

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**

Электродинамика и распространение радиоволн

---

Уровень высшего образования

Специалитет

---

Направление подготовки / специальность

11.05.02 - Специальные радиотехнические системы

---

Направленность образовательной программы

Прием, анализ и обработка сигналов системами специального назначения

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.25 Электродинамика и распространение радиоволн относится к обязательной части 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
ОПК-1: Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретических и экспериментальных исследований, приобретать новые математические и естественнонаучные знания, используя современные образовательные и информационные технологии	ОПК-1.1: Разбирается в основных разделах математических и естественнонаучных дисциплин ОПК-1.2: Применяет основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретических и экспериментальных исследований	ОПК-1.1: Знать основные законы электродинамики и распространения радиоволн Уметь систематизировать знания и сопоставлять различные физические явления теоретическому описанию Владеть навыками использования основных разделов электродинамики при решении практических задач  ОПК-1.2: Знать основные методы математического анализа и моделирования физических явлений Уметь применять основные законы электродинамики к моделированию физических явлений Владеть навыками решения стандартных задач электродинамики и распространения радиоволн	Коллоквиум Тест	Экзамен: Контрольные вопросы
ОПК-7: Способен применять методы анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов современной электроники	ОПК-7.1: Понимает основные методы анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов ОПК-7.2: Использует основные методы анализа и расчета характеристик	ОПК-7.1: Знать основные методы анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов Уметь анализировать физические аспекты теории и возможности ее	Коллоквиум Тест	Экзамен: Задачи

	радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов	<p>использования для моделирования волновых процессов в целях анализа и оптимизации их параметров</p> <p>Владеть навыками анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов</p> <p>ОПК-7.2:</p> <p>Знать основные методы анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов</p> <p>Уметь анализировать физические аспекты теории и возможности ее использования для моделирования волновых процессов в целях анализа и оптимизации их параметров</p> <p>Владеть навыками анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов</p>		
--	---	---	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>8</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>288</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>80</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>48</b>
- КСР	<b>4</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>75</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>81</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	в том числе
--	-------	-------------

	(часы)	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
1.1. Введение	2	1		1	1
1.2. Основные уравнения макроскопической электродинамики и общие свойства электромагнитных полей	6	4		4	2
1.3. Электростатика	41	18	10	28	13
1.4. Постоянные токи	6	2	2	4	2
1.5. Магнитостатика	15	6	4	10	5
1.6. Переменные электромагнитные поля. Общее описание	4	2		2	2
1.7. Электродинамика квазистационарных процессов	9	3	3	6	3
1.8. Волны в однородных средах	9	3	3	6	3
1.9. Волны в неоднородных изотропных средах	11	3	4	7	4
1.10. Излучение заданных источников в безграничной однородной изотропной среде	18	6	6	12	6
2.1. Введение	2	1		1	1
2.2. Канал связи	6	1	1	2	4
2.3. Электромагнитные волны в средах	8	2	1	3	5
2.4. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности	19	8	4	12	7
2.5. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера	13	6	2	8	5
2.6. Распространение радиоволн в ионосфере	19	8	4	12	7
2.7. Распространение радиоволн в тропосфере	15	6	4	10	5
Аттестация	81				
КСР	4			4	
Итого	288	80	48	132	75

### Содержание разделов и тем дисциплины

#### ЧАСТЬ I.

##### 1. Введение

1.1. Основные этапы развития теории электромагнитного поля. Общий характер построения читаемого курса.

1.2. Элементы векторного и тензорного исчисления (краткая сводка основных формул и понятий). Скалярные, векторные и тензорные величины. Дифференциальные операции первого и второго порядков. Дифференциально-векторные тождества. Интегральные теоремы. Криволинейные системы координат.

##### 2. Основные уравнения макроскопической электродинамики и общие свойства электромагнитных полей

- 2.1. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной формах для полей, зарядов и токов в вакууме. Понятие напряженностей электрического и магнитного полей, плотностей тока и заряда. Постулаты, связывающие электромагнитные явления с механическими (выражения для плотности энергии поля и силы Лоренца). Пределы применимости уравнений классической электродинамики.
- 2.2. Макроскопические уравнения Максвелла (в дифференциальной и интегральной формах) для поля в материальной среде как результат усреднения микроскопических уравнений классической электронной теории. Понятие векторов средних макроскопических напряженностей электрического и магнитного полей, электрической и магнитной поляризации и индукции.
- 2.3. Материальные уравнения для различных сред. Диэлектрическая и магнитная проницаемости, проводимость. Сторонние источники. Понятие временной и пространственной дисперсии. Ток и поляризация как результат воздействия полей на среду и как источник этих полей.
- 2.4. Граничные условия для тангенциальных и нормальных компонент векторов поля на произвольной поверхности. Понятие поверхностных зарядов и токов.
- 2.5. Важнейшие общие свойства уравнений Максвелла и их решений. Скаляры, векторы и псевдовекторы в уравнениях Максвелла. Линейность уравнений и принцип суперпозиции решений. Обратимость уравнений во времени. Принцип перестановочной двойственности и магнитные источники.
- 2.6. Законы сохранения, следующие из уравнений Максвелла. Закон сохранения заряда (уравнение непрерывности). Закон сохранения энергии (теорема Пойнтинга). Вектор Пойнтинга и понятие потока электромагнитной энергии. Плотность электромагнитной энергии в среде без дисперсии. Джоулевы потери. Закон сохранения импульса. Понятие плотности электромагнитного импульса и тензора натяжений для поля в вакууме.
- 2.7. Теорема единственности решения уравнений Максвелла при заданных начальных и граничных условиях.
- 2.8. Классификация основных типов электромагнитных явлений: электростатика, токостатика, магнитостатика, квазистационарные процессы, быстропеременные (волновые) поля.

### 3. Электростатика

- 3.1. Уравнения электростатического поля. Скалярный потенциал. Уравнения Пуассона и Лапласа. Граничные условия для потенциала на поверхностях проводников и диэлектриков.
- 3.2. Некоторые общие теоремы электростатики. Теорема единственности решения. Теорема о минимуме и максимуме потенциала. Теорема Ирншоу. Теорема взаимности. Классификация задач электростатики, прямые и обратные задачи.
- 3.3. Прямая задача электростатики для безграничной однородной среды. Функция Грина. Общее решение уравнения Пуассона. Потенциал простого и двойного слоя. Поле произвольной системы зарядов на большом расстоянии от нее. Разложение по мультиполям. Дипольный момент. Тензор квадрупольного момента.
- 3.4. Методы решения прямой задачи при наличии проводников и неоднородных диэлектриков (краевые задачи).
- а) Конструктивные методы: металлизация эквипотенциальных поверхностей; метод изображений; метод заполнения диэлектриком.
- б) Метод разделения переменных. Разделение переменных в уравнении Лапласа в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат. Задача о диэлектрическом шаре в однородном внешнем поле.
- в) Понятие о методе инверсии, методе конформных преобразований, методе возмущений.
- 3.5. Обратная задача электростатики.
- 3.6. Дискретное описание электростатических систем. Линейные соотношения между зарядами и потенциалами проводников. Свойства потенциальных и емкостных коэффициентов. Понятие емкости. Электростатические цепи.

3.7. Энергия электростатического поля. Представление в виде интеграла по области источников. Собственная и взаимная энергия различных подсистем. Энергия взаимодействия внешнего поля с точечным зарядом и точечным диполем. Энергия системы проводников. Теорема Томсона о минимуме электростатической энергии.

3.8. Силы в электростатическом поле. Энергетический метод расчета обобщенных сил. Связь между вариацией энергии и работой сторонних сил в системе проводников с постоянными зарядами или постоянными потенциалами. Силы, действующие на заряд и диполь во внешнем поле; момент сил, действующих на диполь. Плотность силы, действующей на поверхность проводника.

#### 4. Постоянные токи

Уравнения теории постоянных токов в проводящей среде. Граничные условия для плотности тока. Понятие идеального электрода и идеального изолятора. Формальная аналогия с электростатикой; примеры ее использования для решения токовых задач. Понятие сопротивления. Закон Джоуля-Ленца. Токи в квазилинейных проводниках. Законы Кирхгофа.

#### 5. Магнитостатика

5.1. Уравнения, описывающие магнитное поле постоянных токов. Векторный потенциал. Уравнение для векторного потенциала в однородной среде и его решение. Закон Био-Савара.

5.2. Поле произвольной системы токов на большом расстоянии от нее. Магнитный дипольный момент. Поле магнитного диполя.

5.3. Скалярный потенциал магнитного поля. Магнитный листок как эквивалент линейного контура с током. Аналогия между магнитостатическими и электростатическими полями как проявление принципа двойственности. Конструктивные и прямые методы решения краевых задач магнитостатики, аналогичные электростатическим.

5.4. Поля, создаваемые намагниченными телами. Замена намагниченности эквивалентными электрическими токами или магнитными зарядами. Магнитные цепи. Понятие магнитного сопротивления. Законы Кирхгофа для магнитных цепей.

5.5. Энергия и силы в магнитном поле. Представление энергии в виде интеграла по области источников. Энергия системы квазилинейных токов. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции. Сила, действующая на элемент квазилинейного контура с током. Сила и вращающий момент, действующие на магнитный диполь. Плотность объемной силы и тензор натяжений магнитного поля в среде.

#### 6. Переменные электромагнитные поля. Общее описание

6.1. Постановка задачи и различные приближения. Описание переменного электромагнитного поля в общем случае. Дифференциальные уравнения второго порядка для электромагнитных полей. Описание с помощью потенциалов. Градиентная инвариантность. Условие калибровки Лоренца. Волновые уравнения для потенциалов. Вектор Герца. Магнитные потенциалы.

6.2. Гармонические процессы. Комплексная запись полей и уравнений Максвелла. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Связь комплексных полей с потенциалами. Возможность оперирования с произведением комплексных векторов. Комплексная теорема Пойнтинга. Теорема единственности решения уравнений Максвелла для гармонических полей.

#### 7. Электродинамика квазистационарных процессов

7.1. Квазистационарные процессы в проводящих средах. Распределение переменных полей и токов в проводящем полупространстве. Скин-эффект. Граничные условия Леонтовича. Энергетические соотношения при скин-эффекте.

7.2. Квазистационарные процессы в квазилинейных цепях с сосредоточенными параметрами. Возможность пренебрежения запаздыванием передачи взаимодействия и выделение зоны квазистатики.

Законы Кирхгофа для цепей с переменными токами.

## 8. Волны в однородных средах

8.1. Однородные и неоднородные плоские волны в непоглощающей изотропной среде. Ориентация векторов электрического и магнитного поля. Дисперсионное соотношение. Поляризация волны, длина волны, фазовая скорость, характеристический импеданс (волновое сопротивление). Плотность потока энергии в плоской волне. Плоские волны в поглощающей среде.

8.2. Неоднородная плоская волна как суперпозиция двух однородных плоских волн. Поляризация поля в такой волне, длина волны, фазовая скорость, поперечный волновой импеданс, плотность потока энергии. Конструирование поля в волноводе и колебаний в резонаторе из однородных плоских волн. Пример: волна типа TE<sub>10</sub> в прямоугольном волноводе.

8.3. Изотропные среды с временной дисперсией. Связь между индукцией и напряженностью поля. Квазимонохроматические процессы. Энергия монохроматического поля в среде с временной дисперсией. Распространение импульсного сигнала в среде с временной дисперсией. Групповая скорость и скорость энергии. Диффузионное уравнение для огибающей импульса. Расплывание импульса. Пример: колоколообразный импульс, описываемый функцией Гаусса.

## 9. Волны в неоднородных изотропных средах

9.1. Отражение и преломление плоских волн на плоской границе раздела двух сред (формулы Френеля). Нормальное падение. Выражение коэффициента отражения через поперечные волновые импедансы. Формула пересчета импеданса. Использование ее для отыскания коэффициента отражения от плоскопараллельной пластинки. Наклонное падение. Угол Брюстера. Полное внутреннее отражение. Возникновение неоднородных плоских волн при полном отражении. Отражение от хорошо проводящей поверхности и условие Леонтовича.

## 10. Излучение заданных источников в безграничной однородной изотропной среде

10.1. Функция Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения. Представление потенциалов в виде интегралов по области источников. Условие излучения.

10.2. Простейшая излучающая система - элементарный электрический вибратор (диполь Герца). Общее выражение для поля излучения, структура поля в квазистатической и волновой зонах. Диаграмма направленности; сопротивление излучения. Поле магнитного диполя (с использованием принципа двойственности).

10.3. Общее представление поля излучения произвольной системы заданных гармонических токов в дальней зоне. Вектор излучения как пространственная Фурье-гармоника плотности тока. Основные характеристики направленности излучающей системы.

## ЧАСТЬ II.

### 1. Введение

1.1. Диапазоны частот.

1.2. Электрические свойства земной поверхности.

1.3. Структура атмосферы и ионосферы Земли.

1.4. Геометрические свойства земной поверхности. Радиогоризонт.

### 2. Канал связи

2.1. Бюджет канала связи.

2.2. Характеристики канала.

2.3. Замирания в каналах связи.

## 2.4. Дистанционное уравнение.

### 3. Электромагнитные волны в средах

#### 3.1. Уравнения Максвелла.

#### 3.2. Потенциалы электромагнитного поля.

#### 3.3. Плоские, цилиндрические и сферические волны.

#### 3.4. Электромагнитные волны в проводящей среде.

#### 3.5. Импедансы: характеристический, нормальный приведенный поверхностный.

#### 3.6. Коэффициенты отражения Френеля.

### 4. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности

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

#### 4.2. Отражательные формулы. Области, существенные для отражения радиоволн.

#### 4.3. Формула Введенского.

#### 4.4. Диаграмма направленности элементарного диполя, расположенного вблизи земной поверхности.

#### 4.5. Численное расстояние. Функция ослабления. Функция ослабления для малых и больших численных расстояний.

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

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

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

#### 4.9. Основы геометрической теории дифракции.

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

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

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

#### 5.3. Поле в ближней зоне волновода. Разложение по лучам.

### 6. Распространение радиоволн в ионосфере

#### 6.1. Поперечные электромагнитные волны в однородной изотропной плазме.

#### 6.2. Нормальные волны в однородной магнитоактивной плазме.

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

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

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

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

### 7. Распространение радиоволн в тропосфере

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



7.2. 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.

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

#### **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. Задачи по электродинамике. Составители: Гильденбург В.Б., Зайцева А.С., Юрасова Н.В.: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2018. – 53 с.
2. Гильденбург В.Б., Суворов Е.В.: Основы электродинамики. Учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2017 – 113 с.

#### **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 - Коллоквиум) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:**

Часть I.

1. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Уравнение непрерывности. Материальные уравнения.
2. Принцип суперпозиции решения уравнений Максвелла. Принцип двойственности. Закон сохранения заряда.
3. Граничные условия для полей (вывод из уравнений Максвелла). Понятие поверхностных зарядов и токов.

##### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Коллоквиум) для оценки сформированности компетенции ОПК-7:**

Задача 1.

Найти коэффициент самоиндукции  $L_1$  единицы длины коаксиальной линии, образованной сплошным цилиндрическим проводником радиуса  $a$ , вложенным внутрь тонкостенной проводящей трубы радиуса  $b > a$ . По сечению центрального проводника ток распределен равномерно.

Задача 2.

Найти энергию  $W$  и силу  $F$  взаимодействия точечного заряда  $q$  со следующими телами:

- а) с бесконечной проводящей плоскостью; расстояние от плоскости до заряда  $h$ ;
- б) с заземленным проводящим шаром радиуса  $a$ ; расстояние от заряда до центра шара  $b$ ;
- в) то же, что б), но шар изолирован и не заряжен.

**Критерии оценивания (оценочное средство - Коллоквиум)**

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить

Оценка	Критерии оценивания
	полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

1. Потери в канале связи	<p>А) <math>L = P_R / P_T</math> ;</p> <p>Б) <math>L = P_T / P_R</math> ;</p> <p>В) <math>L = 10 \lg(P_R / P_T)</math> ;</p>
2. Дистанционное уравнение в свободном пространстве	<p>А) <math>P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi r)^2}</math> ;</p> <p>Б) <math>P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi r)^4}</math> ;</p> <p>В) <math>P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi r)^2}</math> ;</p>

### 5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ОПК-7:

3. Мощность сигнала на больших расстояниях от источника при распространении вдоль земной поверхности	<p>А) <math>P_R = P_T \frac{G_T G_R h_1^2 h_2^2}{r^4}</math> ;</p> <p>Б) <math>P_R = P_T \frac{G_T G_R h_1^2 h_2^2}{r^2}</math> ;</p> <p>В) <math>P_R = P_T \frac{G_T G_R h_1 h_2}{r}</math> ;</p>
4. Функция ослабления при малых численных расстояниях	<p>А) <math>w = (1 + 2i\sqrt{\pi sr})</math> ;</p> <p>Б) <math>w = 2(1 + i\sqrt{\pi sr})</math> ;</p> <p>В) <math>w = 2(1 + 2i\pi sr)</math> ;</p>

### Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
не	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы 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 продемонстрированы 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 отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы 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	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

	ответа		и недочетами	недочетами		недочетов	
--	--------	--	-----------------	------------	--	-----------	--

### 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 - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Часть I.

1. Описание переменного электромагнитного поля в общем случае. Дифференциальные уравнения второго порядка для электрического и магнитного полей.
2. Описание переменного электромагнитного поля с помощью скалярного и векторного потенциалов. Градиентная инвариантность. Условие калибровки Лоренца.
3. Теорема единственности решения уравнений Максвелла для гармонических полей.

Часть II.

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

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

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

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

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от

Оценка	Критерии оценивания
	ответа.

### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-7

Часть I.

Задача 1.

Записать выражения для проекций электрического и магнитного полей в виде явных зависимостей от координат  $x, y, z$  и времени  $t$  для плоской волны  $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 e^{i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})}$ , у которой векторы  $\mathbf{E}_0$  и  $\mathbf{k}$  лежат в плоскости  $(x, z)$ , и задан угол  $\vartheta$  между  $\mathbf{z}_0$  и  $\mathbf{k}$ .

Задача 2.

Определить диаграмму направленности тонкой антенны длины  $2l$  с током  $I_0 e^{i\omega t}$ . Ток вдоль антенны распределен равномерно.

Часть II.

Задача 1.

Передающая и приемная антенны удалены друг от друга на расстояние 20 км. Вычислить ослабление сигнала на пути от передатчика до приемника на частоте 900 МГц, если обе антенны имеют единичный коэффициент усиления.

Задача 2.

Определить минимальную 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 - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные

Оценка	Критерии оценивания
	задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

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

Основная литература:

1. Никольский Вячеслав Владимирович. Электродинамика и распространение радиоволн : [учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1989. - 543 с. : ил. - ISBN 5-02-014033-3 (в пер.) : 1.60., 155 экз.
2. Вайнштейн Лев Альбертович. Электромагнитные волны. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1988. - 440 с. : ил. - ISBN 5-256-00064-0 (в пер.) : 2.90., 225 экз.
3. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов : в 10 т. Т. 8. Электродинамика сплошных сред / под ред. Л. П.



Питаевского. - 4-е изд., стер. - М. : Физматлит, 2003. - 656 с. - ISBN 5-9221-0123-4 (т. 8). - ISBN 5-9221-0053-X : 256.00., 2 экз.

4. Баскаков Святослав Иванович. Основы электродинамики : [учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов]. - М. : Советское радио, 1973. - 248 с. : с черт. - 0.54., 20 экз.

5. Гольдштейн Лев Давидович. Электромагнитные поля и волны. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Советское радио, 1971. - 662 с. : ил. - 2.25., 25 экз.

6. Тамм Игорь Евгеньевич. Основы теории электричества : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов. - Изд. 11-е, испр. и доп. - М. : Физматлит, 2003. - 616 с. - ISBN 5-9221-0313-X : 272.80., 3 экз.

7. Гильденбург Владимир Борисович. Сборник задач по электродинамике : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физ. направлениям и специальностям. - Изд. 2-е, доп. - М. : Физматлит, 2001. - 168 с. - ISBN 5-9221-0113-7 : 60.00., 229 экз.

8. 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.

9. 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.

10. Грудинская Галина Петровна. Распространение радиоволн : [учеб. пособие для радиотехн. вузов и фак.]. - М. : Высшая школа, 1967. - 244 с. : черт. - 0.68., 2 экз.

11. Распространение радиоволн : [учебник] / под ред. О. И. Яковлева. - М. : ЛЕНАНД, 2009. - 496 с. - ISBN 978-5-9710-0183-6 : 353.00., 10 экз.

12. 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.

13. Гинзбург Виталий Лазаревич. Распространение электромагнитных волн в плазме. - 2-е изд., перераб. - М. : Наука, 1967. - 683 с. : с черт. - 3.01., 95 экз.

14. Гершман Борис Николаевич. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. - М. : Наука, 1984. - 392 с. : ил. - 4.60., 27 экз.

15. 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.

16. 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.

17. 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. Джексон Джон. Классическая электродинамика / пер. с англ. Г. В. Воскресенского и Л. С. Соловьева ; под ред. Э. Л. Бурштейна. - М. : Мир, 1965. - 702 с. : черт. - 2.95., 23 экз.

2. Пановский В. Классическая электродинамика / пер. с англ. В. П. Быкова ; под ред. С. П. Капицы. - М. : Физматгиз, 1963. - 432 с. : черт. - 1.49., 4 экз.

3. Батыгин Владимир Владимирович. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности : учеб. пособие. - Изд. 4-е, перераб. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. - 480 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-0921-1 : 728.20., 40 экз.

4. Терлецкий Яков Петрович. Электродинамика : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов]. - 2-е изд., перераб. - М. : Высшая школа, 1990. - 351, [1] с. : ил. - ISBN 5-06-001543-2 (в пер.) : 1.00., 4 экз.

5. Кашпровский Вадим Евмениевич. Распространение средних радиоволн земным лучом. - М.: Связь, 1971. - 220 с. : черт. и карт. - 1.21., 1 экз.
6. 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):

Не используется.

#### **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 11.05.02 - Специальные радиотехнические системы.

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

Рецензент(ы): Фитасов Евгений Сергеевич, доктор технических наук.

Заведующий кафедрой: Кудрин Александр Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 16.01.2024 г., протокол № №1.