

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Распространение электромагнитных волн в неоднородных средах

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
03.04.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы  
Электромагнитные волны в средах

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.07.01 Распространение электромагнитных волн в неоднородных средах относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений в области своей профессиональной деятельности</p> <p>Уметь: определять наиболее актуальные направления исследований в области профессиональной деятельности</p> <p>Владеть: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Знать: современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных</p> <p>Уметь: систематизировать и анализировать данные большого объема</p> <p>Владеть: навыками работы с большим объемом данных, полученных из различных источников</p>	Тест	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Задания</p>

<p>ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты</p>	<p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</p>	<p>ПК-2.1:</p> <p>Знать: современное состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в области своей профессиональной деятельности</p> <p>Уметь: анализировать современное состояние исследований в области физики и радиофизики</p> <p>Владеть: навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики</p> <p>ПК-2.2:</p> <p>Знать: современные подходы к моделированию различных явлений</p> <p>Уметь: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования</p> <p>Владеть: навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>Знать: основные принципы организации научного исследования</p> <p>Уметь: анализировать процесс выполнения научного исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах</p> <p>Владеть: навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов</p> <p>ПК-2.4:</p> <p>Знать: современные подходы</p>	<p>Индивидуальное устное собеседование</p>	<p>Экзамен: Контрольные вопросы Задания</p>
--	--	---	--	---

		<p>к оценке полученных результатов в области своей профессиональной деятельности</p> <p>Уметь: анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</p> <p>Владеть: навыками оценки полученных результатов и формулировки выводов для выполненной научно-исследовательской задачи</p>		
<p>ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</p>	<p>ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</p> <p>ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу</p> <p>ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика</p>	<p>ПК-3.1:</p> <p>Знать: основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации</p> <p>Уметь: применять заданные требования и правила к оформлению рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</p> <p>Владеть: навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций</p> <p>ПК-3.2:</p> <p>Знать: основные способы представления и продвижения результатов НИР</p> <p>Уметь: структурировать презентационный материал, выделять основные результаты деятельности для их представления и расставлять акценты</p> <p>Владеть: навыками представления результатов НИР перед научным и академическим сообществом</p> <p>ПК-3.3:</p> <p>Знать: основные этапы подготовки НИР и составления проекта НИР</p> <p>Уметь: анализировать</p>	Задания	<p>Экзамен:</p> <p>Задания</p>

		проектную документацию на выполнение НИР Владеть: навыками составления части проектной документации для проведения НИР		
--	--	---	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>32</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>0</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>29</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>45</b> <b>Экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Введение	4	2		2	2
Электромагнитные волны в средах	8	4		4	4
Распространение радиоволн вдоль земной поверхности	16	8		8	8
Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера	11	6		6	5
Распространение радиоволн в ионосфере	11	6		6	5
Распространение радиоволн в тропосфере	11	6		6	5

Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	108	32	0	34	29

### Содержание разделов и тем дисциплины

#### 1. Введение.

Электрические свойства почвы. Комплексная диэлектрическая проницаемость.

#### 2. Электромагнитные волны в средах.

Распространение электромагнитных волн в поглощающих средах. Толщина скин-слоя.

Характеристический импеданс. Приведенный поверхностный импеданс.

Коэффициенты отражения Френеля для ТМ- и ТЕ-волн.

#### 3. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности.

Излучение вертикального электрического диполя, расположенного вблизи плоской поверхности Земли.

Постановка задачи и решение в интегральной форме

Излучение вертикального электрического диполя, расположенного вблизи плоской поверхности Земли.

Области, существенные для распространения и отражения радиоволн.

Излучение вертикального электрического диполя, расположенного вблизи плоской поверхности Земли.

Отражательные формулы.

Излучение вертикального электрического диполя, расположенного вблизи плоской поверхности Земли.

Формула Введенского.

Излучение вертикального электрического диполя, расположенного вблизи плоской поверхности Земли.

Функция ослабления.

Отражение радиоволн от шероховатой поверхности. Критерий Релея.

Дифракция радиоволн на крае плоского экрана. Приближение Кирхгофа.

Дифракция радиоволн на крае плоского экрана. Приближение Кирхгофа.

Основы геометрической теории дифракции.

#### 4. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера.

Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Постановка задачи. Решение в интегральной форме.

Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в дальней зоне.

Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в ближней зоне.

#### 5. Распространение радиоволн в ионосфере.

Дисперсионное уравнение для поперечных волн в холодной изотропной плазме.

Характеристики нормальных волн в однородной магнитоактивной плазме.

Приближение геометрической оптики для поперечных электромагнитных волн в неоднородной изотропной плазме. Уравнение эйконала. Уравнения лучей.

Приближение геометрической оптики для поперечных электромагнитных волн в неоднородной изотропной плазме. Уравнение переноса.

Лучевое приближение для нормальных волн в неоднородной магнитоактивной плазме. Уравнение эйконала. Уравнения лучей. Поляризация нормальных волн.

Лучевое приближение для нормальных волн в неоднородной магнитоактивной плазме. Уравнение переноса.

Линейная трансформация нормальных волн.

6. Распространение радиоволн в тропосфере.

Рефракция радиоволн в тропосфере. Приведенный показатель преломления и индекс рефракции в тропосфере.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

1. Грудинская Галина Петровна. Распространение радиоволн : [учеб. пособие для радиотехн. вузов и фак.]. - М. : Высшая школа, 1967. - 244 с. : черт. - 0.68.
2. Распространение радиоволн : [учебник] / под ред. О. И. Яковлева. - М. : ЛЕНАНД, 2009. - 496 с. - ISBN 978-5-9710-0183-6 : 353.00.
3. Альперт Яков Львович. Распространение электромагнитных волн и ионосфера / АН СССР, Ин-т земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Наука, 1972. - 563 с. : ил. и карт. - 2.95.
4. Гинзбург Виталий Лазаревич. Распространение электромагнитных волн в плазме. - 2-е изд., перераб. - М. : Наука, 1967. - 683 с. : с черт. - 3.01.
5. Гершман Борис Николаевич. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. - М. : Наука, 1984. - 392 с. : ил. - 4.60.
6. Железняков Владимир Васильевич. Электромагнитные волны в космической плазме : Генерация и распространение. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. - 432 с. - 2.66.

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

**5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

1. Толщина скин-слоя

А) пропорциональна частоте волны;

Б) обратно пропорциональна частоте волны;

В) обратно пропорциональна квадратному корню из частоты волны.

2. Поляризация нормальных волн в холодной магнитоактивной плазме при распространении под углом к внешнему магнитному полю

А) линейная;

Б) круговая;

В) эллиптическая.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Распространение электромагнитных волн в поглощающих средах. Толщина скин-слоя.
2. Коэффициенты отражения Френеля для ТМ- и ТЕ-волн.
3. Области, существенные для распространения и отражения радиоволн.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Определить минимальную высоту подъема передающей и приемной антенн радиорелейной линии, считая их равными, при которой влиянием земной поверхности на поле прямой волны можно пренебречь. Расстояние между антеннами – 10 км, длина волны – 10 см.
2. Определить максимальную рабочую частоту радиорелейной линии с антеннами, поднятыми на высоту 30 м над земной поверхностью и расположенными на расстоянии 10 км одна от другой, при которой влиянием земной поверхности на поле прямой волны можно пренебречь.



## Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продemonстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

						полном объеме	
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Грудинская Галина Петровна. Распространение радиоволн : [учеб. пособие для радиотехн. вузов и фак.]. - М. : Высшая школа, 1967. - 244 с. : черт. - 0.68., 2 экз.
2. Распространение радиоволн : [учебник] / под ред. О. И. Яковлева. - М. : ЛЕНАНД, 2009. - 496 с. - ISBN 978-5-9710-0183-6 : 353.00., 10 экз.
3. Альперт Яков Львович. Распространение электромагнитных волн и ионосфера / АН СССР, Ин-т земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Наука, 1972. - 563 с. : ил. и карт. - 2.95., 5 экз.
4. Гинзбург Виталий Лазаревич. Распространение электромагнитных волн в плазме. - 2-е изд., перераб. - М. : Наука, 1967. - 683 с. : с черт. - 3.01., 95 экз.

5. Гершман Борис Николаевич. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. - М. : Наука, 1984. - 392 с. : ил. - 4.60., 27 экз.
6. Железняков Владимир Васильевич. Электромагнитные волны в космической плазме : Генерация и распространение. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. - 432 с. - 2.66., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере / пер. с англ. И. В. Ковалевского и А. П. Кропоткина ; под ред. А. А. Корчака . - М.: Мир, 1973. - 502 с. : ил. - 50.00., 3 экз.
2. Колосов Михаил Александрович. Распространение радиоволн при космической связи / под ред. Б. А. Введенского и М. А. Колосова. - М.: Связь, 1969. - 155 с. : черт. - 0.76., 3 экз.
3. Колосов Михаил Александрович. Рефракция электромагнитных волн в атмосферах Земли, Венеры и Марса. - М. : Советское радио, 1976. - 220 с. - 1.16., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Microsoft Office (номера лицензий: 62421356 (12 шт.), 62421349);
2. Acrobat Professional 11.0 (номера лицензий: 65195558, 6 шт.);
3. Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):  
<http://e.lanbook.com/>;  
<http://www.biblioclub.ru>.

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

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Яшнов Владимир Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Рецензент(ы): Кудрин Александр Владимирович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Калинин Андрей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 09/23.