

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

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан \_\_\_\_\_ Матросов В.В.

« 29 » \_\_\_\_\_ июня 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Б1.Б.31 Антенны и распространение радиоволн

(наименование дисциплины (модуля))

**Уровень высшего образования**

специалитет

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

**Направление подготовки / специальность**

10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

**Направленность образовательной программы**

Системы подвижной цифровой защищенной связи

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

**Квалификация (степень)**

специалист

(бакалавр / магистр / специалист)

**Форма обучения**

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2020 г.

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

Дисциплина «Антенны и распространение радиоволн» относится к базовой части профессионального цикла образовательной программы по направлению подготовки 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» направленности «Системы подвижной цифровой защищенной связи».

Дисциплина изучается в 6, 7, 8 и 9 семестрах. Программа лекционного курса опирается на знания, которые студенты должны иметь в результате изучения дисциплин «Физика», «Векторный и тензорный анализ» из базовой части, а также дисциплин «Дифференциальные уравнения», «Электродинамика».

**Целями освоения дисциплины «Антенны и распространение радиоволн» являются:**

- а) формирование у студентов представления о физических принципах излучения и приема электромагнитных волн антеннами различных типов;
- б) формирование у студентов представления о методах расчета и экспериментального исследования основных радиотехнических характеристик наиболее распространенных типов антенн;
- в) развитие знаний студентов по основным задачам современной теории антенных систем;
- г) изучение особенностей формирования и приема пространственно-временных сигналов в различных средах (свободном пространстве, неоднородных средах, случайно-неоднородных волновых каналах);
- д) анализ физических аспектов теории и возможностей ее использования при решении практических задач дистанционного зондирования сред, управления волновыми полями в неоднородных средах, радио- и гидролокации.

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

<b>Формируемые компетенции</b>  (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций</b>
ОПК-3: способность применять положения теорий электрических цепей, радиотехнических сигналов, распространения радиоволн, цифровой обработки сигналов, информации и кодирования, электрической связи для решения профессиональных задач  (этап освоения – базовый, завершающий)	Знать: основные положения теории антенн и распространения радиоволн  Уметь: применять основные положения теории антенн и распространения радиоволн для решения профессиональных задач в области радиосвязи и телекоммуникаций  Владеть: навыками решения стандартных задач теории антенн и распространения радиоволн различных диапазонов

### 3. Структура и содержание дисциплины «Антенны и распространение радиоволн»

Объем дисциплины составляет 10 зачетных единиц, всего 360 часов, из которых 150 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (128 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, в том числе 8 часов – мероприятия текущего контроля успеваемости, 6 часов – мероприятия промежуточной аттестации), 210 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

#### Содержание дисциплины

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	
1.1. Введение.	7	2	1		3	4
1.2. Канал связи.	9	2	1		3	6
1.3. Электромагнитные волны в средах.	11	2	1		3	8
1.4. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности.	28	8	4		12	16
1.5. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера.	23	6	3		9	14
1.6. Распространение радиоволн в ионосфере.	23	6	3		9	14
1.7. Распространение радиоволн в тропосфере.	23	6	3		9	14
2.1. Введение.	2	2			2	
2.2. Основы теории антенн.	42	22			22	20
2.3. Методы измерения радиотехнических	18	8			8	10

характеристик антенн.						
3.1. Введение.	2	2			2	
3.2. Прямые задачи теории антенных систем: расчет поля антенны по заданной функции амплитудно-фазового распределения по апертуре.	32	16			16	16
3.3. Синтез антенн в однородных и неоднородных средах.	28	14			14	14
4.1. Введение.	6	2			2	4
4.2. Основные характеристики канала связи	8	2			2	6
4.3. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности	14	4			4	10
4.4. Распространение радиоволн в городских условиях	16	6			6	10
4.5. Распространение радиоволн в лесных массивах	10	2			2	8
4.6. Экспериментальные статистические данные по распространению радиоволн в городе	14	4			4	10
4.7. Статистические модели, основанные на обобщении экспериментальных данных	14	4			4	10
4.8. Статистическая модель Г.А. Пономарёва, А.Н. Куликова, Е.Д. Тельпуховского	24	8			8	16
В т.ч. текущий контроль	8	8			8	
<b>Промежуточная аттестация: зачет, экзамен</b>						

## Содержание разделов дисциплины

### ЧАСТЬ I

#### **Раздел 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.

#### **Раздел 2. Канал связи**

- 2.1. Бюджет канала связи.
- 2.2. Характеристики канала.
- 2.3. Замирания в каналах связи.
- 2.4. Дистанционное уравнение.

#### **Раздел 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.

#### **Раздел 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.

#### **Раздел 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.

#### **Раздел 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.

## **Раздел 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.

## **ЧАСТЬ II**

### **Раздел 1. Введение.**

1.1. Краткая историческая справка. Типы антенн, используемых в современных системах радиосвязи.

1.2. Принципы классификации антенных устройств. Внешняя и внутренняя задачи в теории антенн.

### **Раздел 2. Основы теории антенн.**

2.1. Уравнения Максвелла. Потенциалы электромагнитного поля. Электромагнитные поля заданных источников. Понятие дальней промежуточной и ближней зон. Электромагнитные поля системы токов в дальней зоне.

2.2. Основные радиотехнические характеристики антенн: диаграмма направленности, коэффициент направленного действия, коэффициент усиления, эффективная площадь, шумовая температура, сопротивление излучения, полоса частот

2.3. Элементарные излучатели и их основные характеристики: электрический и магнитный диполи Герца, элементарная электрическая рамка, элемент Гюйгенса, элементарный турникетный излучатель.

2.4. Вибраторные антенны. Тонкий электрический вибратор. Постановка задачи и вывод интегрального уравнения Галлена. Приближенные методы решения интегрального уравнения Галлена. Распределение тока и заряда вдоль вибратора. Характеристики симметричного вибратора в режиме излучения (диаграмма направленности, излучаемая мощность, сопротивление излучения, коэффициент направленного действия). Численные методы решения интегрального уравнения Галлена. Электромагнитное поле вблизи вибратора. Метод наводимых ЭДС. Поле излучения пары симметричных вибраторов. Теорема перемножения. Диаграммы направленности систем из двух вибраторов. Собственные и взаимные импедансы вибраторов.

2.5. Линейные излучающие системы. Поле излучения непрерывных и дискретных линейных антенн. Идеальный линейный излучатель. Режимы излучения и основные характеристики (диаграмма направленности, коэффициент направленного действия). Влияние неравномерности амплитудного распределения на характеристики линейного излучателя. Влияние детерминированных фазовых искажений на параметры линейной антенны (линейные, квадратичные и кубические фазовые искажения). Характеристики направленности равномерной линейной антенной решетки.

2.5. Апертурные антенны. Плоские излучающие раскрыты. Связь диаграммы направленности и распределения поля в раскрытии (апертуре) антенны. Характеристики направленности плоских прямоугольных и круглых синфазных раскрытий. Метод эквивалентного линейного излучателя в анализе характеристик плоского раскрытия. Рупорные антенны. Излучение электромагнитных волн из открытого конца прямоугольного

волновода. Электромагнитное поле Е- секториальных, Н-секториальных и пирамидальных рупоров.

2.6. Зеркальные антенны. Основные типы зеркальных антенн. Зеркальные параболические антенны. Основные параметры и типы конструкций. Апертурный и токовый методы расчета полей зеркальных антенн. Распределение тока на поверхности параболического зеркала. Распределение поля в апертуре зеркальной антенны. Факторы, влияющие на усиление зеркальной антенны.

### **Раздел 3. Методы измерения радиотехнических характеристик антенн.**

3.1. Сравнительный анализ возможностей и областей применения методов измерений в дальней, промежуточной и ближней зонах антенны.

3.2. Методы измерения в дальней зоне. Особенности применения метода вышки. Схемы измерения амплитудных и фазовых диаграмм направленности. Способы измерения коэффициента усиления антенн.

3.3. Радиоастрономические методы антенных измерений. Методики измерений диаграммы направленности по мощности, коэффициента усиления, шумовой температуры. Возможности корреляционного радиоастрономического способа. Радиоголографический метод измерения характеристик зеркальных антенн.

3.4. Методы и схемы измерений в ближней зоне. Основные соотношения, используемые при обработке результатов.

3.5. Специальные методы измерений, направленные на повышение точности определения характеристик антенн.

## **ЧАСТЬ III**

### **Раздел 1. Введение**

Краткий обзор проблематики курса. Классификация основных задач теории антенн.

### **Раздел 2. Прямые задачи теории антенн**

2.1. Постановка задачи. Расчет поля антенны по заданной функции амплитудно-фазового распределения по апертуре.

2.2. Ближняя зона, волновая зона и дальняя зона антенны. Диаграмма направленности и связанные с ней интегральные характеристики антенны. Коэффициент направленного действия, эффективная апертура, добротность антенны.

### **Раздел 3. Синтез антенн в однородных и неоднородных средах.**

3.1. Синтез антенн как обратная задача теории антенных систем. Синтез линейного излучателя в однородной среде. Постановка задачи синтеза. Необходимые условия существования решения: математические и физические аспекты.

3.2. Точные методы синтеза антенн: метод парциальных диаграмм, метод интеграла Фурье.

3.3. Приближенные методы синтеза.

3.4. Явление сверхнаправленности. Методы регуляризации сверхнаправленных решений задачи синтеза. Функции двойной ортогональности. Некоторые постановки задач синтеза антенн с оптимальными параметрами.

3.5. Синтез антенн в многомодовых волноводах. Примеры приложений.

3.6. Статистическая теория антенн. Прямые задачи: основные эффекты влияния статистических свойств амплитудно-фазового распределения антенны на характеристики направленности. Обратные задачи: статистический синтез антенн.

## **ЧАСТЬ IV**

### **Раздел 1. Введение**

1.1. Особенности распространения радиоволн в системах мобильной связи

### **Раздел 2. Основные характеристики канала связи**

2.1. Потери в радиоканале

2.2. Дистанционное уравнение

2.3. Максимальная зона обслуживания

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

3.1. Отражательные формулы

3.2. Поле на больших расстояниях от источника. Формула Введенского

3.3. Функция ослабления

### **Раздел 4. Распространение радиоволн в городских условиях**

4.1. Распространение радиоволн вдоль улиц (модель плоского волновода)

4.2. Дифракция на одиночном препятствии

4.3. Многократная дифракция

4.4. Распространение радиоволн внутри зданий и помещений

4.5. Распространение радиоволн в туннелях

### **Раздел 5. Распространение радиоволн в лесных массивах**

5.1. Электрофизические свойства растительности

5.2. Детерминированные модели распространения радиоволн в лесных массивах

5.3. Статистические модели распространения радиоволн в лесных массивах

5.4. Эмпирические модели распространения радиоволн в лесных массивах

### **Раздел 6. Экспериментальные статистические данные по распространению радиоволн в городе**

6.1. Закон распределения мелкомасштабных флуктуаций амплитуды в городских условиях

6.2. Закон распределения крупномасштабных флуктуаций амплитуды в городских условиях

6.3. Зависимость средней интенсивности от расстояния при связи между базовой станцией и мобильным пунктом

### **Раздел 7. Статистические модели, основанные на обобщении экспериментальных данных**

7.1. Эмпирические графики Окамуры

7.2. Эмпирические формулы Хаты

7.3. Модель Бардина-Дымовича и Трифонова

### **Раздел 8. Статистическая модель Г.А. Пономарёва, А.Н. Куликова, Е.Д. Тельпуховского**

8.1. Вероятность прямой видимости

8.2. Средний размер незатенённых участков зданий

8.3. Модифицированный метод Кирхгофа

8.4. Общее выражение для функции корреляции УКВ в городе

8.5. Средняя интенсивность принимаемых сигналов

8.6. Угловой энергетический спектр принимаемого сигнала

## **4. Образовательные технологии**

Для реализации компетентного подхода и стимулирования самостоятельной работы обучающихся предусмотрено проведение интерактивных форм занятий в виде семинаров по современным проблемам радиофизики в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

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

1. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.

2. Еженедельно текст каждой прочитанной лекции предлагается студентам для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы.

3. Список вопросов для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

### **ЧАСТЬ I**

1. Область, существенная для распространения радиоволн.

2. Характеристический импеданс. Приведенный поверхностный импеданс.



3. Коэффициенты отражения Френеля для ТМ- и ТЕ-волн.
4. Отражательные формулы.
5. Область, существенная для отражения волн.
6. Формула Введенского.
7. Функция ослабления (определение).
8. Численное расстояние. Функция ослабления для малых и больших численных расстояний.
9. Отражение радиоволн от шероховатой поверхности. Критерий Релея.
10. Дифракция радиоволн на крае плоского экрана. Приближение Кирхгофа.
11. Дифракция радиоволн на одиночном препятствии. Усиление препятствием.
12. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в дальней зоне.
13. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в ближней зоне.
14. Дисперсионное уравнение для поперечных волн в холодной изотропной плазме.
15. Характеристики нормальных волн в однородной магнитоактивной плазме.
16. Приближение геометрической оптики для поперечных электромагнитных волн в неоднородной изотропной плазме. Уравнение эйконала. Уравнения лучей.
17. Лучевое приближение для нормальных волн в неоднородной магнитоактивной плазме. Уравнение эйконала. Уравнения лучей. Поляризация нормальных волн.
18. Рефракция радиоволн в тропосфере. Приведенный показатель преломления и индекс рефракции.
19. Рассеяние радиоволн неоднородностями в тропосфере.
20. Поглощение и рассеяние радиоволн гидрометеорами.
21. Молекулярное поглощение радиоволн.
22. Астрономическая рефракция радиоволн.

## ЧАСТЬ II

1. Ближняя, промежуточная и дальняя зона антенны. Основные свойства поля в дальней зоне.
2. Основные радиотехнические характеристики антенн – диаграмма направленности (по полю и по мощности), основные параметры ДН, способы представления.
3. Основные радиотехнические характеристики антенн – КНД, КУ, КР, КПД,  $S_{эф}$ ,  $T_{ш}$ ,  $R_{изл}$
4. Основные характеристики. (ДН, сопротивление излучения, КНД) элементарных излучателей – электрического и магнитного диполей, электрической рамки.
5. Основные характеристик (ДН, сопротивление излучения, КНД) простейших комбинаций элементарных излучателей – однонаправленный излучатель, турникетный излучатель.
6. Тонкий электрический вибратор. Интегральное уравнение Галена и его решение в первом приближении.
7. Характеристики тонкого электрического вибратора - распределение тока и заряда вдоль вибраторных антенн различной длины,
8. Характеристики тонкого электрического вибратора - ДН, КНД, сопротивление излучения симметричных вибраторных антенн различной длины.
9. Численные методы решения уравнения Галена.
10. Поле вблизи поверхности симметричной вибраторной антенны с синусоидальным распределением тока.
11. Способы измерения распределений тока и заряда вдоль вибраторной антенны.
12. Расчет мощности излучения вибраторной антенны методом наводимых ЭДС.
13. Поле в дальней зоне системы из двух вибраторов. Теорема перемножения.

14. ДН системы из двух вибраторных антенн, возможности управления ДН такой системы.
15. Собственные и взаимные импедансы в системе из двух вибраторных антенн, их расчет и применение.
16. Характеристики (ДН, КНД) идеального линейного излучателя при разных режимах излучения.
17. Влияние неравномерности амплитудного распределения и фазовых искажений на характеристики линейной антенны.
18. Характеристики направленности эквидистантной линейной антенной решетки. Способы подавления побочных максимумов ДН.
19. Определение понятия апертуры (раскрыва) антенны. Применение теоремы эквивалентности к расчету излучения апертурных антенн. ДН плоского излучающего раскрыва.
20. Характеристики направленности плоского синфазного раскрыва, возбуждаемого линейно поляризованной волной.
21. Характеристики направленности (ДН, КНД) плоских синфазных раскрывов прямоугольной и круглой формы.
22. Метод эквивалентного линейного излучателя в анализе характеристик плоского раскрыва.
23. Характеристики излучения (ДН, КНД) рупорных антенн различных типов и размеров.
24. Зеркальная параболическая антенна, конструкция и принцип работы. Апертурный и токовый способы расчета характеристик.
25. Основные факторы, влияющие на усиление зеркальной антенны (парциальные КИП).
26. Офсетные зеркальные антенны, их преимущества и недостатки.
27. Сферические зеркальные антенны, конструкция и принцип работы.
28. Основные методы антенных измерений, сравнение их возможностей и областей применения.
29. Основные методы измерения КУ антенн.
30. Радиоастрономический метод антенных измерений (традиционный). Измеряемые характеристики антенн и параметры сигналов радиоисточников.
31. Методики и алгоритмы измерения ДН, КУ и Тш радиоастрономическим способом.
32. Корреляционный радиоастрономический метод антенных измерений. Схема реализации и его основные преимущества.
33. Радиоголографический метод измерения характеристик антенн по сигналам внеземных радиоисточников. Назначение, алгоритм реализации, основные требования к проведению измерений.
34. Методы измерения характеристик антенн в ближней зоне. Измеряемые характеристики, алгоритмы измерений, сравнение различных кинематических схем сканирования.
35. Способы уменьшения влияния переотражений на результаты измерения параметров антенн. Импульсные методы антенных измерений, варианты реализации/

### ЧАСТЬ III

1. Постановка прямой задачи теории антенн.
2. Приближенные методы расчета поля антенны по заданной функции амплитудно-фазового распределения по апертуре (основные уравнения и приближения).
3. Ближняя зона, волновая зона и дальняя зона антенны (определения, оценки, интерпретация).
4. Диаграмма направленности антенны.
5. Интегральные характеристики антенны: коэффициент направленного действия, добротность, эффективная апертура.
6. Постановка обратной задачи теории антенн.

7. Необходимые условия существования точного решения: математические и физические аспекты.
8. Точные методы синтеза линейного излучателя в однородной среде: метод парциальных диаграмм, метод интеграла Фурье, их взаимосвязь.
9. Постановка задачи приближенного синтеза антенн. Критерий качества решения.
10. Метод приближенного синтеза на основе полиномиальной аппроксимации. Физические ограничения на реализуемость приближенного решения.
11. Явление сверхнаправленности: математические и физические аспекты.
12. Метод регуляризации сверхнаправленных решений задачи синтеза. Функции двойной ортогональности.
13. Постановки задач синтеза антенн с оптимальными параметрами.
14. Уравнения синтеза антенн в многомодовых волноводах. Аналогии с задачей синтеза в свободном пространстве.
15. Классификация задач статистической теории антенн. Основные эффекты влияния статистических свойств амплитудно-фазового распределения антенны на характеристики направленности.
16. Постановки обратной задачи статистической теории антенн. Влияние статистических свойств антенны на регуляризацию сверхнаправленных решений задачи синтеза.

#### Часть IV

1. Потери в радиоканале (определение).
2. Дистанционное уравнение.
3. Максимальная зона обслуживания.
4. Области пространства, существенные для распространения и отражения радиоволн.
5. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. Отражательные формулы.
6. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. Формула Введенского.
7. Распространение радиоволн вдоль улиц. Модель плоского волновода. Физический смысл нормальных волн и лучей.
8. Зависимости мощности принимаемого сигнала от точечного источника при распространении в свободном пространстве, вдоль земной поверхности и вдоль улицы.
9. Постулаты геометрической теории дифракции.
10. Параболическое уравнение в теории распространения радиоволн.
11. Методы расчета мощности принимаемого сигнала в туннелях и коридорах.
12. Электродинамические модели лесных массивов.
13. Закон распределения мелкомасштабных флуктуаций амплитуды в городских условиях.
14. Закон распределения крупномасштабных флуктуаций амплитуды в городских условиях.
15. Вероятность прямой видимости.
16. Средний размер незатенённых участков поверхностей зданий.
17. Зависимость средней интенсивности от расстояния при связи между базовой станцией и мобильным пунктом.
18. Зависимость средней интенсивности от расстояния при связи между двумя низко расположенными пунктами.
19. Масштабы пространственной корреляции крупномасштабных флуктуаций в случае высоко поднятого передатчика.
20. Масштабы пространственной корреляции мелкомасштабных флуктуаций в случае высоко поднятого передатчика.
21. Масштабы пространственной корреляции крупномасштабных флуктуаций в случае низко расположенного передатчика.

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

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:

ОПК-3: способность применять положения теорий электрических цепей, радиотехнических сигналов, распространения радиоволн, цифровой обработки сигналов, информации и кодирования, электрической связи для решения профессиональных задач (этап освоения – базовый, завершающий)

### *Критерии оценок при проведении зачета*

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Оценка	
	не зачтено	зачтено
Знание основных положений теории антенн и распространения радиоволн	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущены некоторые погрешности
Умение применять основные положения теории антенн и распространения радиоволн для решения профессиональных задач в области радиосвязи и телекоммуникаций.	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с некоторыми погрешностями. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами

### *Критерии оценок при проведении экзамена*

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
Знание основных положений теории антенн и распространения радиоволн	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность полноду знания вследствие отказа	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, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	обучающего ся от ответа						
Умение применять основные положения теории антенн и распростране ния радиоволн для решения профессионал ьных задач в области радиосвязи и телекоммуник аций.	Отсутствие минимальны х умений . Невозможно сть оценить наличие умений вследствие отказа обучающего ся от ответа	При решении стандартных задач не продемонстри рованы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстри рованы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продемонстри рованы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстри рованы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонст рированы все основные умения, реше ны все основные задачи с отдельными несуществен ными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонст рированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Владение навыками решения стандартных задач теории антенн и распростране ния радиоволн различных диапазонов	Отсутствие владения материалом. Невозможно сть оценить наличие навыков вследствие отказа обучающего ся от ответа	При решении стандартных задач не продемонстри рованы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстри рованы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстри рованы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонст рированы навыки при решении нестандартн ых задач без ошибок и недочетов.	Продемонст рирован творческий подход к решению нестандартн ых задач
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

## 6.2. Описание шкал оценивания.

Контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета и экзамена.

Зачет проводится в устной форме и заключается в ответе студентом после предварительной подготовки на теоретические вопросы курса и решением практической задачи с последующим его обоснованием. По окончании ответа на вопросы билета в рамках тематики курса проводится собеседование в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ.

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

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала;
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

### Критерии оценок.

Оценка	Уровень подготовки
Зачтено	В целом хорошая подготовка с возможными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы.
Не зачтено	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на дополнительные вопросы.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом, студент демонстрирует творческий подход к решению нестандартных ситуаций. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждая теоретический материал практическими примерами.
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждает теоретический материал практическими примерами.
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей.
Хорошо	В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора.
Удовлетворительно	Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, делает существенные ошибки, но при ответах на наводящие вопросы, может правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ.
Неудовлетворительно	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на дополнительные вопросы экзаменатора.
Плохо	Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы.

6.3. В соответствии с учебным планом подготовки предусмотрена процедура аттестации обучающихся в форме экзамена в конце 6 и 9 семестров и в форме зачета в конце 7 и 8 семестров. При проведении зачета шкала оценивания имеет два значения: зачет, не зачет. При проведении экзамена применяется семибалльная шкала оценивания

Для оценивания результатов обучения в виде знаний и умений используется индивидуальное собеседование по теоретическому вопросу билета, в котором обучающемуся предлагается изложить часть одного из разделов содержания дисциплины.

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

*Пример билета к экзамену в 6 семестре:*

Вопрос 1. Отражение радиоволн от шероховатой поверхности. Критерий Релея.

Вопрос 2. Рефракция радиоволн в тропосфере. Приведенный показатель преломления и индекс рефракции.

Задача. 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  $N(z) = N_0 \frac{z - h_0}{L}$ , где  $h_0$  – высота нижней границы ионосферы,  $L$  – характерный масштаб неоднородности.

*Пример вопроса к зачету в 7 семестре:*

Вопрос 1. Основные факторы, влияющие на усиление зеркальной антенны (парциальные КИП).

*Пример вопроса к зачету в 8 семестре:*

Вопрос 1. Постановка прямой задачи теории антенн.

*Пример билета к экзамену в 9 семестре:*

Вопрос 1. Методы расчета мощности принимаемого сигнала в коридорах.

Вопрос 2. Зависимость средней интенсивности от расстояния при связи между двумя низко расположенными пунктами.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

1. Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД.

2. Положение «О фонде оценочных средств», утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 г. №247-ОД.

3. Болховская О.В., Горбунов А.А., Грибова Е.З., Грязнова И.Ю., Калинин А.В., Канаков О.И., Корчагин А.Б., Мануилов В.Н., Миловский Н.Д., Павлов И.С., Савикин А.П. Методические материалы по определению процедур оценивания сформированности компетенций: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. – 26 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.unn.ru/books/met\\_files/met\\_mat\\_Mil.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/met_mat_Mil.pdf).

4. Петрова И.Э., Орлов А.В. Оценка сформированности компетенций. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2016. 48 с.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Антенны и распространение радиоволн».**

а) основная литература:

1. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. М.: Энергия, 1975. —528с.
2. Хургин Я. И., Яковлев В. П. - Фinitные функции в физике и технике. - М.: Наука, 1971. - 408 с.
3. Шифрин Я. С. - Вопросы статистической теории антенн. - М.: Советское радио, 1970. - 383 с.
4. Яковлев О.И., Якубов В.П., Урядов В.П., Павельев А.Г. Распространение радиоволн. Ленанд, 2009 – 496 с.
5. Гершман Б.Н., Ерухимов Л.М., Яшин Ю.Я. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. – М.: Наука, 1984 392 с.
6. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. – М.: Мир, 1973 – 502 с.

б) дополнительная литература:

1. Проблемы антенной техники./Бахрах Л. Д., Бей Н. А., Братчиков А. Н., [и др. - М.: Радио и связь, 1989. - 368 с.
2. Колосов М.А., Арманд Н.А., Яковлев О.И. Распространение радиоволн при космической связи. – М.: Связь, 1969 – 156 с.

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

Аудиторный фонд ННГУ, мультимедийный проектор, ноутбук.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Авторы программы:

\_\_\_\_\_ Яшнов В.А

\_\_\_\_\_ Калинин А.В.

\_\_\_\_\_ Малеханов А.И.

\_\_\_\_\_ Гавриленко В.Г.

Рецензент \_\_\_\_\_ Флакман А.Г.

Заведующий кафедрой, проф. \_\_\_\_\_ Гавриленко В.Г.

Заведующий кафедрой, проф. \_\_\_\_\_ Кудрин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» июня 2020 года, протокол № 03/20 .