

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Факультет физико-технический

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе,  
качеству образования и первому  
проректору

\_\_\_\_\_ И. В. Хагуров

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Б1.В.ДВ.03.03.03 Распространение радиоволн и  
антенно-фидерные устройства**

Направление подготовки/специальность

**11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**

Направленность (профиль) / специализация

**Оптические системы локации, связи и обработки информации**

Форма обучения

**Заочная**

Квалификация

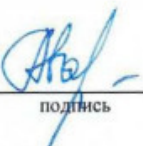
**бакалавр**

Краснодар 2023

Рабочая программа дисциплины Б1.В.ДВ.03.03.03 «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства» составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи (профиль) Оптические системы и сети связи.

Программу составил:

В.М. Аванесов, доцент, к.т.н.



подпись

Рабочая программа дисциплины «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства» утверждена на заседании кафедры оптоэлектроники, протокол №9 от «10» апреля 2023 г.

Заведующий кафедрой оптоэлектроники (разработчика)  
доктор технических наук, профессор Яковенко Н.А.



подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета,  
протокол №10 от « 20 » апреля 2023 г.

Председатель УМК факультета  
доктор физ.-мат. наук, профессор Богатов Н.М.



подпись

Рецензенты:

Ялуплин М.Д., канд. физ.-мат. наук, зам. Начальника по проектной работе  
ГБУЗ МИАЦ МЗ КК

Исаев В.А., д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры теоретической физики и компьютерных технологий ФТФ КубГУ

## **1 Цели и задачи освоения дисциплины**

### **1.1 Цель освоения дисциплины**

Целью прохождения ознакомительной практики является достижение следующих результатов образования:

- подготовка студентов по теоретическим основам, принципам построения, практическому проектированию трактов приема и аналого-цифровой обработки сигналов радиотехнических систем различного назначения;
- получение профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности в сфере радиотехнических средств передачи, приема и обработки сигналов;
- практическое закрепление и углубление теоретических знаний обучающихся, полученных при изучении дисциплин Блока 1;
- комплексное формирование компетенций (ПК-2; ПК-6) обучающихся, приобретение ими практических навыков, необходимых для последующей производственной деятельности в условиях современного рынка физики и технологий радиоэлектронных приборов и устройств.

### **1.2 Задачи освоения дисциплины**

Задачи ознакомительной практики (практики по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности) включают в себя:

- закрепление теоретических знаний, полученных в результате освоения теоретических курсов и самостоятельной работы;
- способность к сбору исходных данных и планированию модернизации сетевых устройств и программного обеспечения инфокоммуникационных систем (ПК-2);
- способность осуществлять сбор, обработку и анализ статистической информации по работе телекоммуникационного оборудования (ПК-6).

### **1.3 Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Место дисциплины (практики по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности) в структуре ООП определяется следующим.

Дисциплина «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства» относится к обязательной части, формируемой участниками образовательных отношений (Блок 1).

Дисциплина является составной частью учебных программ подготовки студентов бакалавриата.

Дисциплина является видом учебной работы, основным содержанием которой является выполнение практических учебных и учебно-исследовательских заданий, соответствующих характеру будущей профессиональной деятельности студента, обучающегося по направлению 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи по профилю: «Оптические системы и сети связи».

Дисциплина закрепляет знания и умения, приобретаемые студентами бакалавриата в результате освоения теоретических курсов, вырабатывает первичные практические навыки, способствует формированию профессиональных компетенций обучающихся.

Дисциплина бакалавра в соответствии с ООП базируется на полученных обучающимися ранее знаниях по следующим дисциплинам: «Молекулярная физика», «Механика», «Электричество и магнетизм», «Математический анализ», «Аналитическая геометрия», «Введение в информатику», «Алгоритмизация и программирование», «Инженерная и компьютерная графика», «Иностранный язык».

Содержание дисциплины логически и методически тесно взаимосвязано с вышеуказанными дисциплинами, поскольку главной задачей учебной практики является закрепление и углубление теоретических знаний и практических умений, полученных студентами при изучении естественнонаучных и профессиональных дисциплин в области радиотехнических средств передачи, приема и обработки сигналов.

В процессе освоения дисциплины по получению первичных профессиональных умений и навыков обучающийся должен формировать умения и готовности решать следующие профессиональные задачи:

- способность к сбору исходных данных и планированию модернизации сетевых устройств и программного обеспечения инфокоммуникационных систем (ПК-2);
- способность осуществлять сбор, обработку и анализ статистической информации по работе телекоммуникационного оборудования (ПК-6).

Прохождение ознакомительной практики предшествует и необходимо для изучения дисциплин: «Основы теории цепей», «Электроника», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Введение в робототехнику», «Радиоматериалы и радиокомпоненты», «Радиотехнические цепи и сигналы», «Цифровые устройства и микропроцессоры», «Радиоавтоматика», «Основы компьютерного моделирования и проектирования РЭС», «Схемотехника аналоговых электронных устройств», «Цифровая обработка сигналов», «Радиотехнические системы», «Технологии компоновки РЭА», «Устройства генерирования и формирования сигналов», а также для подготовки и защиты курсовых проектов.

#### 1.4 Перечень планируемых результатов обучения при прохождении ознакомительной практики

В результате прохождения ознакомительной практики студент должен приобрести следующие компетенции.

Код компетенция	Результаты обучения
<b>ПК-2</b> Способен к сбору исходных данных и планированию модернизации сетевых устройств и программного обеспечения инфокоммуникационных систем	<b>Знать:</b> пакеты прикладных программ для моделирования объектов и процессов; типовые методики процессов построения модельных объектов и процессов в радиотехнических системах
	<b>Уметь:</b> использовать методики и прикладные программы моделирования
	<b>Владеть:</b> процессами моделирования объектов и процессов радиотехнических систем
<b>ПК-6</b> Способен осуществлять сбор, обработку и анализ статистической информации по работе телекоммуникационного оборудования	<b>Знать:</b> способы анализа процесса моделирования принципиальных схем, радиоэлектронных устройств
	<b>Уметь:</b> выполнять верификацию процесса моделирования радиотехнических устройств и систем
	<b>Владеть:</b> методами анализа и верификации процессов моделирования радиотехнических устройств и систем

Результаты обучения по дисциплине достигаются в рамках осуществления всех видов контактной и самостоятельной работы обучающихся в соответствии с утвержденным учебным планом.

Индикаторы достижения компетенций считаются сформированными при достижении соответствующих им результатов обучения.

## 2 Структура и содержание дисциплины

### 2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 62,3 часа выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, и 46,8 часа самостоятельной работы обучающихся. Распределение зачетных единиц (часов) по видам работ и семестрам представлено в таблице

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры (часы)			
		7			

<b>Контактная работа, в том числе:</b>	62,3	62,3			
<b>Аудиторные занятия (всего):</b>	56	56			
Занятия лекционного типа		12			
Лабораторные занятия		34			
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия)		10			
<b>Иная контактная работа:</b>	6,3	6,3			
Контроль самостоятельной работы (КСР)	6	6			
Промежуточная аттестация (ИКР)	0,3	0,3			
<b>Самостоятельная работа, в том числе:</b>	55	55			
Курсовая работа					
Контрольная работа					
Расчетно-графическая работа					
Реферат / эссе (подготовка)					
Проработка учебного (теоретического) материала					
Самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам)	55	55			
Подготовка к текущему контролю					
<b>Контроль:</b>					
Подготовка к экзамену	26,7	26,7			
Общая трудоемкость	144	144	144		
	в т.ч. контактная работа	62,3	62,3		
	4	4	4		

## 2.2 Содержание дисциплины

Содержание разделов программы дисциплины в 7 семестре, распределение бюджета времени практики на их выполнение представлено в таблице.

№ п/п	Наименование разделов (тем)	Количество часов					
		Всего	Аудиторная работа			КСР	Внеаудиторная работа СРС
			Л	ПЗ	ЛР		
1	Раздел 1. Введение. Исходные понятия и используемый математический аппарат	15,8	2	2	0	0,8	11
1.1	Определение электромагнитного поля и его физических величин. Математический аппарат теории электромагнитного поля	0,5	0,5			0,2	3
1.2	Физические величины, характеризующие электромагнитное поле. Источники электромагнитного поля	0,5	0,5			0,2	3
1.3	Макроскопическая теория электромагнитного поля; единицы измерения электромагнитных величин в СИ; поля и операции векторного анализа: векторы и действия над ними, поле и операции векторного анализа.	0,5	0,5			0,2	3
1.4	Пространственные дифференциальные операторы в теории поля.	0,5	0,5			0,2	2
2	Раздел 2. Основные законы теории электромагнитного поля	25,4	2	1	10	0,4	12
2.1	Уравнения Максвелла в однородной и изотропной среде, материальные уравнения в ди-	0,5	0,5	4		0,1	3

	электрике и проводящей среде. Плоские гармонические волны в однородной среде, показатели поглощения и преломления.						
2.2	Диэлектрические потери. Поток энергии электромагнитной волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Закон сохранения энергии		0,5		4	0,1	3
2.3	Отражение и преломление волн на границе раздела. Зависимость модулей и фаз коэффициентов Френеля от угла падения на границу раздела.		0,5		2	0,1	3
2.4	Угол Брюстера. Предельный угол полного отражения.		0,5	0,5		0,1	3
3	Раздел 3. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов. Дифракция и отражение радиоволн.	21	2	2	8	1	8
3.1	Распространение электромагнитные волн в среде с дисперсией: зависимость от частоты фазовой скорости и амплитуды. Комплексное волновое число		0,5	0,5	2	0,2	2
3.2	Пространственная дисперсия. Уравнения Максвелла для среды с пространственной дисперсией. Волновой вектор, магнитная проницаемость, проводимость. Частотная дисперсия диэлектрической проницаемости		0,5	0,5	2	0,2	2
3.3	Комплексный вектор поляризация среды. Распространение волн в средах со свободными зарядами. Плазма		0,5	0,5	2	0,3	2
3.4	Диэлектрическая проницаемость и проводимость при наличии подвижных зарядов. Плазменная частота. Поглощение электромагнитной волны при отражении и прохождении слоя плазмы		0,5	0,5	2	0,3	2
4	Раздел 4. Электромагнитные волны в направляющих системах и поля резонаторов	16,8	2	2	4	0,8	8
4.1	Внешняя и внутренняя граничные задачи; первичное и вторичное электромагнитные поля. Постановка и решение граничной задачи о возбуждении волн в прямоугольном волноводе		0,5	0,5		0,2	2
4.2	Характеристики волн в прямоугольном волноводе; критическая длина волны. Избирательные свойства прямоугольного волновода. Волна основного типа		0,5	0,5		0,2	2
4.3	Постановка и решение граничных задач о возбуждении волн в круглом волноводе. Характеристики волн в круглом волноводе. Волна основного типа. Волны основного типа в коаксиальной линии и в микрополосковой линии		0,5	0,5	2	0,2	2
4.4	Постановка и решение граничных задач о возбуждения поля в прямоугольном резонаторе; типы колебаний, собственные резонансные частоты. Колебание основного типа в прямоугольном, цилиндрическом и коаксиальном резонаторах		0,5	0,5	2	0,2	2
5	Раздел 5. Радиотехнические характеристики и параметры передающих антенн	18	2	2	4	2	8
5.1	Назначение передающих антенн и их функции		0,5	0,5	1	0,5	2

5.2	Передающая антенна как нагрузка для генератора, её энергетические параметры. Диапазонные и поляризационные свойства передающих антенн		0,5	0,5	1	0,5	2
5.3	Диаграммы направленности передающей антенны. Ширина главного лепестка и уровень боковых лепестков		0,5	0,5	1	0,5	2
5.4	Коэффициент направленного действия и коэффициент усиления передающей антенны. Фазовая диаграмма. Фазовая диаграмма направленности антенны		0,5	0,5	1	0,5	2
6	Раздел 6. Радиотехнические характеристики и параметры приемных антенн	20	2	1	8	1	8
6.1	Особенности функционирования антенны в режиме приема		0,5	0,5	2	0,2	2
6.2	Диаграмма направленности приемной антенны и ее параметры		0,5		2	0,2	2
6.3	Эквивалентная схема приемной антенны, ее энергетические характеристики		0,5		2	0,3	2
6.4	Понятие о пространственной, частотной и поляризационной согласованности передающей и приемной антенн		0,5	0,5	2	0,3	2
	Итого по дисциплине за 8-й семестр:	144	12	10	34	6	55

Примечание: Л – лекции, ПЗ – практические занятия / семинары, ЛР – лабораторные занятия, СРС – самостоятельная работа студента

## 2.3 Содержание разделов (тем) дисциплины

### 2.3.1. Занятия лекционного типа

№ п/п	Наименование раздела (темы)	Содержание раздела (темы)	Форма текущего контроля
1.	Раздел 1. Введение. Исходные понятия и используемый математический аппарат	Определение электромагнитного поля и его физических величин. Математический аппарат теории электромагнитного поля. Физические величины, характеризующие электромагнитное поле. Источники электромагнитного поля. Макроскопическая теория электромагнитного поля; единицы измерения электромагнитных величин в СИ; поля и операции векторного анализа: векторы и действия над ними, поле и операции векторного анализа. Пространственные дифференциальные операторы в теории поля.	Результаты устного или тестового опросов изученного материала
2.	Раздел 2. Основные законы теории электромагнитного поля	Уравнения Максвелла в однородной и изотропной среде, материальные уравнения в диэлектрике и проводящей среде. Плоские гармонические волны в однородной среде, показатели поглощения и преломления. Диэлектрические потери. Поток энергии электромагнитной волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Отражение и преломление волн на границе раздела. Зависимость модулей и фаз коэффициентов Френеля от угла падения на границу раздела. Угол Брюстера. Предельный угол полного отражения.	Результаты устного или тестового опросов изученного материала
3.	Раздел 3. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов. Дифракция и отражение радиоволн	Распространение электромагнитных волн в среде с дисперсией: зависимость от частоты фазовой скорости и амплитуды. Комплексное волновое число. Пространственная дисперсия. Уравнения Максвелла для среды с пространственной дисперсией. Волновой вектор, магнитная проницаемость, проводимость. Частотная дисперсия диэлектрической проницаемости. Комплексный вектор поляризации среды. Распространение волн в средах со свободными зарядами. Плазма. Диэлектрическая проницаемость и проводимость при наличии подвижных зарядов. Плазменная частота. Поглощение электромагнитной волны при отражении и прохождении слоя плазмы	Результаты устного или тестового опросов изученного материала

4.	Раздел 4. Электромагнитные волны в направляющих системах и поля резонаторах	Внешняя и внутренняя граничные задачи; первичное и вторичное электромагнитные поля. Постановка и решение граничной задачи о возбуждении волн в прямоугольном волноводе. Характеристики волн в прямоугольном волноводе; критическая длина волны. Избирательные свойства прямоугольного волновода. Волна основного типа. Постановка и решение граничных задач о возбуждении волн в круглом волноводе. Характеристики волн в круглом волноводе. Волна основного типа. Волны основного типа в коаксиальной линии и в микрополосковой линии. Постановка и решение граничных задач о возбуждения поля в прямоугольном резонаторе; типы колебаний, собственные резонансные частоты. Колебание основного типа в прямоугольном, цилиндрическом и коаксиальном резонаторах	Результаты устного или тестового опросов изученного материала
5.	Раздел 5. Радиотехнические характеристики и параметры передающих антенн	Назначение передающих антенн и их функции. Передающая антенна как нагрузка для генератора, её энергетические параметры. Диапазонные и поляризационные свойства передающих антенн. Диаграммы направленности передающей антенны. Ширина главного лепестка и уровень боковых лепестков. Коэффициент направленного действия и коэффициент усиления передающей антенны. Фазовая диаграмма. Фазовая диаграмма направленности антенны	Результаты устного или тестового опросов изученного материала
6.	Раздел 6. Радиотехнические характеристики и параметры приемных антенн	Особенности функционирования антенны в режиме приема. Диаграмма направленности приемной антенны и ее параметры. Эквивалентная схема приемной антенны, ее энергетические характеристики. Понятие о пространственной, частотной и поляризационной согласованности передающей и приемной антенн	Результаты устного или тестового опросов изученного материала

### 2.3.2. Занятия семинарского типа (практические / семинарские занятия)

№ п/п	Наименование раздела (темы)	Содержание раздела (темы)	Форма текущего контроля
7.	Раздел 1. Введение. Исходные понятия и используемый математический аппарат	Определение электромагнитного поля и его физических величин. Математический аппарат теории электромагнитного поля. Физические величины, характеризующие электромагнитное поле. Источники электромагнитного поля; единицы измерения электромагнитных величин в СИ; поля и операции векторного анализа: векторы и действия над ними, поле и операции векторного анализа. Пространственные дифференциальные операторы в теории поля.	Результаты устного или тестового опросов изученного материала
8.	Раздел 2. Основные законы теории электромагнитного поля	Уравнения Максвелла в однородной и изотропной среде, материальные уравнения в диэлектрике и проводящей среде. Плоские гармонические волны в однородной среде, показатели поглощения и преломления. Диэлектрические потери. Поток энергии электромагнитной волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Закон сохранения энергии. Отражение и преломление волн на границе раздела. Зависимость модулей и фаз коэффициентов Френеля от угла падения на границу раздела. Угол Брюстера. Предельный угол полного отражения.	Результаты устного или тестового опросов изученного материала
9.	Раздел 3. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов. Дифракция и отражение радиоволн	Распространение электромагнитных волн в среде с дисперсией: зависимость от частоты фазовой скорости и амплитуды. Комплексное волновое число. Пространственная дисперсия. Уравнения Максвелла для среды с пространственной дисперсией. Волновой вектор, магнитная проницаемость, проводимость. Частотная дисперсия диэлектрической проницаемости. Комплексный вектор поляризация среды. Распространение волн в средах со свободными зарядами. Плазма. Диэлектрическая проницаемость и проводимость при наличии подвижных зарядов. Плазменная частота. Поглощение электромагнитной волны при отражении и прохождении слоя плазмы	Результаты устного или тестового опросов изученного материала
10.	Раздел 4. Электромагнитные волны в направляющих системах и поля резонаторах	Внешняя и внутренняя граничные задачи; первичное и вторичное электромагнитные поля. Постановка и решение граничной задачи о возбуждении волн в прямоугольном волноводе. Характеристики волн в прямоугольном волноводе; критическая длина волны. Избирательные свойства прямоугольного волновода. Волна основного	Результаты устного или тестового опросов изученного материала



		типа. Постановка и решение граничных задач о возбуждении волн в круглом волноводе. Характеристики волн в круглом волноводе. Волна основного типа. Волны основного типа в коаксиальной линии и в микрополосковой линии. Постановка и решение граничных задач о возбуждения поля в прямоугольном резонаторе; типы колебаний, собственные резонансные частоты. Колебание основного типа в прямоугольном, цилиндрическом и коаксиальном резонаторах	
11.	Раздел 5. Радиотехнические характеристики и параметры передающих антенн	Назначение передающих антенн и их функции. Передающая антенна как нагрузка для генератора, её энергетические параметры. Диапазонные и поляризационные свойства передающих антенн. Диаграмма направленности передающей антенны. Ширина главного лепестка и уровень боковых лепестков. Коэффициент направленного действия и коэффициент усиления передающей антенны. Фазовая диаграмма. Фазовая диаграмма направленности антенны	Результаты устного или тестового опросов изученного материала
12.	Раздел 6. Радиотехнические характеристики и параметры приемных антенн	Особенности функционирования антенны в режиме приема. Диаграмма направленности приемной антенны и ее параметры. Эквивалентная схема приемной антенны, ее энергетические характеристики. Понятие о пространственной, частотной и поляризационной согласованности передающей и приемной антенн	Результаты устного или тестового опросов изученного материала

### 2.3.3. Занятия лабораторного типа

№ п/п	Наименование раздела (темы)	Содержание раздела (темы)	Форма текущего контроля
1.	Раздел 2. Радиотехнические характеристики и параметры приемных антенн	Исследование характеристик антенны в режиме приема. Диаграмма направленности антенны и ее параметры  Исследование характеристик антенны в режиме приема. Эквивалентная схема антенны, ее энергетические характеристики.	Результаты устного или тестового опросов изученного материала
2.	Раздел 4. Основы теории линейных антенн	Исследование характеристик линейной антенны в режиме приема. Диаграмма направленности антенны и ее параметры	Результаты устного или тестового опросов изученного материала
3.	Раздел 6. Антенные устройства	Исследование характеристик вибраторной антенны, симметричного и несимметричного вибратора. Исследование характеристик рупорной антенны	Результаты устного или тестового опросов изученного материала

## 3 Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

В ходе изучения дисциплины предусмотрено использование следующих образовательных технологий: лекции, практические занятия, проблемное обучение, модульная технология, подготовка письменных аналитических работ, самостоятельная работа студентов.

Компетентностный подход в рамках преподавания дисциплины реализуется в использовании интерактивных технологий и активных методов (проектных методик, мозгового штурма, разбора конкретных ситуаций, анализа педагогических задач, педагогического эксперимента, иных форм) в сочетании с внеаудиторной работой.

Информационные технологии, применяемые при изучении дисциплины: использование информационных ресурсов, доступных в информационно-телекоммуникационной сети Интернет.

Адаптивные образовательные технологии, применяемые при изучении дисциплины – для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

При реализации учебной работы по освоению курса используются информационно-коммуникационные технологии, исследовательские методы в обучении, проблемное обучение.

Успешное освоение материала курса предполагает самостоятельную работу студентов и руководство этой работой со стороны преподавателей.

#### **4 Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «Устройства приема, передачи и обработки сигналов».

Оценочные средства включает контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме тестовых заданий, доклада-презентации по проблемным вопросам, разноуровневых заданий, ролевой игры, ситуационных задач (указать иное) и промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий (указать иное) к экзамену (дифференцированному зачету, зачету).

1. Понятие волнового процесса. Амплитудные, фазовые соотношения. Волновое уравнение. Гармонические волны. Уравнение Гельмгольца. Комплексное волновое число.
2. Плоские волны в однородной и изотропной среде. Общее решение волнового уравнения. Фаза волны. Разложение на гармонические составляющие. Волновой вектор в комплексном представлении.
3. Уравнения Максвелла в однородной и изотропной среде, материальные уравнения в диэлектрике и проводящей среде. Понятие импеданса.
4. Плоские гармонические волны в однородной среде, показатели поглощения и преломления. Диэлектрические потери. Предельные случаи малых и больших потерь. Глубины проникновения волн внутрь среды.
5. Поток энергии электромагнитной волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Закон сохранения энергии.
6. Закон сохранения энергии при адиабатическом распространении звуковой волны. Плотность потока энергии упругой волны.
7. Поляризация электромагнитных волн. Множитель поляризации. Физический смысл параметров Стокса.
8. Отражение и преломление волн на границе раздела. Зависимость модулей и фаз коэффициентов Френеля от угла падения на границу раздела. Угол Брюстера. Предельный угол полного отражения. Структура поля электромагнитные волны при полном внутреннем отражении. Изменение амплитуды, фазы и поляризации волны.
9. Свойства электромагнитные волны при прохождении границы раздела диэлектрик - проводник.
10. Применение приближенных граничных условий Леонтовича при распространении волн над проводящей поверхностью. Расчет коэффициента Френеля для горизонтально поляризованных волн.
11. Для каких целей применяется антенна?
12. Что характеризуется диаграмма направленности антенны?
13. Чем отличается КНД от КПД антенны?
14. Как определяется коэффициент усиления антенны?
15. Что подразумевается под понятием «сопротивление излучения» и от каких параметров оно зависит?
16. Что такое «феддинг»?
17. Чем отличаются антенны длинных волн от антенн средних волн?
18. Как устроена антенна типа «волновой канал»?
19. Как работает параболическая антенна?
20. Почему параболическую антенну выполняют с вынесенным облучателем?

21. Рупорные антенны. Е – секторальный рупор, Конструкция. Основные характеристики. Области применения.
22. Рупорные антенны. Пирамидальный рупор. Конструкция. Основные характеристики. Области применения.
23. Рупорные антенны. Конический рупор. Конструкция. Основные характеристики. Области применения.
24. Линзовые антенны. Зеркальные параболические антенны. Конструкция. Основные характеристики. Области применения.
25. Полосковые и микрополосковые антенны. Конструкция. Основные характеристики. Области применения.
26. Основы теории длинных линий. Типы линий, подводящих высокочастотную энергию к антеннам.
27. Процесс распространения волн в длинной линии
28. 6. Режим стоячих волн. Режим стоячих волн. Режим короткого замыкания.
29. Основные определения теории распространения электромагнитных волн. Поляризация. Виды поляризации.
30. Вектор Умова-Пойнтинга
31. Процесс излучения электромагнитных волн
32. Особенности распространения радиоволн разных диапазонов. Диапазоны ДВ, СВ, КВ.
33. Элементарный вибратор и его электрическое поле. Мощность излучения элементарного вибратора. КНД элементарного вибратора.
34. Электромагнитное поле симметричного вибратора. Диаграмма направленности симметричного вибратора
35. Особенности функционирования антенны в режиме приема. Диаграмма направленности приемной антенны и ее параметры.
36. Эквивалентная схема приемной антенны, ее энергетические характеристики. Понятие о пространственной, частотной и поляризационной согласованности передающей и приемной антенн
37. Общие сведения и типы антенных решеток. Теорема перемножения диаграмм направленности.
38. Поле излучения прямолинейной антенной решетки. Фазовая диаграмма направленности антенной решетки.

### Критерии оценивания результатов обучения

Оценка	Критерии оценивания по экзамену
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку «отлично» заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку «хорошо» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

### Экзаменационные вопросы

1. Понятие волнового процесса. Амплитудные, фазовые соотношения

2. Волновое уравнение. Гармонические волны. Уравнение Гельмгольца. Комплексное волновое число
3. Плоские волны в однородной и изотропной среде. Общее решение волнового уравнения. Фаза волны. Разложение на гармонические составляющие. Волновой вектор в комплексном представлении.
4. Уравнения Максвелла в однородной и изотропной среде, материальные уравнения в диэлектрике и проводящей среде. Понятие импеданса.
5. Плоские гармонические волны в однородной среде, показатели поглощения и преломления. Диэлектрические потери. Предельные случаи малых и больших потерь. Глубины проникновения волн внутрь среды.
6. Поток энергии электромагнитной волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Закон сохранения энергии.
7. Поляризация электромагнитных волн. Множитель поляризации. Физический смысл параметров Стокса.
8. Отражение и преломление волн на границе раздела. Зависимость модулей и фаз коэффициентов Френеля от угла падения на границу раздела. Угол Брюстера. Предельный угол полного отражения. Структура поля электромагнитные волны при полном внутреннем отражении. Изменение амплитуды, фазы и поляризации волны.
9. Распространение электромагнитные волн в среде с дисперсией: зависимость от частоты фазовой скорости и амплитуды. Комплексное волновое число. Пространственная дисперсия. Уравнения Максвелла для среды с пространственной дисперсией. Волновой вектор, магнитная проницаемость, проводимость.
10. Частотная дисперсия диэлектрической проницаемости. Комплексный вектор поляризации среды.
11. Связь между дисперсией и поглощением. Частотный спектр. Дисперсия при распространении в диэлектриках. Учет поляризации среды. Модель Друде-Лоренца. Дисперсия и поглощение вблизи резонансных частот. Дисперсионная формула.
12. Распространение волн в средах со свободными зарядами. Плазма. Диэлектрическая проницаемость и проводимость при наличии подвижных зарядов.
13. Плазменная частота. Поглощение электромагнитной волны при отражении и прохождении слоя плазмы.
14. Распространение квазимонохроматической волны (волнового пакета) в среде с дисперсией. Разложение в спектр. Фазовая и групповая скорости. Расплывание волнового пакета.
15. Энергия электромагнитного поля в диспергирующей среде. Объемная плотность потока энергии.
16. Электромагнитные волны в анизотропных средах: Общие закономерности. Взаимное расположение векторов. Дисперсионное уравнение.
17. Электромагнитные волны в анизотропных средах: плоские волны в кристаллах. Дисперсионное уравнение Френеля. Поляризация волн. Лучевой вектор. Тензорный эллипсоид.
18. Оптические свойства кристаллов. Одноосный двуосный кристаллы. Лучевые поверхности. Фазовая и групповые скорости.
19. Преломление плоской волны на границе раздела. Законы преломления обыкновенной и необыкновенной волн.
20. Электромагнитные волны в магнитоактивных средах. Понятия гироэлектрической и гиромангнитной сред. Тензор диэлектрической проницаемости.
21. Распространение плоских высокочастотных волн в магнитоактивной плазме. Показатель преломления. Множитель поляризации.
22. Зависимость показателя преломления и множителя поляризации от направления распространения волны в плазме. Случаи продольного и поперечного распространения.

23. Структура поля над проводящей плоскостью для волн магнитного и электрического типа. Двухплоскостной волновод.
24. Классификация антенн. Структурная схема антенн. Основные характеристики антенн.
25. Основные характеристики антенн: диаграмма направленности, коэффициент направленного действия. Рабочая полоса частот.
26. Электрический вибратор. Антенна, как открытый колебательный контур. Конструкция. Основные характеристики. Области применения.
27. Апертурные антенны. Конструкция. Основные характеристики. Области применения.
28. Рупорные антенны. Н – секторальный рупор. Конструкция. Основные характеристики. Области применения.
29. Рупорные антенны. Е – секторальный рупор, Конструкция. Основные характеристики. Области применения.
30. Рупорные антенны. Пирамидальный рупор. Конструкция. Основные характеристики. Области применения.
31. Рупорные антенны. Конический рупор. Конструкция. Основные характеристики. Области применения.
32. Линзовые антенны. Зеркальные параболические антенны. Конструкция. Основные характеристики. Области применения.
33. Полосковые и микрополосковые антенны. Конструкция. Основные характеристики. Области применения.
34. Основы теории длинных линий. Типы линий, подводящих высокочастотную энергию к антеннам.
35. Процесс распространения волн в длинной линии
36. Режим стоячих волн. Режим стоячих волн. Режим короткого замыкания.
37. Основные определения теории распространения электромагнитных волн. Поляризация. Виды поляризации.
38. Вектор Умова-Пойнтинга. Процесс излучения электромагнитных волн
39. Элементарный вибратор и его электрическое поле. Мощность излучения элементарного вибратора. КНД элементарного вибратора.
40. Электромагнитное поле симметричного вибратора. Диаграмма направленности симметричного вибратора
41. Особенности функционирования антенны в режиме приема. Диаграмма направленности приемной антенны и ее параметры.
42. Эквивалентная схема приемной антенны, ее энергетические характеристики. Понятие о пространственной, частотной и поляризационной согласованности передающей и приемной антенн
43. Общие сведения и типы антенных решеток. Теорема перемножения диаграмм направленности.
44. Поле излучения прямолинейной антенной решетки. Фазовая диаграмма направленности антенной решетки.
45. Множитель непрерывной антенной решетки. Влияние параметров антенной решетки на диаграмму направленности и другие характеристики
46. Общие сведения и типы линейных антенн. Типы линейных антенн.
47. Поле излучения линейной антенны. Диаграммы направленности линейных антенн
48. Общие сведения и методы расчета поля излучения апертурных антенн.
49. Поле излучения плоского раскрыва и его электрические параметры.
50. Диаграммы направленности прямоугольного и круглого синфазного раскрыва.
51. Влияние фазовых искажений на форму диаграммы направленности плоского раскрыва
52. Вибраторные антенны, симметричные и несимметричные вибраторы. Многовибраторные антенны.
53. Рупорные антенны и их типы, конструкция. Пирамидальный и канонический рупор

## Перечень задач к экзамену

1. Определить КНД синфазной антенны с площадью полотна антенны  $100 \text{ м}^2$ , работающей на частоте  $100 \text{ МГц}$ .
2. Сопротивление излучения проволочной передающей антенны  $R_{\text{ВХ}}=10 \text{ Ом}$ , сопротивление потерь в антенне  $R_{\text{ПВХ}}=5 \text{ Ом}$ . Определить КНД и  $K_{\text{У}}$  антенны в направлении максимума ДН, если эффективная длина антенны  $l_{\text{ЭФ}}=3 \text{ м}$ , а длина волны  $\lambda=12 \text{ м}$ .
3. Проволочная передающая антенна характеризуется следующими параметрами: полоса частот  $f=300 \text{ кГц}$ ; коэффициент перекрытия диапазона  $K_{\text{П}}=1,2$ . Чему равен  $K_{\text{У}}$  антенны на средней частоте диапазона в направлении максимума ДН, если сопротивление излучения антенны  $R=15 \text{ Ом}$ , сопротивление потерь  $R_{\text{П}}=3 \text{ Ом}$ , а действующая длина антенны  $l_{\text{ЭФ}}=100 \text{ м}$ ?
4. Определить максимальную ЭДС, наводимую в приемной антенне электромагнитной волной длиной  $\lambda=13 \text{ м}$  с напряженностью электрического поля  $E=200 \text{ мкВ/м}$ , при условии, что антенна имеет  $K_{\text{У}}$  в направлении максимума ДН  $G_0=100$  и входное сопротивление  $R_{\text{ВХ}}=500 \text{ Ом}$ .
5. Собственная шумовая температура приемной антенны при температуре окружающей среды  $T_0=280 \text{ К}$  составляет  $T_{\text{АТ}}=28 \text{ К}$ . На какой частоте работает антенна, если ее эффективная поверхность  $S_{\text{ЭФ}}=18 \text{ м}^2$ , а КНД в направлении максимума ДН  $D_0=10000$ ?
6. Круглая рамочная антенна установлена под углом  $\varphi=(\pi/6)$  радиан к направлению на передатчик, работающий на волне  $\lambda=50 \text{ м}$  и создающий в месте приема напряженность электрического поля  $E=250 \text{ мВ/м}$ . Параметры антенны:  $G_0=1,5$ ;  $R=6 \text{ Ом}$ . Угол между плоскостями поляризации рамки и проходящей волны  $\chi=0,2$  радиан. Определить ЭДС, возбуждаемую в приемной антенне, и величину мощности, отдаваемую антенной в нагрузку с сопротивлением  $Z_{\text{Н}}=(24+i 20) \text{ Ом}$ .
7. Эффективная длина приемной антенны  $l_{\text{ЭФ}}=10 \text{ м}$ . Определить ЭДС, наводимую в антенне проходящим сигналом с напряженностью электрического поля  $E=15 \text{ мкВ/м}$ , если прием осуществляется с направления максимума ДН, а угол между плоскостями поляризации антенн составляет  $\chi=60^\circ$ .
8. Определить напряжение  $U$  на входе приемника, подключенного к симметричному полуволновому вибратору длиной  $2l=10 \text{ м}$ , если напряженность электрического поля в точке приема  $E=50 \text{ мкВ/м}$ . Входное сопротивление приемника  $R=160 \text{ Ом}$ , сопротивление потерь в антенне  $R_{\text{П}}=10 \text{ Ом}$ .
9. Определить напряжение  $U$  на входе приемника, подключенного к симметричному полуволновому вибратору, если напряженность электрического поля в точке приема  $E=100 \text{ мкВ/м}$ , а длина волны  $\lambda=30 \text{ м}$ . Входное сопротивление приемника  $R_{\text{Н}}=200 \text{ Ом}$ . Потерями в антенне пренебречь.
10. Определить максимальную мощность, которую может отдать в согласованную нагрузку приемный полуволновый вибратор длиной  $2l=10 \text{ м}$  при напряженности электрического поля в точке приема  $E=100 \text{ мкВ/м}$ . Найти эффективную площадь этого вибратора, пренебрегая потерями в нем.

## 5 Перечень учебной литературы, информационных ресурсов и технологий

### 5.1 Основная литература

1. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебник для вузов: - М.: Радио и связь. 2007. 559 с.
2. Муромцев Д.Ю. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебное пособие. - СПб.: Лань 2014
3. Гильденбург В.Б., Миллер М.А. Сборник задач по электродинамике: учебное пособие. - М.: Физматлит 2001. - 168с.

4. Устройства СВЧ и антенны / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. Пономарев ; под ред. Д. И. Воскресенского. - Москва: Радиотехника, 2008. - 384 с.
5. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн / Г. А. Ерохин, О. В. Чернышев, Н. Д. Козырев, В. Г. Кочержевский; под ред. Г. А. Ерохина. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2004.-492 с.
6. Айзенберг, Г. З. Антенны УКВ / Г. З. Айзенберг, В. Г. Ямпольский, О. Н. Терешин. - Москва: Связь, 1977. - Ч. 1. - 384 с.
7. Айзенберг, Г.З. Антенны УКВ / Г. З. Айзенберг, В. Г. Ямпольский, О. Н. Терешин. - Москва: Связь, 1977. – Ч. 2. – 288 с.
8. Ротхаммель, К. Антенны / К. Ротхаммель, Ф. Кришке. – Минск : ОМО «Наш город», 2001. - Т. 1. - 416 с.
9. Ротхаммель, К. Антенны / К. Ротхаммель, Ф. Кришке. – Минск : ОМО «Наш город», 2001. - Т. 2. - 416 с.
10. Харин, А.Ф. Антенные устройства / А. Ф. Харин, С. И. Старченко, В. А. Дикарев. – Тамбов: ТВАИИ, 1999. - Ч. I. - 92 с.
11. Харин, А.Ф. Антенные устройства / А. Ф. Харин, С. И. Старченко, В. А. Дикарев. – Тамбов: ТВАИИ, 2000. - Ч. II. - 96 с.

## **5.2 Дополнительная литература**

1. Воскресенский, Д. И. Антенны с обработкой сигнала (серия «Конспекты лекций по радиотехническим дисциплинам») / Д. И. Воскресенский. — Москва : Сайнс-пресс, 2002. – Вып. 1. – 80 с.
2. Петров, Б. М. Электродинамика и распространение радиоволн / Б. М. Петров. - Москва: Горячая линия - Телеком, 2003. – 280 с.
3. Гошин Г.Г. Граничные задачи электродинамики в конических областях. – Томск: ТГУ, 1987. – 128 с.
4. Гошин Г.Г. Антенны и фидеры. Сборник задач с формулами и решениями. □ Томск: ТУСУР, 2003. – 242 с.
5. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебное пособие [Электронный ресурс] / А.А. Кураев, Т.Л. Попкова, А.К. Сеницын. - М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 424 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (п) ISBN 978-5-16-006211-2, 500 экз. Режим доступа: - <http://znanium.com/bookread.php?book=367972>
6. Уравнения электромагнетизма и системы единиц электрических и магнитных величин: Учебное пособие[Электронный ресурс] / Г.М. Трунов. - М.: Форум, 2011. - 104 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование). (обложка) ISBN 978-5-91134-524-2, 250 экз. <http://znanium.com/bookread.php?book=226287>.

## **5.3 Программное обеспечение**

1. Оригинальные программы и программы-симуляторы для выполнения расчетно-графических и лабораторных работ на ЭВМ.
2. Специализированные библиотеки программ и алгоритмов системы для научных исследований MATLAB.
3. Специализированные библиотеки программ, алгоритмов и демонстрационных файлов среды для создания инженерных приложений SIMULINK.
4. Программный комплекс для электронного тестирования студентов с необходимым банком тестовых заданий.

## **5.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:**

1. Глобальные поисковые системы Internet: Google, Yandex и др.
2. Официальные сайты - источники отечественных и зарубежных нормативных документов:
3. сайт Министерства связи и массовых коммуникаций РФ: <http://www.minsvyaz.ru>;

4. сайт Главного радиочастотного центра РФ: <http://www.grfc.ru>;
5. сайт Европейского института стандартов в области телекоммуникаций: <http://www.etsi.org/>;
6. сайт Европейского института стандартов в - сайт Международного союза электросвязи: <http://www.itu.int/>;
7. сайт Федеральной комиссии по связи (США): <http://www.fcc.gov/> и др.
8. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн - [http://www.techbook.ru/book.php?id\\_book=185](http://www.techbook.ru/book.php?id_book=185)
9. Антенны и распространение радиоволн - <http://window.edu.ru/resource/597/68597>
10. Антенны СВЧ устройств - <http://www.edu.ru/modules.php?op=viewlink&cid=1506> Издательство радиотехника - <http://www.radiotec.ru/catalog.php?cat=bo6>
11. Распространение радиоволн - <http://www.radioscanner.ru/files/other/file6843> Насыров А.М., Овчинников М.Н. Волновые процессы, ч.6. Самовоздействие электромагнитных волн (уч. пособие), Казань: КГУ, 1998, 55с. Режим доступа: - <http://kpfu.ru/docs/F1480087661/wp6.pdf>
12. Физика. Основы электродинамики. Электромагнитные колебания и волны: [Электронный ресурс] Учебное пособие / С.И. Кузнецов. - 4-е изд., испр. и доп. - М.: Вузовский учебник: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 231 с.: 60x90 1/16. (переплет) ISBN 978-5-9558-0332-6, 500 экз. Режим доступа: - <http://znanium.com/bookread.php?book=424601>
13. ЭБС «ЮРАЙТ» <https://urait.ru>
14. ЭБС «УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)
15. ЭБС «BOOK.ru» <https://www.book.ru>
16. ЭБС «ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com)
17. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>

#### **6 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. Класс персональных компьютеров для проведения фронтальных лабораторных занятий с установленным программным обеспечением: операционная система WINDOWS XP, приложения MICROSOFT OFFICE, MATLAB, SIMULINK.
2. Лабораторная аудитория для проведения фронтальных лабораторных занятий с использованием лабораторных стендов для физического моделирования фрагментов систем радиосвязи.