

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 Ученого совета ННГУ  
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Распространение радиоволн

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

---

Направленность образовательной программы  
Информационные системы и технологии

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.11 Распространение радиоволн 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 собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования подходов, решений и выводов по соответствующим научным и профессиональным проблемам	<p>ПК-1.1: Знает методы обработки и интерпретации данных научных исследований</p> <p>ПК-1.2: Умеет собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований</p> <p>ПК-1.3: Имеет практический опыт сбора, обработки и интерпретации данных научных исследований</p>	<p>ПК-1.1: Знает основные физические явления, процессы и законы, определяющие характер распространения радиоволн в околоземном пространстве. Знает результаты современных научных исследований в области распространения радиоволн в околоземном пространстве</p> <p>ПК-1.2: Умеет использовать основные законы для решения конкретных задач в области распространения радиоволн в околоземном пространстве.</p> <p>ПК-1.3: Умеет формировать выводы по результатам научных исследований</p>	Индивидуальное устное собеседование	Зачёт: Задачи Контрольные вопросы

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2

<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>32</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>16</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>23</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</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	
Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	
Тема 1	0			0	
Введение	2	2		2	
Электромагнитные волны в средах	8	4	2	6	2
Распространение радиоволн вдоль земной поверхности	19	8	4	12	7
Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера	15	6	4	10	5
. Распространение радиоволн в ионосфере	15	6	4	10	5
Распространение радиоволн в тропосфере	12	6	2	8	4
Аттестация	0				
КСР	1			1	
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>49</b>	<b>23</b>

### Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Уравнения Максвелла. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Электромагнитные свойства сред.

Плоские волны в поглощающей среде. Скин-эффект. Плоские неоднородные волны.

Раздел 2. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности

2.1. Задача Зоммерфельда. Строгая постановка задачи об излучении вертикального электрического диполя расположенного вблизи плоской поверхности Земли.

2.2. Отражательные формулы. Области, существенные для отражения радиоволн.

2.3. Формула Введенского.

2.4. Численное расстояние. Функция ослабления. Функция ослабления для малых и больших численных расстояний.

2.5. Интегральное уравнение для функции ослабления. Распространение радиоволн вдоль неоднородной трассы. Береговая рефракция.

2.6. Влияние рельефа местности на распространение радиоволн. Отражение радиоволн от шероховатой поверхности. Критерий Релея.

2.7. Дифракция радиоволн на одиночном препятствии. Дифракция на крае плоского экрана. Усиление препятствием. Приближение Кирхгофа.

Раздел 3. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера

3.1. Модель плоского волновода. Решение задачи об излучении элементарного вертикального электрического диполя в плоском волноводе в интегральной форме.

3.2. Поле в дальней зоне волновода. Разложение по нормальным волнам плоского волновода. Уравнение полюсов. Фазовые скорости и коэффициенты затухания нормальных волн.

3.3. Поле в ближней зоне волновода. Разложение по лучам.

Раздел 4. Распространение радиоволн в ионосфере

4.1. Поперечные электромагнитные волны в однородной изотропной плазме.

4.2. Нормальные волны в однородной магнитоактивной плазме.

4.3. Приближение геометрической оптики для слоистой изотропной плазмы. Уравнение эйконала. Траектории волн. Уравнение переноса.

4.4. Распространение поперечных электромагнитных волн в трехмерно-неоднородной изотропной среде. Уравнения траекторий. Уравнение переноса.

4.5. Распространение нормальных волн в неоднородной магнитоактивной плазме. Уравнение эйконала. Уравнения траекторий. Поляризация нормальных волн. Уравнение переноса.

4.6. Вертикальное зондирование ионосферы. Действующая высота отражения. Ионограмма. Наклонное зондирование ионосферы. Максимальные и минимальные наблюдаемые частоты.

Раздел 5. Распространение радиоволн в тропосфере

5.1. Рефракция радиоволн. Приведенный показатель преломления и индекс рефракции. Эквивалентный радиус Земли. Рассеяние радиоволн неоднородностями тропосферы. Дальнее тропосферное распространение радиоволн.

5.2. Поглощение и рассеяние радиоволн гидрометеорами. Молекулярное поглощение радиоволн. Общие вопросы молекулярного поглощения. Вращательные спектры молекул. Коэффициент молекулярного поглощения. Форма спектральной линии, обусловленная молекулярными соударениями. Доплеровское уширение линий.

5.3. Методики расчетов ослабления радиоволн на вертикальных и наклонных трассах (большие и малые углы места). Астрономическая рефракция радиоволн. Модельные расчеты рефракции.

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.

2. А.В.Калинин, В.А.Яшнов. Основы теории распространения радиоволн . учебное пособие. Н.Новгород: ННГУ. 2022 г.

## 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 - Индивидуальное устное собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

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.
4. Отражательные формулы.
5. Формула Введенского.
6. Функция ослабления (определение).
7. Функция ослабления для малых и больших численных расстояний.
8. Отражение радиоволн от шероховатой поверхности. Критерий Релея.
9. Дифракция радиоволн на крае плоского экрана. Приближение Кирхгофа.
10. Постулаты геометрической теории дифракции.
11. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в дальней зоне.
12. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в ближней зоне.
13. Дисперсионное уравнение для поперечных волн в холодной изотропной плазме.
14. Дисперсионные кривые для нормальных волн в однородной магнитоактивной плазме.
15. Уравнение эйконала, уравнения лучей в неоднородной изотропной плазме.
16. Уравнение эйконала, уравнения лучей, поляризация нормальных волн в неоднородной магнитоактивной плазме.
17. Линейная трансформация нормальных волн.
18. Приведенный показатель преломления и индекс рефракции в тропосфере.
19. Рассеяние радиоволн неоднородностями в тропосфере.
20. Поглощение и рассеяние радиоволн гидрометеорами.
21. Молекулярное поглощение радиоволн.
22. Астрономическая рефракция радиоволн.

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

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты

Оценка	Критерии оценивания
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

## 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 продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<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 некоторыми	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми 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

			недочетами				
--	--	--	------------	--	--	--	--

### 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»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Вертикальный электрический диполь находится на высоте  $h=l/2$  над плоской границей Земли. Считая, что ток в диполе меняется во времени по гармоническому закону, вычислить напряженности электрического и магнитного полей в зоне Фраунгофера и построить диаграмму направленности излучателя. Проводимость Земли считать бесконечно большой. Найти зависимость функции ослабления от проводимости почвы при больших значениях численного расстояния. Проанализировать зависимость мощности принимаемого сигнала от высоты расположения приемной антенны в условиях, когда между передающей и приемной антеннами расположено здание. Найти зависимость дальности распространения ионосферной волны с частотой  $\omega$  от угла выхода луча с земной поверхности  $\vartheta$  в предположении, что электронная концентрация в ионосфере растет с высотой по линейному закону  $N(z)=N_0 z-h L$ , где  $h$  – высота нижней границы ионосферы,  $L$  – характерный масштаб неоднородности.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны

Оценка	Критерии оценивания
	негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используется правильность ответов на следующие вопросы:

1. Электрические свойства почвы. Комплексная диэлектрическая проницаемость.
2. Распространение электромагнитных волн в поглощающих средах. Толщина скин-слоя.
3. Характеристический импеданс. Приведенный поверхностный импеданс.
4. Коэффициенты отражения Френеля для ТМ- и ТЕ-волн.
5. Излучение вертикального электрического диполя, расположенного вблизи плоской поверхности Земли. Постановка задачи и решение в интегральной форме.
6. Излучение вертикального электрического диполя, расположенного вблизи плоской поверхности Земли. Области, существенные для распространения и отражения радиоволн.
7. Излучение вертикального электрического диполя, расположенного вблизи плоской поверхности Земли. Отражательные формулы.
8. Излучение вертикального электрического диполя, расположенного вблизи плоской поверхности Земли. Формула Введенского.
9. Излучение вертикального электрического диполя, расположенного вблизи плоской поверхности Земли. Функция ослабления.
10. Отражение радиоволн от шероховатой поверхности. Критерий Релея.
11. Дифракция радиоволн на крае плоского экрана. Приближение Кирхгофа.
12. Дифракция радиоволн на крае плоского экрана. Приближение Кирхгофа.
13. Основы геометрической теории дифракции.
14. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Постановка задачи. Решение в интегральной форме.
15. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в дальней зоне.
16. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в ближней зоне.
17. Дисперсионное уравнение для поперечных волн в холодной изотропной плазме.
18. Характеристики нормальных волн в однородной магнитоактивной плазме.
19. Приближение геометрической оптики для поперечных электромагнитных волн в неоднородной изотропной плазме. Уравнение эйконала. Уравнения лучей.
20. Приближение геометрической оптики для поперечных электромагнитных волн в неоднородной изотропной плазме. Уравнение переноса.
21. Лучевое приближение для нормальных волн в неоднородной магнитоактивной плазме. Уравнение эйконала. Уравнения лучей. Поляризация нормальных волн.
22. Лучевое приближение для нормальных волн в неоднородной магнитоактивной плазме. Уравнение переноса.
23. Линейная трансформация нормальных волн.
24. Рефракция радиоволн в тропосфере. Приведенный показатель преломления и индекс рефракции в тропосфере.
25. Рассеяние радиоволн неоднородностями в тропосфере.
26. Поглощение и рассеяние радиоволн гидрометеорами.
27. Молекулярное поглощение радиоволн.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись

Оценка	Критерии оценивания
	грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

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

Основная литература:

1. Фейнберг Евгений Львович. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности / РАН, Физ. ин-т им. П. Н. Лебедева. - 2-е изд. - М. : Наука : Физматлит, 1999. - 496 с. - 50.00., 1 экз.
2. Черный Фишель Беркович. Распространение радиоволн. - Изд. 2-е, доп. и перераб. - М. : Советское радио, 1972. - 463 с. : черт. - 1.29., 2 экз.
3. Черенкова Елена Лазаревна. Распространение радиоволн : учеб. для вузов по специальности "Радиосвязь и радиовещание". - М. : Радио и связь, 1984. - 272 с. : ил. - 0.95., 1 экз.
4. Грудинская Галина Петровна. Распространение радиоволн : [учеб. пособие для радиотехн. вузов и фак.]. - М. : Высшая школа, 1967. - 244 с. : черт. - 0.68., 2 экз.
5. Распространение радиоволн : [учебник] / под ред. О. И. Яковлева. - М. : ЛЕНАНД, 2009. - 496 с. - ISBN 978-5-9710-0183-6 : 353.00., 10 экз.
6. Альперт Яков Львович. Распространение радиоволн и ионосфера / АН СССР, Ин-т земного магнетизма, ионосферы и распространение радиоволн. - М. : Изд-во АН СССР, 1960. - 480 с. : ил. - 2.55., 4 экз.
7. Гершман Борис Николаевич. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. - М. : Наука, 1984. - 392 с. : ил. - 4.60., 27 экз.
8. 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.
9. 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.
10. 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.

Дополнительная литература:

1. Кашпровский Вадим Евмениевич. Распространение средних радиоволн земным лучом. - М.: Связь, 1971. - 220 с. : черт. и карт. - 1.21., 1 экз.

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

<https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=867935&idb=0>  
<https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=850217&idb=0>

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

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

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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

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

Рецензент(ы): Юрасова Надежда Валерьевна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Калинин Андрей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 28.11.2024, протокол № 06/24.