</b> Использует современные программные средства моделирования, оптимального проектирования и конструирования приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.	<b>Владеть:</b> навыками применения методики расчета и моделирования приборов и устройств наноэлектроники.
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 акад.часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости
			Контактная работа						Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Введение в предмет. Примеры задач математического моделирования. Необходимые сведения из алгебры.	1	2		4			10	Фронтальный опрос.
2	Основные понятия теории разностных схем. Примеры разностных аппроксимаций.	1	2		5			10	Фронтальный опрос.
3	Разностные аппроксимации краевых задач для уравнений математической физики. Явные и неявные разностные схемы.	1	2		5	1		11	Фронтальный опрос.
4	Основные понятия теории разностных схем. Аппроксимация, сходимость, устойчивость. Корректность разностной схемы.	1	2		5	1		15	Контрольная работа:
5	Разностные схемы для уравнения теплопроводности. Явная и неявная схемы. Уравнения с переменными коэффициентами и нелинейные уравнения.	1	2		5	1		15	Фронтальный опрос.
6	Многомерные нестационарные задачи математической физики. Экономичные методы решения многомерных задач.	1	4		5	1		12	Фронтальный опрос.

7	Жёсткие системы обыкновенных дифференциальных уравнений.	1	3		5	1		15	Контрольная работа:
						2	0,5	33,5	Экзамен
	<b>Итого за 1 семестр 180 часов</b>		17		34	7	0,5	121,5	
	<b>Всего</b>		<b>17</b>		<b>34</b>	<b>7</b>	<b>0,5</b>	<b>121,5</b>	

### Содержание разделов дисциплины

#### Раздел 1.

Пример нелинейного математического маятника. Сравнение различных подходов. Необходимые сведения из линейной алгебры: линейное нормированное пространство, линейный оператор, норма оператора. Прямые и итерационные методы решения линейных систем алгебраических уравнений. Метод прогонки. Итерационные методы решения линейных систем.

#### Раздел 2.

Основные понятия теории разностных схем. Равномерная и неравномерная сетки. Пространство сеточных функций. Дифференцирование и интегрирование в пространстве сеточных функций. Нормы в пространстве сеточных функций.

#### Раздел 3.

Разностные аппроксимации краевых задач уравнений математической физики. Аппроксимация уравнений. Аппроксимация краевых условий. Понятие шаблона разностной схемы. Схема с весами. Понятие явной и неявной разностной схемы. Построение разностных схем интегро-интерполяционным методом.

#### Раздел 4.

Постановка разностной задачи. Порядок аппроксимации. Сходимость и устойчивость разностных схем. Основная теорема о сходимости разностных схем. Понятие корректности разностной схемы. Пример построения и исследования разностной схемы для краевой задачи. Пример неустойчивой разностной схемы.

#### Раздел 5.

Разностные схемы для уравнений математической физики. Понятие шаблона разностной схемы. Схема с весами. Явные и неявные разностные схемы. Уравнения с переменными коэффициентами. Метод замороженных коэффициентов. Нелинейные уравнения в частных производных. Линеаризация. Исследование устойчивости.

#### Раздел 6.

Разностные уравнения для эволюционных задач с двумя пространственными переменными. Явные и неявные шеститочечные разностные схемы. Метод переменных направлений, дробных шагов. Экономичные методы решения многомерных задач. Исследование устойчивости.

#### Раздел 7.

Жёсткие системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Линейные жёсткие системы, жёсткие линейные краевые задачи. Разностные схемы. Метод удвоения шага. Недостатки метода.

### 5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

**Академическая лекция с элементами лекции-беседы** – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание студентов к наиболее важным темам дисциплины, активно во-

влекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

**Лабораторная работа** – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами. Задачей лабораторных занятий, проводимых в компьютерном классе, является непосредственное формирование необходимых умений и навыков путем работы студентов над поставленными преподавателем задачами. Выполнение учебных заданий проводится в интерактивной форме: решение творческих заданий, индивидуальный и групповой поиск решений поставленных проблем, совместный с преподавателем анализ полученных результатов.

**Консультации** – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

Контроль качества усвоения программного материала проводится с учетом работы студентов на лекциях и лабораторных занятиях.

Самостоятельная работа студентов заключается в изучении рекомендованной литературы, выполнении домашних и индивидуальных заданий.

## **6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе осуществления образовательного процесса используются:  
для проведения лабораторных занятий:

- Windows Pro 7 RUS
- Microsoft Office Std 2013
- MATLAB Academic new Product From 10
- Mathematica Standart Version Educational Bundled;

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

## **7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины**

### **а) основная литература**

1. Бахвалов Н. С. Численные методы: Учеб.пособие для вузов. / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков; М-во выс. и сред. спец. образования СССР - М.: Наука, 1987. - 598 с.: ил.
2. Биркган С. Е. Математическое моделирование: учеб. пособие для вузов. / С. Е. Биркган; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та - Ярославль: ЯрГУ, 2012. - 91 с. <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20120710.pdf>

#### **б) дополнительная литература**

1. Кунцман Ж. Численные методы: пер. с фр. / Ж. Кунцман. - М.: Наука, 1979. - 159 с.
2. Маликов Р. Ф. Основы математического моделирования: учеб. пособие для вузов. / Р. Ф. Маликов; УМО по проф.-пед. образованию - М.: Горячая линия-Телеком, 2010. - 366 с.

#### **в) ресурсы сети «Интернет»:**

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ ([http://www.lib.uni-yar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uni-yar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)).
2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (<http://www.edu.ru> (раздел Учебно-методическая библиотека) или по прямой ссылке <http://window.edu.ru/library>).
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» ([www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)).

#### **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ЯрГУ.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для лабораторных – списочному составу группы обучающихся.

Автор:

Профессор кафедры микроэлектроники и  
общей физики, доктор ф.-м.н.

*должность, ученая степень*

*подпись*

С.О.Ширяева

*И.О. Фамилия*

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Математическое моделирование устройств и систем»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,  
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, ха-  
рактеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущей аттестации**

1. Написать явную разностную схему для первой краевой задачи для уравнения теплопроводности. Найти условия устойчивости разностной схемы.
2. Выписать неявную разностную схему с весами для второй краевой задачи одномерного волнового уравнения и исследовать ее устойчивость.
3. Для конкретной неявной разностной схемы с весами получить условия устойчивости.
4. Исследовать невязку схемы “крест” волнового уравнения.
5. Для конкретной разностной схемы с весами найти условия устойчивости.

**1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации**

1. Понятие разностной схемы. Разностные схемы для уравнения теплопроводности в прямоугольной области.
2. Порядок аппроксимации и устойчивость линейной разностной схемы.
3. Разностная схема для волнового уравнения с одной пространственной переменной. Постановка начальных и граничных условий и их аппроксимация.
4. Разностные схемы краевых задач для уравнения теплопроводности на отрезке. Условия устойчивости явной схемы. Устойчивость неявных схем.
5. Двухслойные разностные схемы и их устойчивость.
6. Сходимость разностной схемы
7. Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Метод Зейделя и метод верхней релаксации.
8. Метод релаксации и метод Якоби решения СЛАУ.
9. Метод прогонки для СЛАУ с трехдиагональной матрицей.
6. Продольно-поперечная разностная схема для уравнения теплопроводности. Аппроксимация.

**Критерии оценивания ответов на вопросы при защите лабораторной работы**

Показатели	На «Зачтено»	На «Не зачтено»
Формулы, команды, вычисления	Применяются необходимые в условиях поставленной задачи команды без синтаксических ошибок; вычисления выполнены в полном объеме и представлены в соответствующем заданию формате.	Используются неприменимые в условиях поставленной задачи команды; в базовых выражениях допущены ошибки; вычисления отсутствуют или выполнены некорректно.
Графики	Построенная зависимость имеет верный вид, по осям указаны аргумент и имя функции со своими единицами, есть шкалы на осях, нанесе-	Вид зависимостей неверный, соответствующее заданию оформление графиков отсутствует.



Показатели	На «Зачтено»	На «Не зачтено»
	ны контрольные метки, соответствующие заданию.	
Объяснения (ответы на смысловые вопросы)	Даны развёрнутые, корректные ответы на все вопросы; правильно интерпретируются результаты вычислений	Объяснение отсутствует.

### Вопросы к экзамену по курсу «Математическое моделирование устройств и систем»

1. Линейное нормированное пространство, линейный оператор, норма оператора.
2. Прямые и итерационные методы решения линейных систем алгебраических уравнений. Метод прогонки.
3. Итерационные методы решения линейных систем.
4. Пространство сеточных функций. Дифференцирование и интегрирование в пространстве сеточных функций. Нормы в пространстве сеточных функций.
5. Разностные аппроксимации краевых задач уравнений математической физики. Аппроксимация уравнений. Аппроксимация краевых условий.
6. Понятие шаблона разностной схемы. Схема с весами. Понятие явной и неявной разностной схемы.
7. Построение разностных схем интегро-интерполяционных методом.
8. Постановка разностной задачи. Порядок аппроксимации. Сходимость и устойчивость разностных схем.
9. Основная теорема о сходимости разностных схем. Понятие корректности разностной схемы. Пример неустойчивой разностной схемы.
10. Разностные схемы для уравнений математической физики. Понятие шаблона разностной схемы. Схема с весами.
11. Явные и неявные разностные схемы.
12. Уравнения с переменными коэффициентами. Метод замороженных коэффициентов.
13. Нелинейные уравнения в частных производных. Линеаризация. Разностные схемы. Исследование устойчивости.
14. Разностные уравнения для эволюционных задач с двумя пространственными переменными. Явные и неявные шеститочечные разностные схемы.
15. Метод переменных направлений, дробных шагов.
16. Экономичные методы решения многомерных задач. Исследование устойчивости.
17. Жёсткие системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

### Описание процедуры выставления оценки

Для успешного освоения дисциплины обязательно:  
выполнение и защита всех лабораторных работ (являются формой текущей аттестации).

Оценка за экзамен складывается из допуска до экзамена, оценки за ответы на вопросы на экзамене. См. ниже таблицу требований.

На «3»	На «4», продвинутый уровень	На «5», высокий уровень
--------	-----------------------------	-------------------------

<p>1. Знание основных методов разработки и исследования основных физических моделей.</p> <p>2. Умение использовать численные и численно-аналитические методы решения задач Коши и краевых задач для дифференциальных уравнений</p>	<p>1. Уверенное знание основных методов разработки и исследования физических моделей.</p> <p>2. Уверенное использование численно-аналитических методов решения задач Коши и краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений математической физики</p>	<p>1. Знание основных методов разработки и исследования относительно сложных, в том числе нелинейных физических моделей.</p> <p>2. Умение использовать разнообразные оптимальные численные методы решения задач Коши и краевых задач для дифференциальных уравнений</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------