

Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе  
и менеджменту качества

\_\_\_\_\_ Е.Н. Живицкая  
02.07.2014г.

Регистрационный № УД -4-96/р

**«ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН»**

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине  
для специальностей:

1-39 01 01 Радиотехника (по направлениям),  
1-39 01 03 Радиоинформатика

Кафедра информационных радиотехнологий

Всего часов по дисциплине	266
Зачетных единиц	7,5

2014 г.

Группа составителей:

А.А. Кураев, профессор кафедры информационных радиотехнологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, доктор физико-математических наук, профессор.

В.Б. Кирильчук, доцент кафедры информационных радиотехнологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат технических наук, доцент

Учебная программа учреждения высшего образования составлена на основе учебной программы «Электродинамика и распространение радиоволн», утвержденной ректором БГУИР «08» июля 2013 г., регистрационный номер № УД - 39- 038 /баз. и учебных планов специальностей 1-39 01 01 «Радиотехника (по направлениям)», 1-39 01 03 «Радиоинформатика»

Рассмотрена и рекомендована к утверждению на заседании кафедры ИРТ  
протокол № 14 от 20.05.2014г.

Заведующий кафедрой

Н.И. Листопад

Одобрена и рекомендована к утверждению Научно-методической комиссией факультета радиотехники и электроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

протокол № 7 от 26.05.2014г.

Председатель

В.В. Дубровский

Одобрена и рекомендована к утверждению Советом военного факультета учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

протокол № 21 от 05.06.2014г.

Председатель

С.Н. Касанин

СОГЛАСОВАНО

Эксперт-нормоконтролер

Декан ФЗО

А.В. Ломако

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### План учебной дисциплины в дневной форме обучения:

Код специальности	Название специальности	Курс	Семестр	Аудиторных часов				Академ. часов на курс.	Форма текущей аттестации
				Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия, семинары		
1-39 01 01-01	<b>Радиотехника</b> (программируемые радиоэлектронные средства)	1,2	2,3	118	86	32		2 семестр-зачет; 3 семестр-экзамен	
1-39 01 01-02	<b>Радиотехника</b> (техника цифровой радиосвязи)		2 сем.:	52	52			2 семестр-зачет;	
1-39 01 01-03	<b>Радиотехника</b> (специальные системы радиолокации и радионавигации)		3 сем.:	66	34	32		3 семестр-экзамен	
1-39 01 03	<b>Радиоинформатика</b>								

**План учебной дисциплины в заочной форме обучения:**

Код специальности	Название специальности	Курс	Семестр	Аудиторных часов				Академ. часов на курс. работу (проект)	Форма текущей аттестации
				Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия, семинары		
1-39 01 01-01	<b>Радиотехника (программируемые радиоэлектронные средства)</b>	2	3,4	28	16	8	4		3 семестр-зачет; 4 семестр-экзамен
			3 сем.:	12	10	2			
			4 сем.:	16	6	8	2		

**Место дисциплины.**

Прогресс в области современных информационных технологий неразрывно связан с разработкой и внедрением высокоскоростных систем передачи и обработки информации, повышением пространственной разрешающей способности зондирующих и измерительных сигналов. Указанные тенденции обуславливают необходимость непрерывного продвижения в область сверхвысоких (СВЧ) и крайне высоких частот (КВЧ). Для передачи, приема и обработки информационных сигналов в СВЧ и КВЧ диапазонах применяется специфическая элементная база, физические принципы функционирования и расчета которой, могут быть описаны только с применением современной теории взаимодействия электромагнитного поля с веществом, характеризуемым сложными пространственно-временными и частотными электродинамическими свойствами. Поэтому, изучение дисциплины «Электродинамика и распространение радиоволн» студентами специальностей 1-39 01 01 «Радиотехника (по направлениям)», 1-39 01 03 «Радиоинформатика», является актуальной задачей.

Дисциплина «Электродинамика и распространение радиоволн» является основой для таких дисциплин, как: «Микроволновые системы и устройства»,

«Радиолокация и радионавигация», «Устройства приема сигналов в цифровой радиосвязи», «Информационные радиотехнологии малого радиуса действия», «Радиоприемные устройства», «Телекоммуникационные технологии и системы».

**Цель преподавания учебной дисциплины:** освоение студентами основ теории электромагнитного поля, современных методов решения краевых задач электродинамики для базовых элементов СВЧ, включая задачи, связанные с неоднородными и анизотропными средами, физики возбуждения, дифракции, преломления и отражения электромагнитных волн в этих средах, а также механизмов и особенностей распространения электромагнитных волн в околоземном пространстве.

**Задачи изучения учебной дисциплины:**

- дать современную электродинамическую классификацию физических сред, сформулировать обобщенные материальные уравнения;
- познакомить обучающихся с современными численными и аналитическими методами решения задач электродинамики в сплошных и ограниченных средах;
- ознакомить обучающихся с принципами построения устойчивых алгоритмов решения краевых задач;
- дать обучающимся основы теории электромагнитных полей в направляющих системах и резонаторах;
- сформулировать законы отражения, преломления и дифракции электромагнитных волн на объектах с простой формой граничной поверхности;
- изучить методы расчета и измерения параметров узлов и трактов СВЧ диапазона;
- развить у обучающихся навыки применения методов теоретической и вычислительной физики к решению научно-технических задач в области техники СВЧ;
- изучить основные механизмы и особенности распространения электромагнитных волн в околоземном пространстве;
- изучить приближенные методики расчета напряженности электромагнитного поля (ЭМП) для основных механизмов распространения радиоволн в околоземном пространстве.

В результате изучения данной дисциплины формируются (приобретаются, развиваются) следующие компетенции

**академические:**

- уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- уметь работать самостоятельно;

- владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;
- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности;

**социально-личностные:**

- обладать качествами гражданственности;
- быть способным к социальному взаимодействию;
- уметь работать в команде;

**профессиональные:**

- обеспечивать сопровождение разрабатываемых устройств и систем на этапах проектирования и выпуска их опытных образцов;
- участвовать в работах по технологической подготовке производства;
- разрабатывать модели объектов и процессов с целью анализа и оптимизации их параметров с использованием имеющихся средств исследований, включая стандартные пакеты прикладных программ;
- владеть методами диагностики и тестового контроля радиоэлектронных устройств и систем, сетей передачи данных, методами анализа их характеристик;
- проводить опытно-технологические работы при освоении новых технологий, опытно-промышленную проверку и испытания разрабатываемых и изделий;
- анализировать состояния научно-технической проблемы на основе подбора и изучения литературных и патентных источников;
- учитывать результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в процессе разработки технических заданий на проектируемые радиоэлектронные и информационные системы;
- взаимодействовать со специалистами смежных профилей;
- анализировать и оценивать собранные данные;
- владеть современными средствами инфокоммуникаций.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

**знать:**

- основные численные методы решения краевых задач электродинамики;
- современные методы измерения параметров сверхвысокочастотных (СВЧ) узлов и трактов;
- электромагнитные поля в волноводах и резонаторах;
- законы отражения, преломления и дифракции электромагнитных волн на объектах с простой формой граничной поверхности;
- закономерности распространения радиоволн в околоземном пространстве;

**уметь:**

- правильно оценивать функциональное назначение и требования к параметрам типов линий электропередачи, элементов и устройств СВЧ, на основе ко-

торых конструируются СВЧ элементы радиотехнических устройств (РТУ) и радиотехнических систем (РТС);

– производить расчет на ПЭВМ и комбинационный синтез СВЧ элементов РТУ и РТС;

– измерять параметры и характеристики узлов РТУ и РТС;

– самостоятельно работать с научно-технической литературой по технике СВЧ и СВЧ узлам РТУ и РТС.

***владеть:***

– инженерными методами решения прикладных задач электродинамики;

– методиками расчета амплитудно-фазовых характеристик ЭМП при распространении электромагнитных волн в среде с потерями;

– методиками расчета и построения структур полей в направляющих системах и резонаторах;

– методикой расчета напряженности ЭМП на трассе заданной протяженности с учетом влияния подстилающей поверхности, тропосферы и ионосферы Земли;

– методиками измерения характеристик СВЧ элементов и узлов РТУ и РТС;

***иметь представление:***

– о современных методах решения прикладных задач электродинамики, включая методы преобразования координат, вариационные и проекционные методы;

– о физических эффектах распространения электромагнитных волн в анизотропных и киральных средах;

– о механизмах ионизации в верхних слоях атмосферы Земли;

– о методах описания ЭМП при распространении радиоволн на сильно пересеченных трассах.

**Перечень учебных дисциплин, усвоение которых необходимо для изучения данной учебной дисциплины.**

№ п.п.	Название дисциплины	Раздел, темы
1	<b>Математика</b>	«Уравнения математической физики», «Векторный анализ», «Специальные функции»
2	<b>Физика</b>	«Электромагнетизм», «Оптика»
3	<b>Теория электрических цепей</b>	«Резонансные цепи», «Теория длинных линий»

### 1.Содержание учебной дисциплины.

№ пп	Наименование разделов, темы	Содержание темы
1	2	3
<b>Раздел 1. Электродинамика</b>		
1.1.	Основные уравнения электродинамики	История развития теории электромагнетизма. Векторы и источники электромагнитного поля (ЭМП). Уравнения математической физики. Уравнения Максвелла. Материальные уравнения. Классификация сред. Закон сохранения заряда и уравнение непрерывности. Уравнения ЭМП в комплексной форме.
1.2.	Граничные условия для векторов ЭМП	Граничные условия для тангенциальных составляющих векторов ЭМП. Граничные условия для нормальных составляющих векторов ЭМП. Граничные условия на поверхности идеального проводника.
1.3.	Энергия ЭМП	Мощность сторонних источников в ЭМП. Баланс энергии в ЭМП. Теорема Умова-Пойнтинга.
1.4.	Волновые уравнения и электродинамические потенциалы.	Уравнения Максвелла в комплексной форме, комплексная диэлектрическая и магнитная проницаемость. Волновые уравнения для векторов ЭМП. Вектор Герца. Фиктивные магнитные токи и заряды. Перестановочная двойственность.
1.5.	Направляющие системы	Типы направляющих систем. Волноводы. Методы решения волноводных задач. Собственные значения и собственные функции. Волны типа Т, Е, Н. Критическая длина волны, длина волны в волноводе, фазовая и групповая скорости, волновое сопротивление. Прямоугольные волноводы: типы волн, основная волна, волны высшего типа, рабочий диапазон волн. Круглые волноводы: типы волн, основная волна, волны высшего типа, рабочий диапазон волн. Возбуждение волноводов. Коаксиальный волновод: типы волн, основная волна, волны высшего типа, рабочий диапазон волн. Планарные линии передачи.
1.6.	Объемные резонаторы.	Типы объемных резонаторов. Решение граничной задачи для прямоугольного, цилиндрического и коаксиального резонатора. Типы колебаний в объемном резонаторе, собственные частоты. Добротность

		резонаторов.
1.7.	Возбуждение резонаторов.	Возбуждение резонаторов сторонними токами. Понятие о квазиоптических резонаторах.
<b>Раздел 2. Распространение радиоволн</b>		
2.1.	Излучение электромагнитных волн.	Общее и частное решения векторного неоднородного волнового уравнения. Поле элементарного электрического диполя. Поле элементарного магнитного диполя. Эквивалентные источники поля. Элементарный излучатель Гюйгенса.
2.2.	Плоские электромагнитные волны	Плоские волны в непроводящей среде. Фазовая скорость волны, волновое сопротивление среды. Поляризация волн. Плоские волны в среде с потерями. Коэффициент фазы и коэффициент затухания. Дисперсия, групповая скорость. Плоские волны в гиротропных средах (плазма, ферриты в постоянном магнитном поле).
2.3.	Классификация радиоволн.	Диапазоны длин волн. Виды радиотрасс. Классификация по механизму распространения в природных условиях.
2.4.	Дифракция ЭМВ.	Принцип Гюйгенса. Зоны Френеля. Область существенная для распространения ЭМВ. Примеры дифракционных задач.
2.5.	Отражение и преломление ЭМВ	Отражение и преломление плоской ЭМВ на плоской границе раздела двух сред. Вертикальная и горизонтальная поляризация. Коэффициенты Френеля, их зависимость от угла падения и параметров сред. Явления полного преломления и полного отражения на границе двух непроводящих сред. Отражение и преломление ЭМВ на границе раздела с идеальным и реальным проводником. Поверхностный эффект.
2.6.	Влияние земной поверхности на распространение радиоволн.	Влияние отражений от земной поверхности на диаграмму направленности антенны. Интерференционный множитель, горизонтальная и вертикальная поляризация волн. Неоднородная и неровная земная поверхность. Критерий Релея. Формула Введенского. Учет сферичности земной поверхности. Поверхностные волны. Формула Шулейкина – Ван дер Поля. Береговая рефракция. Дифракция радиоволн вокруг сферической поверхности Земли.

2.7.	Распространение ЭМВ в тропосфере.	Строение тропосферы. Диэлектрическая проницаемость и индекс преломления тропосферы. Неоднородное строение тропосферы и рефракция радиоволн. Уравнение траектории волны в приближении геометрической оптики и радиус кривизны траектории. Виды рефракции. Эквивалентный радиус кривизны траектории. Ослабление радиоволн в тропосфере. Рассеяние радиоволн на турбулентных неоднородностях тропосферы.
2.8.	Распространение ЭМВ в ионосфере.	Строение ионосферы. Диэлектрическая проницаемость ионизированного газа без учета и с учетом влияния магнитного поля Земли. Обыкновенная и необыкновенная волны, эффект Фарадея в ионосфере. Фазовая и групповая скорости распространения радиоволн в ионизированном газе, дисперсия. Поглощение и нелинейные свойства ионизированного газа. Преломление и отражение радиоволн в ионосфере. Влияние магнитного поля Земли. Двойное лучепреломление.

## 2. Информационно-методическая часть

### 2.1 Литература

#### 2.1.1 Основная

1. Кураев А.А., Попкова Т.Л., Сеницын А.К. Электродинамика и распространение радиоволн. Мн.: Новое знание, 2012.
2. Кирильчук В.Б., Лихачевский Д.В. Основы проектирования СВЧ интегральных схем. Учебно-методическое пособие в 4-х частях: Часть 2. Элементная база интегральных схем СВЧ. Ротапринт БГУИР, 2011.
3. Кирильчук В.Б., Лихачевский Д.В. Основы проектирования СВЧ интегральных схем. Учебно-методическое пособие в 4-х частях: Часть 1. Основы теории электромагнитного поля. Ротапринт БГУИР, 2010.
4. Гололобов Д.В., Кирильчук В.Б. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства: методическое пособие для студентов специальности 45 01 02 «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения» дневной и вечерней форм обучения: Часть 2. Фидерные устройства. Ротапринт БГУИР, 2006.
5. Гололобов Д.В., Кирильчук В.Б. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства: методическое пособие для студентов специальности 45 01 02 «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения» дневной и вечерней форм обучения: Часть 1. Распространение радиоволн. Ротапринт БГУИР, 2005.

6. Кураев А.А., Попкова Т.Л., Сеницын А.К. Электродинамика и распространение радиоволн. –Мн.: Бестпринт, 2004.
7. Вольман В.Н., Пименов Ю.В., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика.– М: Радио и связь, 2002.
8. Баскаков И.С. Электродинамика и распространение радиоволн. –М.: Высшая школа, 1993.
9. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. - М: Наука, 1989.
10. Красюк П.Л., Дымович П.Д. Электродинамика и распространение радиоволн. - М.: Высшая школа, 1974.

### **2.1.2 Дополнительная**

1. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. - М: Радио и связь,1988.
2. Марков Г.Т., Петров Б.М., Грудинская Г.П. Электродинамика и распространение радиоволн. - М: Сов. радио, 1979.
3. Фальковский О.И. Техническая электродинамика. –М.: Связь,1978.
4. Основы проектирования микроэлектронной аппаратуры / под ред. Б.Ф.Высоцкого.-М.: Сов. радио,1977.
5. Грудинская Г.П. Распространение радиоволн. –М.: Высш. школа,1975.
6. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. - М.: Наука, 1973.
7. Семенов Н.А. Техническая электродинамика.- М.: Связь, 1973.
8. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. - М : Связь,1972.
9. Калинин А.И., Черенкова Е.Л. Распространение радиоволн и работа радиолиний. –М.: Связь,1971.
10. Вольман В.И., Пименов Ю.В. Техническая электродинамика.- М.: Связь,1971.
11. Фельдштейн А.Л., Явич Л.П., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники. - М.-Л.: Госэнергоиздат,1967.

## **2.2 Перечень компьютерных программ, наглядных и других пособий, методических указаний и материалов, технических средств обучения, оборудования для выполнения лабораторных работ**

### **2.2.1 Компьютерные программы:**

- 2.2.1.1** - элементарные источники ЭМП;
- 2.2.1.2** - поляризация ЭМВ;
- 2.2.1.3** - отражение и преломление ЭМВ;
- 2.2.1.4** - влияние Земли на диаграмму направленности антенны;
- 2.2.1.5** - пакет программ для лабораторных работ;
- 2.2.1.6** - структуры поля в прямоугольном и круглом волноводах;

- 2.2.1.7 - изучение круговой диаграммы Вольперта;
- 2.2.1.8 - щели в волноводах;
- 2.2.1.9 - резонаторы;
- 2.2.1.10 - структуры полей  $H_{mn}$  в прямоугольном волноводе
- 2.2.1.11 - дифракция волн на отверстиях в непрозрачном экране.

### 2.2.2 *Наглядные пособия:*

- 2.2.2.1 - плакаты структуры поля в волноводе;
- 2.2.2.2 - плакаты структуры поля в резонаторах;
- 2.2.2.3 - диаграмма направленности элементарного электрического вибратора;
- 2.2.2.4 - диаграмма направленности элемента Гюйгенса;
- 2.2.2.5 - отрезки различных линий передачи;
- 2.2.2.6 - образцы различных линий передачи и колебательных систем СВЧ.

### 2.2.3 *Методические указания к лабораторным и контрольным работам:*

2.2.3.1 Гололобов Д.В., Кижлай И.Н., Кирильчук В.Б. и др. Исследование прямоугольного волновода на основной волне: Метод. Указания к лаб. раб. №1 по дисц. «Электродинамика и распространение радиоволн», «Электромагнитные поля и волны» Мн.: БГУИР, 2007, 23 с.

2.2.3.2 Гололобов Д.В., Кижлай И.Н., Кирильчук В.Б. и др. Измерение параметров нагрузок и методика их согласования с линиями передачи: Метод. указания к лаб. работе №2 по дисц. «Электродинамика и распространение радиоволн», «Электромагнитные поля и волны» Мн.: БГУИР, 2007, 27 с.

2.2.3.3 Гололобов Д.В., Кижлай И.Н., Кирильчук В.Б. Исследование параметров щелей в стенках волновода: Методические указания к лабораторной работе №5 по дисциплинам «Электродинамика и распространение радиоволн», «Электромагнитные поля и волны», «Основы проектирования СВЧ интегральных схем» Мн.: БГУИР, 2006, 15с.

2.2.3.4 Гололобов Д.В., Кижлай И.Н., Кирильчук В.Б. и др. Исследование цилиндрического резонатора: Метод. указания к лаб. работе №4 по дисц. «Электродинамика и распространение радиоволн», «Основы проектирования СВЧ интегральных схем» Мн.: БГУИР, 2007, 38с.

2.2.3.5 Гололобов Д.В., Кижлай И.Н., Кирильчук В.Б. и др. Исследование направленных волн при наклонном падении на отражающую поверхность. Метод. указания к лаб. раб. №5 по курсам «Электродинамика и РРВ», «ЭПиВ» для студ. Всех форм обуч. Мн.: БГУИР, 2008, 38с.

2.2.3.6 Исследование дифракции радиоволн на отверстиях в непрозрачном экране: метод. указ. к лаб. работе №6 по курсам «Электродинамика и распростра-

нение радиоволн», «Электромагнитные поля и волны» /сост. Д.В. Гололобов [и др.]. Мн.: БГУИР, 2008, 23с.

**2.2.3.7** Численное моделирование процессов. Метод. указания к лаб. работе по курсу «Электродинамика и распространение радиоволн» для студ. Спец. «Радиотехника» Сост. О.А. Юрцев. - Мн.: БГУИР, 1999, 32с.

**2.2.3.8** Исследование прямоугольного волновода и элементов на его основе: метод. указ. к выполнению лаб. работы №1/ сост. Ю.Ю.Бобков, Д.В.Гололобов, В.Б. Кирильчук и др. -Минск: БГУИР, 2012.-46с.

**2.2.3.9** Основы электромагнитной теории, антенны и устройства СВЧ: учеб. -метод. пособие/ Д.В. Гололобов, Ю.Ю. Бобков. -Минск: БГУИР, 2013.-79с.

#### **2.2.4 Технические средства обучения (оборудование):**

**2.2.4.1** Лабораторный стенд для исследования прямоугольного волновода на основной волне.

**2.2.4.2** Лабораторный стенд для исследования дисперсии волн в прямоугольном волноводе.

**2.2.4.3** Лабораторный стенд для исследования согласующих устройств в волноводах.

**2.2.4.4** Лабораторный стенд для измерения параметров нагрузок.

**2.2.4.5** Лабораторный стенд для исследования параметров щелей в стенках волновода.

**2.2.4.6** Лабораторный стенд для исследования цилиндрического резонатора.

**2.2.4.7** Лабораторный стенд для исследования направленных волн при наклонном падении на отражающую поверхность.

**2.2.4.8** Лабораторный стенд для исследования дифракции радиоволн на отверстии в непрозрачном экране.

### **2.3. Перечень тем практических занятий, их название**

Целью практических занятий является закрепление теоретического курса, приобретение навыков решения задач, активизация самостоятельной работы студентов.

№ темы по п.1	Название практического занятия	Содержание	Обеспеченность по пункту 2.2
1	2	3	4.
1.2	Освоение методик построения структур полей в направляющих системах, полых	Решение волновых уравнений в декартовой и цилиндрической системах координат для собственных функций. Определение распределений продольных и поперечных компонентов ЭМП Построе-	<b>2.2.1.9</b> <b>2.2.1.10</b> <b>2.2.2.1</b> <b>2.2.2.2</b> <b>2.2.2.5</b>

1.6	резонаторах и расчета их основных параметров.	ние структур полей по заданным собственным числам колебаний в призматических и цилиндрических волноводах и резонаторах. Расчет основных характеристик круглого и призматического волновода.	2.2.2.6 2.2.3.1 2.2.4.1 2.2.4.6 2.2.3.7 2.2.3.9
2.1 2.2 2.5 2.6	Освоение методики расчета напряженности ЭМП земной волны при заданных геометрических и электродинамических параметрах трассы РРВ	Анализ механизмов РРВ над подстилающей поверхностью земли. Расчет приведенных высот приемной и передающей антенн. Определение разности хода лучей и угла скольжения. Расчет коэффициентов отражения Френеля при заданном виде поляризации сигнала. Определение функции ослабления по расчетным данным для трассы заданной протяженности.	2.2.1.1 2.2.1.2 2.2.1.4 2.2.1.5 2.2.2.3 2.2.3.7 2.2.3.9 2.2.4.6 2.2.4.7

#### 2.4. Перечень тем лабораторных занятий, их название

Основная цель проведения лабораторных занятия состоит в закреплении теоретического материала дисциплины, приобретении навыков выполнения эксперимента, обработки экспериментальных данных, анализа результатов, грамотного оформления отчетов.

№ темы по п.1	Наименование лабораторной работы	Содержание	Обеспеченность по пункту 2.2
1	2	3	4
2.5.	<b>Лабораторная работа 1</b> Исследование направленных волн при наклонном падении на отражающую поверхность.	Изучение законов отражения и преломления на границе раздела сред. Изучение. Измерение распределения составляющих ЭМП и изучение структуры поля вблизи отражающей поверхности при различных видах поляризации волн. Определение длины направленной волны от угла падения на отражающую поверхность.	2.2.1.2 2.2.1.3 2.2.3.5 2.2.3.7 2.2.4.6
1.5.	<b>Лабораторная работа 2</b> Исследование прямоугольного волновода на ос-	Изучение режимов работы волновода на основном типе волны. Изучение структуры поля, распределения токов в волноводе при различных режимах работы.	2.2.1.10 2.2.2.1 2.2.3.1 2.2.4.1

	новной волне.		
1.5.	<b>Лабораторная работа 3</b> Исследование дисперсии волн в прямоугольном волноводе.	Изучение дисперсионных явлений в волноводе. Определение фазовой, групповой скоростей и характеристического сопротивления на основном и высших типах волн.	2.2.2.5 2.2.2.1 2.2.3.9 2.2.4.2
1.5.	<b>Лабораторная работа 4</b> Исследование согласующих устройств в волноводах.	Измерение параметров реактивных диафрагм и штырей в прямоугольном волноводе на основном типе волны.	2.2.2.5 2.2.1.7 2.2.3.9 2.2.4.4
1.5.	<b>Лабораторная работа 5</b> Измерение параметров нагрузок и методика их согласования с линиями передачи.	Освоение методики определения сопротивлений и проводимостей волноводных нагрузок с помощью диаграммы Вольперта-Смитта.	2.2.1.7 2.2.2.5 2.2.3.2 2.2.3.6 2.2.4.4
1.5.	<b>Лабораторная работа 6</b> Исследование параметров щелей в стенках волновода.	Изучение параметров излучающих щелей в прямоугольном волноводе.	2.2.1.8 2.2.2.1 2.2.3.3 2.2.4.5
1.6.	<b>Лабораторная работа 7</b> Исследование цилиндрического резонатора.	Исследование структуры поля и основных параметров резонатора.	2.2.1.5 2.2.1.9 2.2.3.4 2.2.4.6
2.4.	<b>Лабораторная работа 8</b> Исследование дифракции радиоволн на отверстии в непрозрачном экране.	Изучение дифракции ЭМВ на непрозрачном экране и измерение диаграммы направленности плоской апертуры. Исследование зон Френеля в поперечном сечении трассы РРВ.	2.2.1.5 2.2.3.5 2.2.3.6 2.2.4.7

### 2.5 Контрольная работа, ее характеристика

Основная цель выполнения контрольной работы состоит в закреплении теоретического материала и приобретении навыков расчета параметров электромагнитного поля при распространении радиоволн в однородных средах, направляющих системах и околоземном пространстве.

№ темы по п.1	Наименование контрольной работы	Содержание	Обеспеченность по пункту 2.2
1	2	3	4
1.2 1.5 2.2	Контрольная работа 1: <b><i>Электромагнитные волны в однородных средах и направляющих системах</i></b>	<p><b><i>Задача 1.</i></b> <b><i>Определение параметров ЭМП при РРВ в однородной безграничной среде с потерями</i></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определить коэффициент фазы <math>\beta</math> и коэффициент затухания <math>\alpha</math> распространяющейся волны.</li> <li>2. Найти модуль <math> Z_C </math> и фазу <math>\varphi</math> комплексного волнового сопротивления среды <math>Z_C</math>. Определить контраст (отличие) сопротивлений среды <math>Z_C</math> и воздуха <math>Z_0</math>, а также его модуль и фазу.</li> <li>3. Записать выражения для комплексных амплитуд и мгновенных значений напряженности электрического и магнитного полей.</li> <li>4. Определить расстояние <math>z_0</math>, на котором амплитуда волны убывает в 1000 раз.</li> <li>5. Вычислить значения фазовой скорости волны.</li> <li>6. Найти длину волны в данной среде, если заданы: амплитуда напряженности электрического поля <math>E_m</math>, частота источника поля <math>f</math>, а также электродинамические параметры среды: удельная проводимость <math>\sigma</math>, относительная диэлектрическая <math>\epsilon</math> и магнитная <math>\mu</math> проницаемости среды</li> </ol> <p><b><i>Задача 2.</i></b> <b><i>Построение структуры поля и расчет характеристик полых волноводов</i></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определить критическую и выбрать рабочую длину волны в волноводе.</li> <li>2. Выписать компоненты поля волны</li> </ol>	2.2.3.7

<p>2.1 2.2</p>	<p>Контрольная работа 2: <b>Расчет энергетиче-</b></p>	<p>заданного типа. 3. Изобразить графически эпюры распределения векторов <math>\vec{E}</math> и <math>\vec{H}</math> вдоль соответствующих сторон волновода. Нарисовать эскиз, иллюстрирующий распределение токов проводимости и токов смещения. 4. Рассчитать передаваемую мощность, если амплитуда электрической составляющей поля в пучности равна 1 В/м, а также предельно допустимую мощность (<math>E_{\text{ПРОБ}} = 3 \cdot 10^6</math> В/м). 5. Рассчитать значение фазовой и групповой скорости волны в волноводе. 6. Определить типы волн, которые могут при выбранной длине волны распространиться в данном волноводе, а также при длине волны в четыре раза меньше, чем выбранная, если заданы тип материала стенок волновода и его поперечные размеры <math>a \times b</math> или радиус <math>R</math></p> <p><b>Задача 3.</b> <b>Определение параметров нагрузки и линии передачи без потерь</b> В линия передач без потерь с волновым сопротивлением <math>Z</math> и нагрузкой <math>Z_n = R_n + jX_n</math>, используя диаграмму Смита необходимо определить:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) нормированное сопротивление нагрузки <math>Z_n^*</math>;</li> <li>2) нормированную проводимость нагрузки <math>Y_n^*</math>;</li> <li>3) проводимость нагрузки <math>Y_n</math>;</li> <li>4) КСВ нагрузки, значения модуля и фазы коэффициента отражения;</li> <li>5) согласовать линию передач с помощью шлейфа, тип которого указан в табл. 6, на длине волны <math>\lambda</math>;</li> <li>6) определить КПД линии с нагрузкой до и после согласования</li> </ol> <p><b>Задача 1</b> <b>Расчет напряженности поля земной волны</b></p>	
--------------------	--	---	--

<p>2.4 2.5 2.6</p>	<p><i>ских параметров радиолонии связи</i></p>	<p>1. Рассчитать зависимость действующего значения <math>E_D</math> напряженности поля от расстояния <math>r</math> без учета сферичности земной поверхности. Вычисления выполняются для <math>r/r_{\text{макс}} = 0.1; 0.4; 0.7; 1.0</math></p> <p>2. Найти величину напряженности поля <math>E_D</math> на расстоянии <math>1.5 r_{\text{макс}}</math> и <math>2 r_{\text{макс}}</math> с учетом сферичности земной поверхности.</p> <p>3. Построить график полученной зависимости. По оси абсцисс откладывается равномерная шкала расстояний (в километрах). На оси ординат наносятся логарифмическая шкала напряженности поля <math>E_D</math> (мкВ/м) и сопряженная с ней равномерная шкала <math>E_{\text{дБ}}</math> (децибел по отношению к 1 мкВ/м).</p> <p>4. Рассчитать напряженность поля ионосферной волны на расстояниях <math>1,5r_{\text{макс}}</math> и <math>2 r_{\text{макс}}</math>. Нанести полученные точки на тот же график и провести через них кривую линию. Указать, когда существует ионосферная волна.</p> <p>5. Вычислить составляющие поля в почве на расстоянии <math>4 r_{\text{макс}}</math> от передатчика на глубине <math>h</math>.</p> <p>6. Определить угол наклона фронта волны. Описать характер ее поляризации, если заданы излучаемая мощность (или действующее значение силы тока <math>I_D</math> в пучности вертикальной антенны), частота передатчика <math>f</math> и вид почвы, над которой распространяется волна.</p> <p><b>Задача 2.</b> <b>Определение уровня полезного сигнала при заданном уровне шумов в канале связи</b></p> <p>1. Определить минимально-допустимый уровень сигнала на входе приемника, который должен превышать уровень шума на его входе на заданную величину <math>\Delta P</math>. 2. Рассчитать минимально-требуемую мощность передатчика в ваттах, обеспечивающую устойчивую работу канала связи, если заданы высоты подвеса антенн <math>h</math> над</p>	<p><b>2.2.3.7</b></p>
----------------------------	--	--	-----------------------

		подстилающей поверхностью с удельной проводимостью $\sigma$ , относительной диэлектрической $\epsilon$ и магнитной $\mu$ проницаемостью, коэффициентами усиления $G$ и поляризацией $p$ , расположенные в свободном пространстве на расстоянии $r_0$ , а приемник и передатчик работают в диапазоне $\Delta f$ с центральной частотой $f$ .	
--	--	---	--

### 3.1 Учебно-методическая карта учебной дисциплины в дневной форме обучения

Номер раздела, темы по п.1	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Самостоятельная работа, часы	Форма контроля знаний студентов
		ЛК	ПЗ	Лаб. зан.		
1	2	3	4	5	6	7
<b>Семестр 2</b>						
<b>Раздел 1. Электродинамика</b>						
1.1	Основные уравнения электродинамики	8			8	
1.2	Граничные условия для векторов ЭМП	4			4	
1.3	Энергия ЭМП	4			4	
1.4	Волновые уравнения и электродинамические потенциалы	12			12	
1.5	Направляющие системы	14			16	Письменный опрос
1.6	Объемные резонаторы	6			6	Письменный опрос
1.7	Возбуждение резонаторов.	4			4	
	Текущая аттестация					зачет
	Итого за 2-ой семестр	52			54	
<b>Семестр 3</b>						
<b>Раздел 1. Электродинамика</b>						
1.5	Направляющие системы			20	4	Защита ЛР
1.6	Объемные резонаторы			4	2	Защита ЛР
<b>Раздел 2. Распространение радиоволн</b>						
2.1	Излучение электромагнитных волн.	4			6	
2.2	Плоские электромагнитные волны	4			4	
2.3	Классификация радиоволн.	2				
2.4	Дифракция ЭМВ.	4		4	16	Защита ЛР
2.5	Отражение и преломление ЭМВ	4		4	12	Защита ЛР
2.6	Влияние земной поверхности на	6			24	

	распространение радиоволн.				
2.7	Распространение ЭМВ в тропосфере.	4		10	
2.8	Распространение ЭМВ в ионосфере.	6		16	
	Текущая аттестация				экзамен
	Итого за 3-ий семестр	34		32	94
	ВСЕГО	86		32	148

### 3. 3 Учебно-методическая карта учебной дисциплины в заочной форме обучения

Номер раздела, темы по п.1	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Самостоятельная работа, часы	Форма контроля знаний студентов
		ЛК	ПЗ	Лаб. зан.		
1	2	3	4	5	6	7
<b>Семестр 3</b>						
<b>Раздел 1. Электродинамика</b>						
1.1	Основные уравнения электродинамики	2			10	
1.2	Граничные условия для векторов ЭМП	1			11	
1.3	Энергия ЭМП	1			11	
1.4	Волновые уравнения и электродинамические потенциалы	2			22	Решение задачи 1 КР 1
1.5	Направляющие системы	2	1		26	Устный опрос, решение задач 2,3 КР 1
1.6	Объемные резонаторы	1	1		10	Устный опрос
1.7	Возбуждение резонаторов.	1			4	
	Текущая аттестация					Зачет
	Итого за 3-ий семестр	10	2		94	
<b>Семестр 4</b>						
<b>Раздел 1. Электродинамика</b>						
1.5	Направляющие системы			4		Защита ЛР
<b>Раздел 2. Распространение радиоволн</b>						
2.1	Излучение электромагнитных волн.				16	
2.2	Плоские электромагнитные волны				18	
2.3	Классификация радиоволн.				2	
2.4	Дифракция ЭМВ.	1		4	16	Защита ЛР
2.5	Отражение и преломление ЭМВ	1	1		22	Устный опрос
2.6	Влияние земной поверхности на	2	1		34	Устный

	распространение радиоволн.					опрос, решение задачи 1, КР 2
2.7	Распространение ЭМВ в тропосфере.	1			15	решение задачи 2, КР 2
2.8	Распространение ЭМВ в ионосфере.	1			21	
	Текущая аттестация					экзамен
	Итого за 4-ый семестр	6	2	8	144	
	ВСЕГО	16	4	8	238	

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ С ДРУГИМИ  
УЧЕБНЫМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Перечень учебных дисциплин	Кафедра, обеспечивающая учебную дисциплину по п.1)	Предложения об изменениях в содержании по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)	Подпись заведующего кафедрой обеспечивающей учебную дисциплину по п.1)
1	2	3	4	5
<b>Микроволновые системы и устройства</b>  <b>Телекоммуникационные технологии и системы</b>  <b>Радиоприемные Устройства</b>  <b>Микроволновые системы и устройства</b>  <b>Устройства приема сигналов в цифровой радиосвязи</b>  <b>Информационные радиотехнологии малого радиуса действия</b>	ИРТ	нет	Протокол № 14 от 20.05.2014г.	
<b>Радиолокация и радионавигация</b>	РТС	нет	Протокол № 9 от 19.05.2014г.	

Заведующий кафедрой ИРТ

Н.И. Листопад