

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

радиофизический

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
президиумом Ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

**Рабочая программа дисциплины
Моделирование волновых процессов методом конечных разностей
во временной области**

Уровень высшего образования
магистратура

Направление подготовки / специальность
**02.04.02 – Фундаментальная информатика и информационные
системы**

Направленность образовательной программы
Автоматизация научных исследований

Квалификация (степень)
магистр

Форма обучения
очная

Нижний Новгород
2023 год

1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Моделирование волновых процессов методом конечных разностей во временной области» относится к дисциплинам по выбору вариативной части основной образовательной программы по направлению **02.04.02 –Фундаментальная информатика и информационные системы**, магистерская программа «Автоматизация научных исследований», является дисциплиной по выбору на 1 курсе (в 1 семестре) магистратуры.

Цель изучения дисциплины состоит в формировании у студента целостной системы знаний по основам компьютерного моделирования волновых процессов и в приобретении практических навыков разработки программ численного моделирования.

Изучение данной дисциплины базируется на дисциплинах, освоенных на предыдущих уровнях обучения: «Электричество и магнетизм», «Электродинамика», «Алгоритмы и языки программирования».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-1 способность руководить научными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками, в области информатики и информационных технологий (ФИИТ), и формировать их новые направления в области профессиональной деятельности	31 (ПК-1) Знать принципы моделирования волновых процессов методом конечных разностей во временной области В1 (ПК-1) Владеть базовыми навыками использования численных методов моделирования волновых процессов методом конечных разностей во временной области

3. Структура и содержание дисциплины «Моделирование волновых процессов методом конечных разностей во временной области»

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 1 час - мероприятия текущего контроля успеваемости), 1 час - мероприятия промежуточной аттестации, 75 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Введение в дисциплину. Обзор практических приложений и различных численных ошибок.	8	2			2	6
2. Построение алгоритмов моделирования в одномерном случае. Выбор сетки. Выбор начальных и граничных условий. Сходимость. Выбор пространственного и временного шагов. Численная дисперсия. Основы написания программ моделирования.	20	6			6	14
3. Моделирование поглощающих и дисперсионных сред. Безотражательные граничные условия в одномерном случае.	14	4			4	10
4. Разделение областей моделирования на область полного и рассеянного полей в одномерном случае. Получение частотных характеристик в одномерном случае.	14	4			4	10
5. Моделирование в двумерном случае. Дискретизация. Алгоритм. Построение сетки. Выбор граничных и начальных условий. Сходимость алгоритма, разделение областей. Написание программ для двумерного случая.	22	8			8	14
6. Поглощающие слои в двумерном случае..	12	4			4	8

7. Разделение областей моделирования в двумерном случае. Задание падающих волн.	8	2			2	6
8. Решение задач рассеяния в двумерном случае.	13	6			6	7
В т.ч. текущий контроль	1	1			1	
Промежуточная аттестация – зачет						

4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий курса «Моделирование волновых процессов методом конечных разностей во временной области» являются лекции с применением технологий интерактивного обучения (презентаций), лабораторные занятия в компьютерном модуле с использованием современных информационных технологий и самостоятельная работа студента.

Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме лекционных занятий с применением технологий интерактивного обучения (презентаций).

Занятия лабораторного типа осуществляются в форме практических занятий в компьютерном модуле с использованием современных информационных технологий.

Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций используемые на занятиях лекционного типа:

- лекции-беседы с использованием мультимедийных средств поддержки образовательного процесса;
- практические занятия с компьютерным оборудованием;
- лекции с проблемным изложением учебного материала.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является зачет, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний по дисциплине. Для активизации познавательного процесса слушателям даются задания по самостоятельной подготовке отдельных фрагментов лекций. Основной акцент воспитательной работы делается на добросовестном, профессиональном выполнении всех учебных заданий.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения лекционных занятий и в конце курса при проведении зачета по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники, а также конспекты лекций.

Список контрольных вопросов для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

6. 1) Разработать программу одномерного моделирования. Что будет происходить, если задать электрическое поле в виде импульса в момент $t=0$, но использовать нулевое значение магнитного поля при $t=-\Delta t/2$? Объяснить результат.

7. 2) Что происходит с импульсом, если использовать для области моделирования граничные условия $H=0$? Объяснить результат.
8. 3) Запустить два импульса (ширина $\tau=5$ фс, расстояние в начальный момент 50 микрон), распространяющиеся навстречу друг другу. Что происходит при их прохождении через друг друга?
9. 4) Создать монохроматическую волну в резонаторе с граничными условиями $E=0$. Убедиться, что происходят периодические колебания во времени при выборе временного шага с $\xi < 1$. Найти, как будет расти поле при $\xi=1.01$, и сравнить коэффициент роста во времени с аналитическим значением, которое получается из дисперсионного анализа для дискретной среды.
10. 5) Используя метод КРВО (конечных разностей во временной области) рассчитать распространение импульса и получить его значительное искажение на больших расстояниях. Теперь, представляя такой же импульс аналитически как суперпозицию плоских волн, рассчитать, используя преобразование Фурье, как он будет распространяться в пространстве с дисперсией $n(\omega)$, полученной для дискретной среды. Сравнить распределения поля импульса после прохождения одного и того же расстояния, используя эти два метода. Получить полное совпадение результатов.
11. 6) Создать в вакууме начальный импульс с длиной волны $\lambda_0=600$ нм и длительностью $\tau=5$ фс. Найти численно и построить коэффициент отражения от полупространства с $\epsilon=2$ в области частот, задаваемой начальным импульсом. Сравнить с аналитической зависимостью.
12. 7) Найти численно и построить коэффициент отражения от полупространства с $\epsilon=2$, но при наличии поглощения с $\sigma=2\omega_0$, где $\omega_0=2\pi c/\lambda_0$. Сравнить с аналитической зависимостью.
13. 8) Написать программу двумерного моделирования для ТЕ поляризации (E_z , H_x , H_y) с использованием поглощающего слоя на границе и разделением области моделирования на область полного поля и область рассеянного поля. Продемонстрировать правильность работы программы: ввод плоской волны в область полного поля через левую границу и ее вывод через правую, поглощение остаточного поля слоем.
14. 9) Используя программу двумерного моделирования, продемонстрировать рассеяние импульса ($\lambda_0=600$ нм, $\tau=5$ фс) с плоским фронтом на диэлектрическом цилиндре (ось вдоль z) с $\epsilon=2$, $R=1200$ нм.
15. 10) Найти численно сечение рассеяния для цилиндра ($\epsilon=2$, $R=1200$ нм) в области частот, задаваемой падающим импульсом ($\lambda_0=600$ нм, $\tau=5$ фс). Построить сечение рассеяния, нормирую его на геометрическое сечение $2R$, как функцию параметра размера $kR=\omega R/c$. Сравнить с аналитическим решением.
16. **Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

- 6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

ПК-1: способность руководить научными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками, в области информатики и информационных технологий (ФИИТ), и формировать их новые направления в области профессиональной деятельности

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)	
	неудовлетворительно	удовлетворительно
Знать современные численные методы решения задач линейной и нелинейной акустики, учитывающие распространения акустических волн в анизотропных средах и эффекты искажения фронта волны	Отсутствие знаний современных численных методов решения задач линейной и нелинейной акустики, учитывающие распространения акустических волн в анизотропных средах и эффекты искажения фронта волны	Достаточное знание современных численных методов решения задач линейной и нелинейной акустики, учитывающие распространения акустических волн в анизотропных средах и эффекты искажения фронта волны

Уметь решать численно задачи линейной и нелинейной акустики неоднородных сред с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	Отсутствие умения решать численно задачи линейной и нелинейной акустики неоднородных сред с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	Достаточное умение решать численно задачи линейной и нелинейной акустики неоднородных сред с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 % – 50 %	51 % - 100 %

6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала.

Зачет проводится в устной форме. Устная часть зачета заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой, вопросы для промежуточного контроля указаны в пункте 5 настоящей рабочей программы дисциплины) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Шкала оценивания «зачет - незачет»:

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ	
	не зачтено	зачтено
Полнота знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущены некоторые погрешности
Наличие умений	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с некоторыми погрешностями. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.
Наличие навыков (владение опытом)	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами
Мотивация (личностное отношение)	Учебная активность и мотивация слабо выражены, готовность решать поставленные задачи качественно отсутствуют	Учебная активность и мотивация проявляются на среднем или высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять поставленные задачи на среднем уровне качества и выше
Характеристика сформированности компетенции	Компетенция в полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных профессиональных задач.
Уровень сформированности компетенций	Низкий	Минимально допустимый и выше

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- письменные и устные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- контрольные задания.

Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используется

- устное собеседование.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Типовые задачи приведены в пункте 5.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

- Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,
- Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Учебно-методическое пособие: А. В. Маслов "Решение электродинамических задач методом конечных разностей во временной области (http://www.unn.ru/books/met_files/fdtd_maslov.pdf)
2. A. Taflov and S. Hagness, "Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method", 3rd edn. Artech House, 2005.
3. D. Sullivan, "Electromagnetic Simulation Using the FDTD Method", 2nd Edition, Wiley-IEEE Press, 2013.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа. Помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения (проекторами), служащими для представления информации большой аудитории.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО/ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению **02.04.02 –Фундаментальная информатика и информационные системы**, магистерская программа «Автоматизация научных исследований».

Автор Маслов А. В.

Рецензент Демин И.Ю.

Заведующий кафедрой Бакунов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии
Радиофизического факультета
от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.