

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное автономное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«Национальный исследовательский**  
**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от "30"ноября 2022 г. №13

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Современные вычислительные методы в задачах**  
**электромагнитной совместимости»**

Уровень высшего образования  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и наноэлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакоммуникации и журналистика

Нижний Новгород  
2023 год

### 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Современные вычислительные методы в задачах электромагнитной совместимости» является факультативной дисциплиной по выбору и изучается на 2 году обучения в 3 семестре.

**Целями освоения дисциплины являются:**

- изучение современных численных методов моделирования распространения электромагнитных волн;
- освоение методов представления результатов моделирования и их анализа;
- изучение и моделирование взаимодействия электромагнитного излучения с метаматериалами.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования. Необходимо владеть методами построения дискретных моделей физических систем, уметь составлять и отлаживать сложные программы на одном из современных алгоритмических языков, уметь графически представлять на компьютере результаты моделирования во времени, знать основы электродинамики, в особенности, законы излучения, поглощения и распространения электромагнитных волн.

### 3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет всего - 36 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа – 18 часа, 18 часа – занятия семинарского типа).

**Таблица 2**

**Структура дисциплины**

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Очное						
1. Задачи вычислительной электродинамики. Обзор методов вычислительной электродинамики.	18	3	3		6	12
2. Метод FDTD – метод прямого решения уравнений Максвелла. Дискретная модель электромагнитного поля, ячейка Йи. Схема численного решения уравнений Максвелла.	18	3	3		6	12
3. Условия на внешней границе области моделирования. Оценка эффективности граничных условий.	18	3	3		6	12

2. Источники электромагнитных волн в методе FDTD.	18	3	3		6	12
3. Моделирование распространения электромагнитных волн в средах с дисперсией.	18	3	3		6	12
4. Представление результатов моделирования.	16	3	3		6	10
В т.ч. текущий контроль	2					
Промежуточная аттестация – зачет						

**Таблица 3**

**Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятий	Форма текущего контроля
1	Уравнения Максвелла. Материальные уравнения. Задачи вычислительной электродинамики. Обзор методов вычислительной электродинамики.	Приводятся необходимые сведения из электродинамики: уравнения Максвелла, материальные уравнения, связывающие векторы электрической и магнитной индукции с соответствующими напряжённостями полей. Приводится перечень задач, которые решает вычислительная электродинамика и методов решения.	Лекция	
2	Метод конечных разностей во временной области. Структура данных. Ячейка Йи.	Описывается один из самых популярных методов моделирования в электродинамике – метод FDTD. Приводится схема дискретизации пространства и времени для решения задачи, предложенная Кевином Йи. Приводятся нотации для описания электрического и магнитного полей. Дается схема проведения вычислений. Анализируется проблема устойчивости разностной схемы.	Лекция и практические занятия	Предоставление компьютерной программы, реализующей схему Йи.
3	Условия на внешней границе области моделирования. Условия Мура и Беренджера. Конволюционные граничные условия.	Раздел посвящён методам задания граничных условий на внешней границе области моделирования. Показывается необходимость таких условий. Представлены условия Мура (ABC) и условия Беренджера (PML). Приводится схема реализации условий Беренджера. Представлены более современные	Лекция и практические занятия, на которых программа моделирования дополняется условиями на внешней границе.	Предоставление программы с внешними граничными условиями.

		конволюционные граничные условия.		
4	Источники электромагнитного излучения в методе FDTD. Внешние и внутренние источники.	Приводятся два типа источников излучения, которые используются при FDTD – моделировании: внутренние источники, которые моделируют излучение, возникающее при работе электронных приборов, и внешние источники, чаще всего плоские волны, приходящие из-за пределов области моделирования. Описаны «мягкие» и «жёсткие» типы внутренних источников. Приводится схема TFSF для моделирования внешнего источника.	Лекция и практические занятия, где проводится дальнейшее развитие моделирующей программы.	Предоставление программы, дополненной разными типами источников.
5	Моделирование распространения электромагнитных волн в средах с дисперсией.	В разделе приводятся основы теории дисперсии электромагнитных волн. Рассматриваются методы модификации алгоритма FDTD для моделирования сред с дисперсией: метода конволюционного интеграла, метода вспомогательных уравнений и метода Z-преобразований. Анализируются численные схемы реализации этих методов для модели Друде и Лоренца.	Лекции и практические занятия, построение программы для среды с дисперсией.	Предоставление программы для моделирования среды с дисперсией.
6	Повышение эффективности работы программы по методу FDTD. Параллельные вычисления. Оптимизация структур данных для повышения скорости вычислений.	Раздел содержит оценки скорости работы алгоритма. Показано как можно увеличить скорость за счёт проведения «предварительных» вычислений и хранения данных. Показана возможность параллельных вычислений, приводящих к значительному увеличению эффективности расчёта. Описываются подходы к представлению результатов моделирования средствами компьютерной графики.	Лекции и практические занятия по модификации рабочих программ.	Предоставление окончательного варианта программы.

#### 4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы,

подготовку устного доклада (публичного выступления), подготовку к промежуточной аттестации.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен в п. 7 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, примерные темы для устного доклада (публичного выступления) приведены в п. 6.4 настоящей Рабочей программы дисциплины.

## **5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине**

### **5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.**

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные экзаменаторами);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая лаконичности);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

### **Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме экзамена**

#### **Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета**

<b>Оценка</b>	<b>Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой</b>
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

### **5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине**

5.2.1. При проведении зачета обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины

1. Приведите полную систему уравнений, описывающую взаимодействие электромагнитного излучения с элементами конструкций и средой.
2. Какие методы расчётов применяются в вычислительной электродинамике. Укажите их достоинства и недостатки.
3. Укажите главные достоинства метода конечных разностей во временной области (FDTD). Почему этот метод стал широко использоваться только, начиная с 90-х годов прошлого века?
4. В чём состоит схема Яй дискретного представления электромагнитного поля?
5. Как представляются компоненты электрического и магнитного полей в ячейке Яй?
6. Почему целесообразно вычислять электрическое и магнитное поле в разные моменты времени?
7. Как представляются граничные условия на границе двух диэлектриков в схеме Яй?
8. Как выглядит взаимодействие электромагнитного поля с хорошим проводником в схеме Яй?
9. Какие условия налагаются на шаги пространственной сетки при использовании схемы Яй?
10. Каким условиям должен удовлетворять шаг по времени?
11. Почему в методе FDTD важнейшую роль играют граничные условия на внешних поверхностях области моделирования?
12. Какие типы внешних граничных условий используются в расчётах методом FDTD?
13. Приведите схему граничных условий Беренджера.
14. Как задаются источники излучения в методе FDTD?
15. Приведите схемы задания внутренних источников излучения («жёстких» и «мягких»).
16. Опишите метод TFSF задания внешнего источника плоских волн.
17. Какие существуют методы представления результатов моделирования в TD?
18. Каким образом учитывается дисперсия среды в FDTD вычислениях?
19. Почему метод FDTD удобен для проведения параллельных вычислений?
20. Как меняется схема FDTD при расчётах распространения электромагнитных волн в метаматериалах?

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

1. Митра А. Вычислительные методы в электродинамике. М.: – Мир. 1977. – 480 с. (<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=81487> 2 экз)
2. Поттер Д. Вычислительные методы в физике. М.: –Наука. 1975. – 434 с. (<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=34310> 4 экз)
3. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике (в 2-х томах). М.: – Мир. 1991. – 813 с. (<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=276420> 2 экз; <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=276421> 2 экз)

### б) дополнительная литература:

1. Ландау Л.Д. Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. –М.: Наука. 1982. – 620 с. (<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=81501> 5 экз)
2. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц. – М.: Мир. 1987. – 437 с. (<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=63059> 3 экз)
3. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование. С примерами применения. – Изд. Бином. – 2000. – 537 с. (<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=44909> 1 экз)

### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Пакет разработки приложений для операционной системы Windows Microsoft Visual Studio. (<http://www.visualstudio.com>)
2. Microsoft Developer Network Library. (<http://msdn.microsoft.com/library>)

#### **5. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

- помещения для проведения занятий: лекционного типа (оснащено мультимедийным проектором), компьютерный класс, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ, помещения для занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций;
- лицензионное программное обеспечение
  - Microsoft Visual Studio средства создания компьютерных программ на языке C++.
  - Microsoft Office текстовый редактор и программы презентационной графики.

Автор

Преп. каф. ИТФИ.

\_\_\_\_\_Сёмин Ю.А

Рецензент

Заведующий кафедрой ИТФИ,  
профессор

\_\_\_\_\_Фидельман В.Р.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от  
\_\_\_\_\_2022 года, протокол № б/н