Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Смоленский государственный университет»

Кафедра физики и технических дисциплин

«Утверждаю»
Проректор по учебно-методической работе
_____Ю.А. Устименко
«09» сентября 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Б1.О.25 Электромагнитные поля и волны,
электродинамика и распространение радиоволн

Направление подготовки: **11.03.01 Радиотехника**
Направленность (профиль): **Радиоэлектронные системы и комплексы**
Форма обучения: очная
Курс – 2
Семестр –4
Всего зачетных единиц – 5; часов – 180
Форма отчетности: экзамен – 4 семестр

Программу разработал: кандидат технических наук, профессор В.А. Соловьев

Одобрена на заседании кафедры
«02»сентября 2021 г., протокол № 1

Смоленск
2021

1. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Электромагнитные поля и волны, электродинамика и распространение радиоволн» включена в обязательную часть образовательной программы по направлению подготовки 11.03.01 Радиотехника (направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы).

Для освоения дисциплины «Электромагнитные поля и волны, электродинамика и распространение радиоволн» студент должен обладать базовыми знаниями, умениями и навыками, полученными в результате изучения школьного курса физики и математики, а также дисциплин «Физика», «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Аналитическая геометрия», «Дифференциальные уравнения», «Уравнения математической физики».

Изучение дисциплины «Электромагнитные поля и волны, электродинамика и распространение радиоволн» позволяет создать условия, необходимые для формирования у студентов современного естественнонаучного мировоззрения и целостной научной картины мира, а также заложить фундамент для более глубокого понимания и осмысленного применения полученных знаний в различных областях науки. В результате изучения дисциплины «Электромагнитные поля и волны, электродинамика и распространение радиоволн» студенты приобретают знания, умения и навыки, необходимые для успешного освоения дисциплин «Устройства сверхвысоких частот и антенны» и «Основы теории радиолокационных и радионавигационных систем и комплексов».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индикаторы достижения
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	**Знать**: фундаментальные законы природы, основные законы и методы физики, химии и математики. **Уметь**: применять законы и методы естественных наук и математики для решения задач теоретического и прикладного характера. **Владеть**: навыками использования основных теорий и методов физики, химии и математики при решении практических задач.
ПК-1. Способен выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ	**Знать:** основные методы и типовые методики математического моделирования объектов и процессов **Уметь:** строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков радиотехнических устройств и систем **Владеть:** навыками компьютерного моделирования
ПК-2. Способен реализовывать программы экспериментальных исследований, включая выбор технических средств и обработку результатов	**Знать**: методики проведения исследований параметров и характеристик узлов, блоков радиотехнических устройств и систем. **Уметь**: проводить исследования характеристик радиотехнических устройств и систем **Владеть**: методиками организации и проведения экспериментальных исследований и обработки результатов эксперимента

3. Содержание дисциплины

Введение. Основные положения теории электромагнетизма

Введение. Полная система уравнений Максвелла. Предмет изучения дисциплины «Электромагнитные поля и волны. Электродинамика и распространение радиоволн», ее связь с другими науками. Электромагнитные параметры вещества и величины, характеризующие электромагнитное поле. Система основных дифференциальных уравнений

электродинамики и их физический смысл. Материальные уравнения. Система основных дифференциальных уравнений в комплексной форме.

Анализ системы основных дифференциальных уравнений электродинамики. Интегральные уравнения электромагнетизма. Обоснование физической интерпретации интегральных уравнений электродинамики.

Методы решения системы уравнений Максвелла. Волновые уравнения. Электродинамические потенциалы. Теорема запаздывающих потенциалов.

Энергия электромагнитного поля. Решение волнового уравнения для ограниченного объема. Формула Кирхгофа. Теорема Умова-Поинтинга. Расчёт энергетических характеристик электромагнитного поля

Излучение электромагнитных волн.

Плоские электромагнитные волны в однородных изотропных средах. Основные понятия, характеризующие волну. Решение задачи распространения плоской волны в однородной изотропной среде. Свойства плоской волны в однородной среде.

Свойства сферических и цилиндрических волн в однородных средах. Соотношения для векторов напряженностей электрического и магнитного полей сферической волны. Основные свойства сферических волн в изотропной среде. Понятие о поле цилиндрических волн в однородной изотропной среде. Расчёт параметров электромагнитных волн.

Излучение электромагнитных волн элементарным электрическим вибратором. Понятие об излучении электромагнитных волн. Решение задачи излучения электромагнитных волн элементарным электрическим вибратором. Анализ электромагнитного поля элементарного вибратора и его свойства. Расчёт характеристик электромагнитного поля элементарных излучателей. Экспериментальное исследование характеристик поля элементарного электрического вибратора. Экспериментальное исследование характеристик поля элементарного магнитного вибратора.

Электромагнитные поля при наличии границы раздела сред.

Граничные условия. Граничные условия на границе раздела двух сред с различными электромагнитными параметрами. Импедансные граничные условия. Поверхностные волны на границе раздела двух сред.

Явление преломления и отражения плоских волн. Определение основных понятий. Решения задач для плоских горизонтально и вертикально поляризованных волн. Свойства преломленных и отраженных волн.

Рассеяние и дифракция радиоволн. Понятие о дифракции радиоволн. Свойства дифракционной волны. Явление вторичного излучения электромагнитных волн. Понятие «блестящей точки», эффективная площадь рассеяния (ЭПР) тел простейшей формы и реальных аэродинамических объектов. Решение прикладных граничных задач. Экспериментальное исследование характеристик отражения и преломления электромагнитных волн.

Электромагнитные волны в направляющих системах.

Распространение электромагнитных волн в линии передачи СВЧ. Особенности диапазона СВЧ. Элементная база устройств СВЧ современных РЛС (волноводы). Электромагнитное поле произвольной линии передачи СВЧ. Свойства электромагнитного поля в волноводе (фазовая и групповая скорости, длина волны в линии передачи СВЧ).

Волноводы прямоугольного сечения. Условие распространения электромагнитных волн в линии передачи СВЧ. Типы волн, распространяющихся в волноводе. Уравнения составляющих поля в прямоугольном волноводе. Расчет критических длин волн в прямоугольном волноводе. Волны основного и высшего типов в прямоугольном волноводе. Построение диаграммы типов волн в прямоугольном волноводе стандартного сечения. Преимущества работы волновода на волне основного типа. Поля в волноводах на частоте ниже критической.

Круглые, коаксиальные и полосковые волноводы. Уравнения поля в круглом волноводе. Поле коаксиального волновода. Полосковые волноводы. Построение структур

электромагнитных полей и токов в прямоугольных волноводах. Построение структур электромагнитных полей и токов в круглых, коаксиальных и полосковых волноводах.

Особенности передачи электромагнитной энергии от генератора СВЧ к нагрузке. Суперпозиция падающих и отраженных волн в линии передачи. Параметры, характеризующие режимы работы линии передачи. Распределение амплитуд напряженностей электрического и магнитного полей вдоль линии передачи. Зависимость режима работы линии передачи от свойств нагрузки. Резонансные свойства отрезков волноводов. Расчёт частотных и энергетических параметров волноводов. Оценка режимов работы линий передачи СВЧ с помощью круговых диаграмм. Определение режимов работы линий передачи СВЧ при различных нагрузках. Экспериментальное исследование режимов работы прямоугольного волновода. Экспериментальное исследование режимов работы коаксиального волновода. Экспериментальное исследование режимов работы полоскового волновода. Оценка параметров волноводно узла радиолокационной станции.

Колебательные системы СВЧ.

Электромагнитные колебания в объемных резонаторах. Колебательные системы СВЧ. Резонаторы волноводного типа. Длина волны собственных колебаний резонаторов. Выражения для векторов напряженностей электромагнитного поля в объемных резонаторах. Расчёт геометрических размеров резонаторов волноводного типа. Построение структур электромагнитного поля в резонаторах волноводного типа.

Основы теории распространения радиоволн.

Распространение радиоволн в свободном пространстве. Электрические свойства Земли и атмосферы, их влияние на распространение радиоволн (РРВ). Формула идеальной радиопередачи. Область, существенная для распространения радиоволн. Зоны Френеля. Построение радиотрасс в земной атмосфере. Оценка видов рефракции радиоволн. Оценка затухания радиоволн в атмосфере.

Распространение электромагнитных волн вблизи поверхности Земли. Постановка задачи и ее решение при распространении радиоволн над плоской Землей. Отражательные формулы и область их применения. Влияние Земли на характеристику направленности антенны. Расчёт параметров электромагнитных волн при распространении над «плоской» Землёй. Исследование влияния Земли на распространение радиоволн.

4. Тематический план

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий			
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1.	Введение. Основные положения теории электромагнетизма	16	6	4	–	6
2.	Излучение электромагнитных волн	26	6	4	8	8
3.	Электромагнитные поля при наличии границы раздела сред	20	6	2	4	8
4.	Электромагнитные волны в направляющих системах	56	8	12	16	20
5.	Колебательные системы СВЧ	10	2	4	–	4
6.	Основы теории распространения радиоволн	25	4	6	4	11
7.	Экзамен	27	–	–	–	27
	ИТОГО	**180**	**32**	**32**	**32**	**84**

5. Виды учебной деятельности
Занятия лекционного типа

Лекция № 1. *Введение. Полная система уравнений Максвелла*. Предмет изучения дисциплины «Электромагнитные поля и волны. Электродинамика и распространение радиоволн», ее связь с другими науками. Электромагнитные параметры вещества и величины, характеризующие электромагнитное поле. Система основных дифференциальных уравнений электродинамики и их физический смысл. Материальные уравнения. Система основных дифференциальных уравнений в комплексной форме.

Лекция № 2. *Методы решения системы уравнений Максвелла*. Волновые уравнения. Электродинамические потенциалы. Теорема запаздывающих потенциалов.

Лекция № 3. *Энергия электромагнитного поля*. Решение волнового уравнения для ограниченного объема. Формула Кирхгофа. Теорема Умова-Поинтинга.

Лекция № 4. *Плоские электромагнитные волны в однородных изотропных средах*. Основные понятия, характеризующие волну. Решение задачи распространения плоской волны в однородной изотропной среде. Свойства плоской волны в однородной среде.

Лекция № 5. *Свойства сферических и цилиндрических волн в однородных средах*. Соотношения для векторов напряженностей электрического и магнитного полей сферической волны. Основные свойства сферических волн в изотропной среде. Понятие о поле цилиндрических волн в однородной изотропной среде.

Лекция № 6. *Излучение электромагнитных волн элементарным электрическим вибратором*. Понятие об излучении электромагнитных волн. Решение задачи излучения электромагнитных волн элементарным электрическим вибратором. Анализ электромагнитного поля элементарного вибратора и его свойства.

Лекция № 7. *Граничные условия*. Граничные условия на границе раздела двух сред с различными электромагнитными параметрами. Импедансные граничные условия. Поверхностные волны на границе раздела двух сред.

Лекция № 8. *Явление преломления и отражения плоских волн*. Определение основных понятий. Решения задач для плоских горизонтально и вертикально поляризованных волн. Свойства преломленных и отраженных волн.

Лекция № 9. *Рассеяние и дифракция радиоволн*. Понятие о дифракции радиоволн. Свойства дифракционной волны. Явление вторичного излучения электромагнитных волн. Понятие «блестящей точки», эффективная площадь рассеяния (ЭПР) тел простейшей формы и реальных аэродинамических объектов.

Лекция № 10. *Распространение электромагнитных волн в линии передачи СВЧ*. Особенности диапазона СВЧ. Элементная база устройств СВЧ современных радиоэлектронных средств (волноводы). Электромагнитное поле произвольной линии передачи СВЧ. Свойства электромагнитного поля в волноводе (фазовая и групповая скорости, длина волны в линии передачи СВЧ).

Лекция № 11. *Волноводы прямоугольного сечения*. Условие распространения электромагнитных волн в линии передачи СВЧ. Типы волн, распространяющихся в волноводе. Уравнения составляющих поля в прямоугольном волноводе.

Лекция № 12. *Круглые, коаксиальные и полосковые волноводы*. Уравнения поля в круглом волноводе. Поле коаксиального волновода. Полосковые волноводы.

Лекция № 13. *Особенности передачи электромагнитной энергии от генератора СВЧ к нагрузке*. Суперпозиция падающих и отраженных волн в линии передачи. Параметры, характеризующие режимы работы линии передачи. Распределение амплитуд напряженностей электрического и магнитного полей вдоль линии передачи. Зависимость режима работы линии передачи от свойств нагрузки. Резонансные свойства отрезков волноводов.

Лекция № 14. *Электромагнитные колебания в объемных резонаторах*. Колебательные системы СВЧ. Резонаторы волноводного типа. Длина волны собственных колебаний

резонаторов. Выражения для векторов напряженностей электромагнитного поля в объемных резонаторах.

Лекция № 15. *Распространение радиоволн в свободном пространстве.* Электрические свойства Земли и атмосферы, их влияние на распространение радиоволн (РРВ). Формула идеальной радиопередачи. Область, существенная для распространения радиоволн. Зоны Френеля.

Лекция № 16. *Распространение электромагнитных волн вблизи поверхности Земли.* Постановка задачи и ее решение при РРВ над плоской Землей. Отражательные формулы и область их применения. Влияние Земли на характеристику направленности антенны.

Занятия семинарского типа (практические занятия)

Практическое занятие №1. *Анализ системы основных дифференциальных уравнений электродинамики*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Электромагнитные параметры вещества и величины, характеризующие электромагнитное поле.
2. Полная система уравнений Максвелла (в дифференциальной форме).

Задания для самостоятельного решения.

1. Записать первое уравнение Максвелла и произвести интегрирование его левой и правой части по замкнутой поверхности *S*. Произвести преобразования и получить интегральную запись уравнения.

2. Сформулировать физическую интерпретацию первого второго и третьего уравнений Максвелла в интегральной форме.

Задания для решения на занятии

1. Записать второе уравнение Максвелла и произвести интегрирование его левой и правой части по замкнутой поверхности *S*. Произвести преобразования и получить интегральную запись уравнения.

2. Записать третье уравнение Максвелла и произвести интегрирование его левой и правой части по замкнутому объёму *V,* ограниченному поверхностью *S*. Произвести преобразования и получить интегральную запись уравнения.

Практическое занятие №2. *Расчёт энергетических характеристик электромагнитного поля.*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Решение волнового уравнения для ограниченного объема. Формула Кирхгофа
2. Теорема Умова-Поинтинга

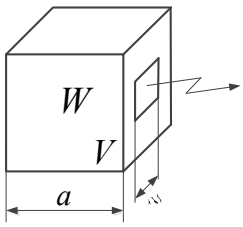
Задачи для самостоятельного решения

1. Электромагнитное поле в замкнутом объёме *V* описывается волновым уравнением $\nabla^2\dot{\vec{E}} + k^2\dot{\vec{E}} = i\omega\mu_a\dot{\vec{j}}^{cm}$, а поле возбуждается током $\dot{\vec{j}}^{cm} = 10e^{i\omega t}$, ориентированным вдоль оси *z*. Найти выражение для комплексной амплитуды вектора $\dot{E}$ используя формулу Кирхгофа.

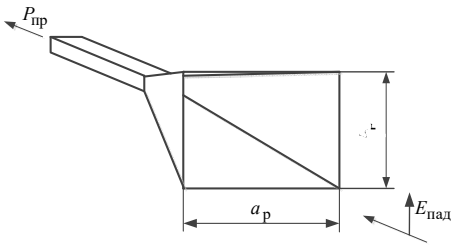
2. Источник электромагнитного поля создаёт в точке *M* векторы *E* и *H* с комплексными амплитудами $\dot{E}_x = 14e^{-ikr}$ В/м, $\dot{H}_y = 0,3e^{-ikr}$ А/м. Определить плотность потока мощности на расстоянии 10 м от источника, если $k = 2\pi/\lambda$, а $\lambda = 0,3$ м.

Задачи для решения на занятии

1. В объёме кубической формы со стороной $a = 1,0$ м расположен источник электромагнитной энергии, создающий в центре грани, ограничивающей объём, касательные составляющие электрического и магнитного поля с амплитудами $E = 0,7$ В/м $H = 1,8\cdot10^{-3}$ А/м. Определить мощность, переносимую электромагнитной волной через квадратное окно в центре одной из граней со стороной $a_0 = 0,15$ м.



2. На плоский прямоугольный раскрыв приёмной рупорной антенны, показанной на рисунке, падает электромагнитная волна, амплитуда электрического поля которой составляет $E_{\text{пад}} = 2,4 \cdot 10^{-4}$ В/м. Определить мощность сигнала на выходе антенны $P_{\text{пр}}$, пренебрегая потерями в ней, учитывая размеры раскрыва: $a_{\text{р}} = 0,1$ м, $b_{\text{р}} = 0,07$ м.



3. Антенна для связи с самолётами в полёте излучает электромагнитную волну, которая около самолёта на расстоянии 5 км характеризуется напряженностями поля *E*=0,07 В/м, *H*=0,00035 А/м. Рассчитать плотность потока мощности, падающей на самолёт.

4. Антенна радара для контроля скорости движения автомобилей создаёт около автомобиля на расстоянии 300 м напряжённость поля: *E*=0,06 В/м, *H*=0,0001 А/м. Определить мощность, падающую на автомобиль, видимая площадь которого 3 м^2.

5. Отражённая от автомобиля электромагнитная волна падает на антенну радара контроля скорости движения с площадью 0,1 м^2, имея напряжённость поля *E*=0,15 10^{-3} В/м, *H*=0,7 10^{-5} А/м. Определить мощность на выходе антенны радара.

Практическое занятие №3. *Расчёт параметров электромагнитных волн*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Решение задачи распространения плоской волны в однородной изотропной среде.
2. Свойства плоской волны в однородной среде.
3. Соотношения для векторов напряженностей электрического и магнитного полей сферической волны.
4. Основные свойства сферических волн в изотропной среде.

Задачи для самостоятельного решения

1. Комплексная амплитуда вектора *E* плоской волны в точке *M* равна 5,4 В/м. Определить комплексную амплитуду вектора *H*.

2. Антенна излучает в пространство сферическую волну с напряжённостью *E*=56 в/м. Определить напряжённость электрического поля этой волны на расстоянии 850 м.

3. Антенна излучает в пространство плоскую волну с напряжённостью *E*=56 в/м. Определить напряжённость электрического поля этой волны на расстоянии 50 м. Затуханием в пространстве пренебречь.

Задачи для решения на занятии

1. Комплексная амплитуда напряжённости излучаемой сферической волны около антенны составляет $\dot{E} = 153e^{i(\omega t)}$ при частоте *f*=100 МГц. Определить мгновенное значение напряжённости поля в точке, отстоящей от антенны на расстоянии *r*=700 м.

2. Радиопередающая станция излучает сферическую волну с помощью передающей антенны, при этом её комплексная амплитуда напряжённости электрического поля около антенны составляет $\dot{E} = 27e^{i(\omega t)}$ В/м при частоте *f*=420 МГц. На расстоянии *r*=1000 м располагается приёмная антенна, площадь которой составляет *S*=0,3 м^2. Рассчитать принимаемую антенной мощность сигнала.

3. Передающая антенна радиостанции излучает цилиндрическую электромагнитную волну, напряжённость магнитного поля которой имеет комплексную амплитуду *H*=5 А/м. Определить комплексную амплитуду напряжённости электрического поля этой волны на расстоянии 1100 м.

4. Передающая антенна радиостанции излучает цилиндрическую электромагнитную волну, напряжённость магнитного поля которой имеет комплексную амплитуду *H*=7 А/м. Коэффициент затухания волны в воздухе составляет $\alpha = 0,3 \cdot 10^{-5}$ 1/м определить

комплексную амплитуду напряжённости электрического поля этой волны на расстоянии 1100 м.

Практическое занятие №4. *Расчёт характеристик электромагнитного поля элементарных излучателей*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Понятие об излучении электромагнитных волн.
2. Решение задачи излучения электромагнитных волн элементарным электрическим вибратором.
3. Анализ электромагнитного поля элементарного вибратора и его свойства.
4. Элементарный магнитный вибратор.
5. Элементарная площадка.

Задачи для самостоятельного решения

1. Элементарный электрический вибратор излучает волну с комплексной амплитудой электрического поля, равной E=7,2 В/м. Определить напряжённость электрического поля излучаемой волны на расстоянии 200 м под углом $\theta=34^\circ$ относительно оси вибратора.

2. Элементарный электрический вибратор излучает волну с комплексной амплитудой электрического поля, равной E=8,7 В/м. Второй элементарный электрический вибратор принимает излучённую волну, находясь на расстоянии 150 м и будучи ориентированным по отношению к направлению на первый под углом 90°. Определить комплексную амплитуду, принимаемую вторым вибратором.

3. По условию задачи 2 определить комплексную амплитуду, принимаемую вторым вибратором, если его ось направлена в направлении первого вибратора.

Задачи для решения на занятии

1. Два элементарных электрических вибратора ориентированы в пространстве друг по отношению к другу параллельно, но их продольные оси по отношению к линии, соединяющей их центры наклонены под углом 40°. Первый излучает волну с комплексной амплитудой электрического поля, равной E=8,3 В/м и отстоит от второго на расстоянии 100 м. Определить комплексную амплитуду напряжённости электрического поля, принимаемого вторым вибратором.

2. Во сколько раз изменится комплексная амплитуда напряжённости электрического поля, излучаемого элементарным электрическим вибратором, если частота увеличится в 2 раза?

3. Элементарный электрический вибратор ориентирован вертикально и излучает волну с комплексной амплитудой электрического поля, равной E=3,7 В/м при частоте 100 МГц. Определить напряжённость электрического поля излучаемой волны над вибратором на высоте 100 м.

4. Элементарный электрический вибратор ориентирован вертикально и излучает волну с комплексной амплитудой электрического поля, равной E=2,7 В/м при частоте 120 МГц. Определить напряжённость электрического поля принимаемого вторым аналогичным вибратором, находящимся у поверхности земли и ориентированным параллельно ей.

Практическое занятие №5. *Решение прикладных граничных задач*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Граничные условия на границе раздела двух сред с различными электромагнитными параметрами.
2. Явление преломления и отражения плоских волн.
3. Рассеяние и дифракция радиоволн.

Задачи для самостоятельного решения

1. Определить эффективную поверхность рассеяния электромагнитных волн круговым металлическим цилиндром длиной l=0,15 м и радиусом a=0,01 м при частоте f=5 ГГц , в направлении перпендикулярном его оси.

2. Определить эффективную поверхность рассеяния электромагнитных волн металлическим шаром радиусом a=0,05 м при частоте f=7 ГГц.

3. Определить эффективную поверхность рассеяния электромагнитных волн прямоугольной металлической пластины с размерами a=0,2 м b=0,3 при частоте f=4 ГГц , в направлении перпендикулярном её поверхности.

Задачи для решения на занятии

1. Рассчитать коэффициенты отражения и преломления для вертикально поляризованных волн при наличии границы раздела между двумя средами: воздухом ($\varepsilon=\mu=1$) и полистиролом ($\varepsilon=5, \mu=1$).

2. Рассчитать коэффициенты отражения и преломления для горизонтально поляризованных волн при наличии границы раздела между двумя средами: воздухом ($\varepsilon=\mu=1$) и полистиролом ($\varepsilon=5, \mu=1$).

3. Определить эффективную поверхность рассеяния человека, интерпретируя его в виде плоской металлической пластины с размерами a=1,7 м b=0,5 при частоте f=7 ГГц, в направлении перпендикулярном её поверхности.

4. На плоскую поверхность раздела двух сред падает плоская горизонтально поляризованная ЭМВ с комплексной амплитудой $E_{i0}=10e^{-i\frac{\pi}{2}}$ мВ/м. Определить амплитуду и фазу напряженности поля отраженной и преломленной волн если:

$$\left|\dot{P}^{г}_{отр}\right|=0.3, \quad \psi=\pi, \quad \rho_1=120\pi \text{ Ом},$$

$$\left|\dot{P}^{г}_{пр}\right|=0.7, \quad \varphi=\pi, \quad \rho_2=80\pi \text{ Ом}.$$

5. Плоская антенная решетка состоит из параллельных взаимно параллельных металлических проводников. ЭМВ распространяется перпендикулярно антенной решетки. Вектор напряженности электрического поля поляризован линейно и составляет угол α=60° с направлением проводников (рис.3). Найти какая часть поля отразится от решетки.

6. Плоская однородная ЭМВ нормально падает на границу раздела двух сред диэлектрическая и магнитная проницаемость которых соответственно равны $\varepsilon_1=5\varepsilon_0$, $\mu_1=\mu_0$ и $\varepsilon_2=\varepsilon_0$, $\mu_1=\mu_0$. Найти коэффициенты отражения и преломления если частота колебаний ЭМВ равна 10 ГГц.

Практическое занятие №6. *Волна основного типа в прямоугольных волноводах*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Электромагнитное поле произвольной линии передачи СВЧ.
2. Свойства электромагнитного поля в волноводе (фазовая и групповая скорости, длина волны в линии передачи СВЧ).
3. Условие распространения электромагнитных волн в линии передачи СВЧ.
4. Типы волн, распространяющихся в волноводе.

Задачи для самостоятельного решения

1. Рассчитать длину волны в прямоугольном волноводе при рабочей длине волны λ=3 см, $\lambda_{кр}$=4,6 см.

2. Рассчитать фазовую и групповую скорости волны в волноводе при λ=3 см, $\lambda_{кр}$=4,6 см.

3. Рассчитать длину волны в прямоугольном волноводе при рабочей длине волны λ=5,7 см, $\lambda_{кр}$=4,6 см.

Задачи для решения на занятии

1. Произвести расчёт и построить зависимости фазовой скорости и длины волны в волноводе при изменении величины критической длины волны в пределах $\lambda_{кр}$=3–5 см с интервалом в 0,1 см.

2. Рассчитать критические длины волн в прямоугольном волноводе для индексов *m*= 0, 1, 2, 3, 4 и n= 0, 1, 2, 3, 4 для волн типа **E** и типа **H**.

3. Используя результаты решения задачи 2, построить диаграммы типов волн отдельно для волн типа **E** и для волн типа **H**

Практическое занятие №7. *Построение структур электромагнитных полей и токов в прямоугольных волноводах*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Типы волн, распространяющихся в волноводе
2. Уравнения составляющих поля в прямоугольном волноводе

Задачи для самостоятельного решения:

1. Построить на основании уравнений для волны типа **H** в прямоугольном волноводе эпюры распределения электрического и магнитного полей для волны $\mathbf{H_{10}}$ и, на основании эпюр, – структуру электромагнитного поля в волноводе.

Задачи для решения на занятии

1. Построить на основании уравнений для волны типа **E** в прямоугольном волноводе эпюры распределения электрического и магнитного полей для волны $\mathbf{E_{11}}$ и, на основании эпюр, – структуру электромагнитного поля в волноводе.

2. Построить на основании уравнений для волны типа **H** в прямоугольном волноводе эпюры распределения электрического и магнитного полей для волны основного типа $\mathbf{H_{10}}$ и, на основании эпюр, – структуру электромагнитного поля в волноводе.

3. Построить на основании уравнений для волны типа **H** в прямоугольном волноводе эпюры распределения электрического и магнитного полей для волны высшего типа $\mathbf{H_{20}}$ и, на основании эпюр, – структуру электромагнитного поля в волноводе.

4. Используя структуру магнитных силовых линий для волны основного типа $\mathbf{H_{10}}$ построить силовые линии поверхностных токов в стенках волновода.

Практическое занятие №8. *Построение структур электромагнитных полей и токов в круглых, коаксиальных и полосковых волноводах.*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Уравнения поля в круглом волноводе.
2. Поле коаксиального волновода.
3. Полосковые волноводы.

Задачи для самостоятельного решения

1. Построить на основании уравнений для волны типа **E** в круглом волноводе эпюры распределения электрического и магнитного полей для волны $\mathbf{E_{01}}$ и, на основании эпюр, – структуру электромагнитного поля в волноводе.

Задачи для решения на занятии

1. Построить на основании уравнений для волны типа **E** в круглом волноводе эпюры распределения электрического и магнитного полей для волны $\mathbf{E_{01}}$ и, на основании эпюр, – структуру электромагнитного поля в волноводе.

2. Построить на основании уравнений для волны типа **H** в круглом волноводе эпюры распределения электрического и магнитного полей для волны $\mathbf{H_{01}}$ и, на основании эпюр, – структуру электромагнитного поля в волноводе.

3. Построить на основании уравнений для волны типа **H** в круглом волноводе эпюры распределения электрического и магнитного полей для волны $\mathbf{H_{11}}$ и, на основании эпюр, – структуру электромагнитного поля в волноводе.

4. Построить на основании уравнений для волны типа **H** в круглом волноводе эпюры распределения электрического и магнитного полей для волны $\mathbf{H_{21}}$ и, на основании эпюр, – структуру электромагнитного поля в волноводе.

5. Построить на основании уравнений магнитного для волны типа **E** в круглом волноводе эпюры распределения поверхностного тока для волны $\mathbf{E_{01}}$ и, на основании эпюр, – структуру токов в стенках волновода.

6. Построить на основании уравнений для волны типа **TEM** в коаксиальном волноводе эпюры распределения поверхностных токов для волны **TEM** и, на основании эпюр, – структуру поверхностных токов в волноводе.

Практическое занятие №9. *Расчёт частотных и энергетических параметров волноводов.*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Уравнения поля в круглом волноводе.
2. Поле коаксиального волновода.
3. Полосковые волноводы.
4. Диаграммы типов волн в волноводах.

Задачи для самостоятельного решения

1. Произвести расчёт критических длин волн в прямоугольном волноводе при волне $\mathbf{H_{10}}$ и построить диаграмму типов волн. По диаграмме оценить диапазонные свойства по длине волны и по частоте.

Задачи для решения на занятии

1. По заданной частоте передаваемого радиосигнала определить поперечные размеры волновода, необходимого для создания волноводной системы РЛС и его тип.

2. По заданным размерам широкой стенки волновода рассчитать:

1) оптимальную длину волны;
2) среднюю длину волны;
3) λ_{max},λ_{min}.
4) диапазон рабочих длин волн.

3. По заданной частоте рассчитать радиус волновода круглого сечения, работающего на волне E_{01}, H_{11}.

4. Рассчитать предельную и допустимую рабочие мощности прямоугольного волновода МЭК-100, работающего на волне основного типа в зависимости от длины волны, изменяющейся в пределах $2{,}3 < \lambda < 4{,}5$см.

5. Волноводная линия передачи СВЧ энергии от передатчика к антенне построена на основе прямоугольного волновода МЭК-84, имеющего волновое сопротивление Z_C=455 Ом. На её конце подключена антенна с сопротивлением Z_H=216 Ом. Определить, какой режим работы установится в линии передачи.

Практическое занятие №10. *Оценка режимов работы линий передачи СВЧ с помощью круговых диаграмм.*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Суперпозиция падающих и отраженных волн в линии передачи. Параметры, характеризующие режимы работы линии передачи.
2. Распределение амплитуд напряженностей электрического и магнитного полей вдоль линии передачи. Зависимость режима работы линии передачи от свойств нагрузки.
3. Резонансные свойства отрезков волноводов.

Задачи для самостоятельного решения

1. Волноводная линия передачи СВЧ энергии от передатчика к антенне построена на основе прямоугольного волновода МЭК-84, имеющего волновое сопротивление Z_C=455 Ом. На её конце подключена антенна с сопротивлением Z_H=216 Ом. Определить, какой режим работы установится в линии передачи.

Задачи для решения на занятии

1. По заданной частоте передаваемого радиосигнала определить поперечные размеры волновода, необходимого для создания волноводной системы РЛС и его тип.

2. По заданным размерам широкой стенки волновода рассчитать:

1) оптимальную длину волны;
2) среднюю длину волны;
3) λ_{max},λ_{min}.
4) диапазон рабочих длин волн.

3. По заданной частоте рассчитать радиус волновода круглого сечения, работающего на волне E_{01}, H_{11}.

4. Рассчитать предельную и допустимую рабочие мощности прямоугольного волновода МЭК-100, работающего на волне основного типа в зависимости от длины волны, изменяющейся в пределах 2,3< λ <4,5см.

5. Волноводная линия передачи СВЧ энергии от передатчика к антенне построена на основе прямоугольного волновода МЭК-84, имеющего волновое сопротивление $Z_{\text{С}}$=455 Ом. На её конце подключена антенна с сопротивлением $Z_{\text{Н}}$=216 Ом. Определить, какой режим работы установится в линии передачи.

Практическое занятие №11. *Определение режимов работы линий передачи СВЧ при различных нагрузках.*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Суперпозиция падающих и отраженных волн в линии передачи. Параметры, характеризующие режимы работы линии передачи.
2. Распределение амплитуд напряженностей электрического и магнитного полей вдоль линии передачи. Зависимость режима работы линии передачи от свойств нагрузки.
3. Резонансные свойства отрезков волноводов.

Задачи для самостоятельного решения

1. Волноводная линия передачи СВЧ энергии от передатчика к антенне построена на основе прямоугольного волновода МЭК-84, имеющего волновое сопротивление $Z_{\text{С}}$=455 Ом. На её конце подключена антенна с сопротивлением $Z_{\text{Н}}$=216 Ом. Определить, какой режим работы установится в линии передачи.

Задачи для решения на занятии

1. По заданной частоте передаваемого радиосигнала определить поперечные размеры волновода, необходимого для создания волноводной системы РЛС и его тип.

2. По заданным размерам широкой стенки волновода рассчитать:

1) оптимальную длину волны;
2) среднюю длину волны;
3) λ_{max},λ_{min}.
4) диапазон рабочих длин волн.

3. По заданной частоте рассчитать радиус волновода круглого сечения, работающего на волне E_{01}, H_{11}.

4. Рассчитать предельную и допустимую рабочие мощности прямоугольного волновода МЭК-100, работающего на волне основного типа в зависимости от длины волны, изменяющейся в пределах 2,3< λ <4,5см.

5. Волноводная линия передачи СВЧ энергии от передатчика к антенне построена на основе прямоугольного волновода МЭК-84, имеющего волновое сопротивление $Z_{\text{С}}$=455 Ом. На её конце подключена антенна с сопротивлением $Z_{\text{Н}}$=216 Ом. Определить, какой режим работы установится в линии передачи.

Практическое занятие №12. *Расчёт геометрических размеров резонаторов волноводного типа.*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Колебательные системы СВЧ. Резонаторы волноводного типа.
2. Длина волны собственных колебаний резонаторов.
3. Выражения для векторов напряженностей электромагнитного поля в объемных резонаторах.

Задачи для самостоятельного решения

1. Рассчитать радиус круглого волновода, необходимого для создания резонатора, работающего при колебании типа H_{111} на частоте 3,16 ГГц.

Задачи для решения на занятии

1. Рассчитать геометрические размеры однородного цилиндрического резонатора, в котором возбуждено колебание типа H_{111}. Частота собственных колебаний задается таблично. Построить график зависимости размеров резонатора от частоты.

2. Рассчитать геометрические размеры цилиндрического объемного резонатора, в котором используется электромагнитное колебание типа E_{011}. Частота задается таблично.

3. По условию задачи 2 рассчитать геометрические размеры цилиндрического резонатора, в котором используется колебание H_{011}.

4. Определить добротность цилиндрического объемного резонатора, выполненного из меди, в котором используется колебание типа H_{111}. Частота задана таблично.

5. По условию задачи 4 рассчитать эти же параметры резонатора, выполненного из серебра.

Практическое занятие №13. *Построение структур электромагнитного поля в резонаторах волноводного типа.*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Колебательные системы СВЧ. Резонаторы волноводного типа.
2. Длина волны собственных колебаний резонаторов.
3. Выражения для векторов напряженностей электромагнитного поля в объемных резонаторах.

Задачи для самостоятельного решения

1. Построить на основании уравнений для волны типа **ТЕМ** в коаксиальном волноводе эпюры распределения электрического и магнитного полей для волны **ТЕМ** и, на основании эпюр, – структуру электромагнитного поля **ТЕМ** в волноводе.

Задачи для решения на занятии

1. Построить структуру магнитного поля в отрезке коаксиального волновода, закороченного с двух сторон, для волны типа **ТЕМ**. Используя закономерность для электрического поля в резонаторах, достроить электрическое поле и получить структуру поля в коаксиальном резонаторе.

2. Построить структуру магнитного поля в отрезке прямоугольного волновода, закороченного с двух сторон, для волны типа $\mathbf{H_{10}}$. Используя закономерность для электрического поля в резонаторах, достроить электрическое поле и получить структуру $\mathbf{H_{101}}$ поля в призматическом резонаторе.

3. Построить структуру магнитного поля в отрезке круглого волновода, закороченного с двух сторон, для волны типа $\mathbf{E_{01}}$. Используя закономерность для электрического поля в резонаторах, достроить электрическое поле и получить структуру $\mathbf{E_{011}}$ поля в цилиндрическом резонаторе.

4. Построить структуру магнитного поля в отрезке круглого волновода, закороченного с двух сторон, для волны типа $\mathbf{H_{01}}$. Используя закономерность для электрического поля в резонаторах, достроить электрическое поле и получить структуру $\mathbf{H_{011}}$ поля в цилиндрическом резонаторе.

Практическое занятие №14. *Построение радиотрасс в земной атмосфере. Оценка видов рефракции радиоволн.*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Электрические свойства Земли и атмосферы, их влияние на распространение радиоволн.

Задачи для самостоятельного решения

1. Построить схему хода лучей при падении волны из менее плотной в более плотную среду.

2. Построить схему хода лучей при падении волны из более плотной в менее плотную среду.

Задачи для решения на занятии

1. Изобразить в разрезе участок сферической Земли и слои атмосферы над ней. Причём плотность слоёв с высотой уменьшается. Восставить нормаль к поверхности Земли и под углом α_0 к ней провести луч падающей на тропосферу волны. Луч довести до ближайшей границы раздела двух слоёв, где восставить перпендикуляр к границе раздела. Показать угол падения и угол преломления радиолуча. Преломлённый луч довести до следующей границы раздела слоёв и т. д. По построенной траектории луча радиоволны сформулировать особенности его поведения при распространении в тропосфере. Показать возможные варианты поведения луча – рефракции. Отметить положительные и отрицательные качества каждого из них.

2. Используя закономерности распределения показателя преломления в ионосфере построить радиотрассы радиоволн в ионосфере. Постараться выявить влияние угла α_0 на характер радиотрассы, а также влияние частоты распространяющейся волны. Сделать выводы о том, волны каких диапазонов в каких слоях ионосферы отражаются. Как это влияет на радиосвязь.

Практическое занятие №15. *Оценка затухания радиоволн в атмосфере.*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Электрические свойства Земли и атмосферы, их влияние на распространение радиоволн.

Задачи для самостоятельного решения

1. Определить множитель ослабления волны в кислороде для РЛС, работающей на длине волны 3 см, 1,5 см, 1 см, 0,5 см, если волна, проходит расстояние 40 км.

2. Определить множитель ослабления волны в парах воды для РЛС, работающей на длине волны 3 см, 1,5 см, 1 см, 0,5 см, если волна проходит расстояние 40 км.

Задачи для решения на занятии

1. Определить напряженность поля в точке цели находящейся на расстоянии 50 км, при отсутствии поглощения в парах воды и кислороде и при наличии поглощений, если P=500 Вт, D=10000, λ=1 см, $F(\theta) = 1$. Отражения от Земли отсутствуют.

2. Определить коэффициент ослабления при сильном дожде $J_д$=50 мм/ч. Если протяженность трассы радиоволны в дожде равна 12 км, а. длина волны λ = б; 3; 1,5 см. Построить график зависимости коэффициента ослабления от длины волны.

3. Определить ослабление в облаках для РЛС, работающей на длинах волн λ=3; 1,5; 1 см. Если водность облаков равна 0,25 г/м^3, протяженность трассы радиоволн в облаках равна 8 км, «температура воздуха 10°. Построить график.

Практическое занятие №16. *Расчёт параметров электромагнитных волн при распространении над «плоской» Землёй.*

Вопросы для подготовки к занятию

1. Область, существенная для распространения радиоволн. Зоны Френеля.
2. Дальность прямой видимости.

3. Отражательные формулы и область их применения.

4. Влияние Земли на характеристику направленности антенны.

Задачи для самостоятельного решения

1. Определить дальность прямой видимости человека с ростом 1,8 м, стоящего на земле без учёта рефракции, если наблюдатель имеет рост 1,7 м.

Задачи для решения на занятии

1. Передающая радиостанция работает с антенной, поднятой на высоту 4 м, Приёмная радиостанция имеет высоту подъёма антенны 3 м. Определить максимальное расстояние между радиостанциями, при котором возможна радиопередача.

2. Аэродромная радиолокационная станция имеет высоту подъёма антенны, равную 6 м. Определить значения максимальных дальностей обнаружения приближающегося самолёта, летящего на высотах 500, 700, 1000, 1500, 3000 м.

3. Аэродромная радиолокационная станция имеет мощность передатчика 5 кВт, работающего при частоте 7 ГГц. Её антенна с коэффициентом усиления 7000 установлена на высоте 3,5 м над поверхностью земли. Определить комплексную амплитуду напряжённости электрического поля, создаваемого станцией около самолёта, летящего на расстоянии 7000 м на высоте 500 м.

4. Используя исходные данные задачи 3, рассчитать значения напряжённости электрического поля около самолёта, находящегося на высотах 100, 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800 м.

Занятия семинарского типа (лабораторные занятия)

Лабораторная работа № 1. *Экспериментальное исследование характеристик поля элементарного электрического вибратора (4 часа)*

Цели работы:

– овладение студентами техникой экспериментальных исследований и анализа полученных результатов;

– привитие навыков работы с лабораторным оборудованием, контрольно-измерительными приборами (с устройствами СВЧ-диапазона, измерителями напряженности электромагнитного поля, создаваемого элементарным вибратором Герца) и вычислительной техникой;

– практическое освоение студентами теоретических положений, изученных на занятиях.

Приборы и принадлежности: генератор СВЧ-колебаний, турникетная передающая антенна, модель вибратора Герца, измерительный усилитель, штатив с поворотным устройством.

Задания:

1) Измерение сигнала, принимаемого вибратором Герца, находящемся в горизонтальном положении, при его последовательном развороте в плоскости азимута с дискретностью 10º.

2) Измерение сигнала, принимаемого вибратором Герца, находящемся в вертикальном положении, при его последовательном развороте в плоскости азимута с дискретностью 10º.

3) Построение диаграмм направленности элементарного электрического вибратора в горизонтальной и вертикальной плоскости.

4) Формулировка заключения о направленных свойствах вибратора Герца.

Контрольные вопросы:

1) Какую волну называют плоской, сферической, цилиндрической?

2) Какую волну излучает элементарный вибратор?

3) Какие волны называют волнами типа Е, типа Н, типа ТЕМ?

4) Как ориентированы в пространстве векторы Е и Н поля волны, излученной элементарным вибратором?

5) Как изменяется амплитуда напряженности поля создаваемого элементарным вибратором при изменении угловых координат точки наблюдения?

6) Что называется дальней и ближней зонами?

7) Какие общие и отличительные черты у плоской и сферической волн?

8) Перечислить свойства элементарного электрического вибратора как излучателя

9) Изобразить графически распределение напряженности электромагнитного поля, создаваемого элементарным вибратором, в зависимости от угловых координат при неизменном расстоянии до точки наблюдения в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Лабораторная работа № 2. *Экспериментальное исследование характеристик поля элементарного магнитного вибратора (4 часа)*

Цели работы:

– овладение студентами техникой экспериментальных исследований и анализа полученных результатов;

– привитие навыков работы с лабораторным оборудованием, контрольно-измерительными приборами (с устройствами СВЧ-диапазона, измерителями напряженности электромагнитного поля, создаваемого элементарным вибратором Герца) и вычислительной техникой;

– практическое освоение студентами теоретических положений о свойствах элементарного магнитного вибратора, изученных на занятиях.

Приборы и принадлежности: генератор СВЧ-колебаний, турникетная передающая антенна, модель элементарного магнитного вибратора – металлическая петля, измерительный усилитель, штатив с поворотным устройством.

Задания:

1) Измерение сигнала, принимаемого металлической петлёй, находящемся в горизонтальном положении, при её последовательном развороте в плоскости азимута с дискретностью 10º.

2) Измерение сигнала, принимаемого металлической петлёй, находящемся в вертикальном положении, при её последовательном развороте в плоскости азимута с дискретностью 10º.

3) Построение диаграмм направленности элементарного магнитного вибратора в горизонтальной и вертикальной плоскости.

4) Формулировка заключения о направленных свойствах элементарного магнитного вибратора.

Контрольные вопросы:

1) Какую волну называют плоской, сферической, цилиндрической?

2) Какую волну излучает элементарный вибратор?.

3) Какие волны называют волнами типа Е, типа Н, типа ТЕМ?

4) Как ориентированы в пространстве векторы Е и Н поля волны, излученной элементарным вибратором?

5) Как изменяется амплитуда напряженности поля создаваемого элементарным вибратором при изменении угловых координат точки наблюдения?

6) Что называется дальней и ближней зонами?

7) Какие общие и отличительные черты у плоской и сферической волн?

8) Перечислить свойства элементарного электрического вибратора как излучателя.

9) Изобразить графически распределение напряженности электромагнитного поля, создаваемого элементарным вибратором, в зависимости от угловых координат при неизменном расстоянии до точки наблюдения в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Лабораторная работа № 3. *Экспериментальное исследование характеристик отражения и преломления электромагнитных волн (4 часа)*

Цели работы:

– изучить экспериментально характеристики отражения и преломления плоских волн;

– приобрести навык в расчёте коэффициентов отражения и преломления.

Приборы и принадлежности: газовый лазер на поворотном кронштейне, кювета с раствором, оптико-электронный преобразователь, угломер.

Задания:

1) Последовательно провести измерения интенсивности падающей, отражённой и преломлённых потоков при изменении угла падения с дискретностью 10º.

2) Провести расчёт ожидаемых углов отражения и преломления. Сравнить их с экспериментальными значениями.

3) Оценить погрешность проведенных измерений

4) Сформулировать вывод по итогам лабораторной работы.

Контрольные вопросы

1) Какова форма записи законов отражения и преломления?

2) Что является причиной преломления волн на границе раздела сред?

3) Одинаковы ли характеристики отражения и преломления для горизонтально и вертикально поляризованных волн?

4) Что такое угол Брюстера?

5) В чём заключается явление полного внутреннего отражения?

6) При каких условиях происходит полное внутреннее отражения?

Лабораторная работа № 4. *Экспериментальное исследование режимов работы прямоугольного волновода (4 часа)*

Цели работы:

– овладение техникой исследования линий передачи СВЧ;

– приобретение навыков работы с лабораторным оборудованием для исследования линий передачи СВЧ, контрольно-измерительными приборами СВЧ-диапазона;

– практическое освоение студентами теоретических положений, изученных на занятиях.

Приборы и принадлежности: генератор СВЧ сантиметрового диапазона, измерительная линия, измерительный усилитель, волноводные нагрузки.

Задания:

1) Произвести измерение распределений напряжённости электрического поля вдоль прямоугольного волновода при коротком замыкании на его конце, холостом ходе и при специальной нагрузке.

2) С использованием полученных распределений, определить длину волны в волноводе, коэффициент бегущей (стоячей) волны и величину сдвига максимумов поля относительно случая короткого замыкания.

3) Используя круговую диаграмму Вольперта-Смита, определить сопротивление нагрузки волновода.

4) Сформулировать выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы:

1) Что называется волной основного типа? Какой тип волны является основным в прямоугольном волноводе?

2) Режимы работы волновода. Какими параметрами они характеризуются?

3) Определить режим работы волновода и его параметры, если $Z_H=4Zc$?

4) Какими требованиями необходимо руководствоваться при выборе размеров поперечного сечения волновода?

5) Можно ли по графику распределения напряженности электрического поля вдоль оси волновода определить длину волны в волноводе, если он нагружен на согласованную нагрузку?

6) Как распределены составляющие напряженности электрического и магнитного полей вдоль стенок волновода с прямоугольным сечением (эпюры)?

7) Как определить примерный рабочий диапазон частот РЛС по размерам поперечного сечения волновода?

Лабораторная работа № 5. *Экспериментальное исследование режимов работы коаксиального волновода (4 часа)*

Цели работы:

– овладение техникой исследования линий передачи СВЧ;

– приобретение навыков работы с лабораторным оборудованием для исследования линий передачи СВЧ, контрольно-измерительными приборами СВЧ-диапазона;

– практическое освоение студентами теоретических положений, изученных на занятиях.

Приборы и принадлежности: генератор СВЧ сантиметрового диапазона, измерительная линия коаксиальная, измерительный усилитель, волноводные нагрузки.

Задания:

1) Произвести измерение распределений напряжённости электрического поля вдоль коаксиального волновода при коротком замыкании на его конце, холостом ходе и при специальной нагрузке.

2) С использованием полученных распределений, определить длину волны в волноводе, коэффициент бегущей (стоячей) волны и величину сдвига максимумов поля относительно случая короткого замыкания.

3) Используя круговую диаграмму Вольперта-Смита, определить сопротивление нагрузки волновода.

4) Сформулировать выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы:

1) Дать определение волновому сопротивлению волновода, входному сопротивлению волновода и коэффициенту отражения.

2) Режимы работы линии передачи СВЧ. Какими параметрами характеризуется каждый из них, при каких условиях возникает?

3) Что называется комплексным коэффициентом отражения по напряженности? Определение КБВ и КСВ.

4) Условия возникновения в волноводе волны основного типа.

5) Типы волн, распространяющихся в волноводах.

6) Чем отличается распределение напряженностей поля в коротко-замкнутом и разомкнутом на конце волноводе?

7) Закороченную на конце линию разомкнули. На какую величину при этом сместится узел напряженности?

8) Свойства закороченных на конце отрезков волноводов.

9) Связь коэффициента отражения с сопротивлением нагрузки Z_H, а также с КБВ и КСВ.

10) Определить КБВ и КСВ в линии, если она нагружена на чисто активное сопротивление в 2 раза меньше волнового, в 4 раза больше волнового?

Лабораторная работа № 6. *Экспериментальное исследование режимов работы полоскового волновода (4 часа)*

Цели работы:

– овладение техникой исследования полосковых линий передачи СВЧ;

– приобретение навыков работы с лабораторным оборудованием для исследования линий передачи СВЧ, контрольно-измерительными приборами СВЧ-диапазона;

– практическое освоение студентами теоретических положений, изученных на занятиях.

Приборы и принадлежности: генератор СВЧ сантиметрового диапазона, измерительная линия полосковая, измерительный усилитель, волноводные нагрузки.

Задания:

1) Произвести измерение распределений напряжённости электрического поля вдоль полоскового волновода при коротком замыкании на его конце, холостом ходе и при специальной нагрузке.

2) С использованием полученных распределений, определить длину волны в волноводе, коэффициент бегущей (стоячей) волны и величину сдвига максимумов поля относительно случая короткого замыкания.

3) Используя круговую диаграмму Вольперта-Смита, определить сопротивление нагрузки волновода.

4) Сформулировать выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы:

1) Какова особенность полоскового волновода.

2) Режимы работы линии передачи СВЧ. Какими параметрами характеризуется каждый из них, при каких условиях возникает?

3) Что называется комплексным коэффициентом отражения по напряженности? Определение КБВ и КСВ.

4) Условия возникновения в волноводе волны основного типа.

5) Типы волн, распространяющихся в полосковых волноводах.

6) Чем отличается распределение напряженностей поля в коротко-замкнутом и разомкнутом на конце волноводе?

7) Закороченную на конце линию разомкнули. На какую величину при этом сместится узел напряженности?

8) Свойства закороченных на конце отрезков волноводов.

9) Связь коэффициента отражения с сопротивлением нагрузки Z_H, а также с КБВ и КСВ.

10) Определить КБВ и КСВ в линии, если она нагружена на чисто активное сопротивление в 2 раза меньше волнового, в 4 раза больше волнового?

Лабораторная работа № 7. *Оценка параметров волноводного узла радиолокационной станции (4 часа)*

Цели работы:

– изучить конструкцию и оценить параметры и характеристики волноводного узла радиолокационной станции;

– практическое освоение студентами теоретических положений при анализе конструкции волноводного узла.

Приборы и принадлежности: волноводный переключатель каналов обзора и пеленгации радиолокационной станции, штангенциркуль, линейка, калькулятор .

Задания:

1) Произвести осмотр волноводного узла и сформулировать алгоритм его работы. Изобразить принципиальную схему узла.

2) Провести измерение геометрических размеров волноводов, входящих в состав узла.

3) Произвести расчёт основных характеристик волноводного узла: диапазон рабочих длин волн и оптимальной рабочей длины волны, критическую длину волны, предельную и допустимую рабочую мощность.

Контрольные вопросы:

1) Каким образом выбираются размеры широкой и узкой стенок прямоугольного волновода?

2) Как определяется предельная рабочая мощность, переносимая по волноводу?

3) Как вычисляется допустимая рабочая мощность волновода?

4) Каковы способы повышения электрической прочности волновода?

5) Какие меры предпринимаются для уменьшения потерь в волноводе?

6) К каким последствиям приводят деформации стенок волновода?

7) Какие требования предъявляются к соединениям волноводов?

8) В чём заключаются преимущества работы волновода на волне основного типа?

Лабораторная работа № 8. *Исследование влияния Земли на распространение радиоволн (4 часа)*

Цели работы:

– практическое подтверждение основных законов распространения радиоволн в условия влияния Земли;

– совершенствование навыков работы с аппаратурой СВЧ.

Приборы и принадлежности: генератор СВЧ, передающая рупорная антенна, приёмная рупорная антенна, измерительный усилитель, макет земной поверхности.

Задания:

1) Установить передающую антенну на заданной высоте над моделью Земли и, перемещая приёмную антенну вдоль поверхности на заданной высоте, измерить распределение напряжённости поля вдоль «Земли» на заданной высоте.

2) Сформулировать гипотезу о причине неравномерности распределения.

3) Установить передающую антенну на заданной высоте над моделью Земли и, перемещая приёмную антенну перпендикулярно поверхности «земли», измерить распределение напряжённости поля в вертикальной плоскости.

4) Сформулировать выводы по результатам экспериментов.

Контрольные вопросы:

1) Что называется дальностью прямой видимости?

2) Как зависит напряженность поля в точке приема от расстояния между приемной и передающей антеннами при наличии отражения от Земли?

3) Как зависит напряженность поля в точке приема от высоты подъема приемной антенны при наличии отражений от Земли?

4) Дать определение области, существенной для распространения радиоволн. Какой вид она имеет?

5) Дать определение области, существенной для отражения радиоволн, какой вид она имеет?

6) Как влияет Земля на ДН антенны в вертикальной плоскости? К чему это может привести при обнаружении или сопровождении воздушного объекта?

Самостоятельная работа

1) Подготовка к практическим занятиям включает в себя подготовку ответов на теоретические вопросы к практическим занятиям и самостоятельное решение задач по теме занятия (приведены в планах практических занятий).

Методические рекомендации для студентов по подготовке к практическому занятию. Подготовка к практическим занятиям предполагает подготовку студентом ответов на теоретические вопросы и выполнение практических заданий для самостоятельной работы (решение задач по теме занятия). Перечень вопросов для подготовки к занятию и задания для самостоятельной работы приведены в планах практических занятий. Выполнение студентами данного вида самостоятельной работы проверяется преподавателем на соответствующем практическом занятии.

1) Изучите материал, соответствующий теме практического занятия, по конспекту соответствующей лекции и одному из учебников, предложенному в списке основной литературы.

2) Найдите в тексте учебника и конспекте лекций ответы на вопросы для подготовки к занятию. Рекомендуется составить краткий конспект по каждому из вопросов.

3) Выучите основные понятия и определения, законы и формулы, соответствующие теме практического занятия.

4) Выполните практические задания, предложенные для самостоятельной работы по теме данного занятия.

Методические рекомендации студенту по самостоятельному решению задач. Перед решением задач студенту рекомендуется познакомиться с необходимыми физическими теориями и законами, используя материалы лекций, а также источники из списка основной и дополнительной литературы, ресурсы сети «Интернет».

Решение каждой задачи должно содержать следующие пункты:

1) Краткая запись условия размещается в левом верхнем углу листа и отделяется от основного решения вертикальной линией. В краткую запись включаются буквенные обозначения величин, заданных по условию задачи, и их количественные значения в единицах СИ. Также в краткую запись условия включаются величины, значения которых необходимо найти по условию задачи. Неизвестные величины отделяются от известных горизонтальной чертой.

2) Рисунок размещается справа от краткой записи условия. На рисунке необходимо схематически изобразить физическую ситуацию, описываемую в условии задачи. Особое внимание следует уделить рисункам к задачам по механике. По возможности, на рисунке следует указать основные величины, известные по условию задачи, а также искомые величины.

3) Анализ условия размещается под рисунком и включает в себя указание тех физических теории и законов, на применении которых основывается решение задачи. Анализ условия также может включать объяснение явлений и процессов, описываемых в условии задачи.

4) Запись необходимых математических уравнений, отражающих физические теории и законы, используемые при решении задачи. При записи математических уравнений необходимо следить, чтобы в них входили только известные и искомые физические величины.

5) Решение составленной системы математических уравнений приводится в полном объеме, без сокращений и записей вида «путем несложных математических преобразований получим…».

6) Анализ полученного ответа проводится по нескольким направлениям. Следует проверить единицу измерения полученной величины, проанализировать численное значение на соответствие условию задачи и логическую непротиворечивость. После анализа результата, следует записать ответ к задаче.

2) Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ.

Методические рекомендации для студентов по организации самостоятельной подготовки к лабораторным занятиям. Подготовка к лабораторным занятиям включает в себя изучение теоретического материала по теме занятия, подготовку ответов на вопросы к защите лабораторной работы, а также, в случае необходимости, обработку результатов измерений и вычисление погрешностей. Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы приведены в планах лабораторных занятий. Выполнение студентами данного вида самостоятельной работы проверяется преподавателем на соответствующем лабораторном занятии.

Выполнение лабораторной работы включает в себя три основных этапа:

1) *Самостоятельная подготовка студента к выполнению лабораторной работы.* На данном этапе студент самостоятельно изучает методические указания по выполнению лабораторной работы, учебную литературу по теме лабораторной работы, выполняет заготовку отчета и изучает экспериментальную установку, приборы и оборудование.

2) *Выполнение лабораторной работы (проведение эксперимента) и обработка экспериментальных данных.* На данном этапе студент получает допуск к выполнению лабораторной работы и проводит эксперимент, занося полученные данные в заготовку отчета. Все проведенные измерения обязательно проверяются преподавателем, который отмечает их правильность своею подписью в отчете. Затем студент самостоятельно проводит необходимую математическую обработку результатов эксперимента и на основании полученных данных делает вывод о достижении цели лабораторной работы.

3) *Защита лабораторной работы* включает в себя проверку преподавателем письменного отчета студента о выполненной лабораторной работе, а также беседу

преподавателя со студентом по вопросам, касающимся теории изучаемого явления, методики проведения эксперимента, обработки полученных экспериментальных данных.

3. Самостоятельное изучение отдельных вопросов курса

Часть теоретических вопросов курса выносится на самостоятельное изучение студентами. При самостоятельном изучении вопроса студент должен познакомиться с содержанием соответствующей темы по одному из учебников, указанных в списке основной литературы, при необходимости могут использоваться источники из списка дополнительной литературы, а также рекомендованные ресурсы сети «Интернет». По каждому вопросу необходимо составить конспект, по возможности включающий следующие пункты:

– краткая история открытия явления, закона, изобретения;

– основные физические законы и теории, на которых основывается объяснение данного явления;

– математическая модель описываемого явления и выводы из нее;

– экспериментальная проверка справедливости теории, модели и выводов из нее;

– практическое применение описываемого явления, процесса.

Конспекты, составленные студентами, проверяются преподавателем во время лабораторных занятий, зачета и экзамена.

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельное изучение

1. Элементарные излучатели. Элементарный магнитный излучатель. Элементарная рамка.
2. Поляризация плоских электромагнитных волн. Поляризационные характеристики.
3. Энергетические характеристики волноводов.
4. Круговая диаграмма Вольперта-Смита.
5. Резонаторы неволноводного типа (клистронный и магнетронный).
6. Рефракция радиоволн в атмосфере.
7. Способы учёта затухания радиоволн в атмосфере.

6. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

6.1. Оценочные средства и критерии оценивания для текущей аттестации

1. Решение задач для самостоятельной работы (перечень задач для самостоятельной работы к каждому занятию приведен в планах практических занятий)

Критерии оценивания задач для самостоятельного решения

Показатель	Количество баллов
1) Приведена краткая форма условия задачи, включающая перевод единиц измерения в СИ.	0,5
2) Выполнен рисунок к условию задачи, на котором обозначены все необходимые физические и геометрические параметры задачи	0,5
3) Проведен анализ условия задачи, включающий указание основных явлений, о которых идет речь в задаче, а также законов, положенных в основу решения задачи	1
4) Записаны математические уравнения законов, используемых при решении задачи	1
5) Приведено решение математических уравнений и получен численный ответ на вопрос задачи	1
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 5

Оценка «зачтено» – 3 балла и более; оценка «не зачтено» – менее 3 баллов.

2. Подготовка конспекта по вопросам курса, выносимым на самостоятельное изучение (перечень вопросов курса, выносимых на самостоятельное изучение, приведен в разделе «Самостоятельная работа»).

Критерии оценивания конспектов по прикладным вопросам курса, выносимым на самостоятельное изучение

Показатель	Количество баллов
1) Полнота и глубина изложения ответа (усвоенные теории, понятия, факты)	1
2) Логика изложения материала	1
3) Примеры использования описанных явлений, теорий и устройств на практике	1
4) Использование при подготовке ответа на вопрос дополнительных источников информации	1
5) Оформление работы	1
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 5

Оценка «зачтено» – 3 балла и более; оценка «не зачтено» – менее 3 баллов.

3. Выполнение и защита лабораторной работы (задания к лабораторным занятиям и вопросы для защиты приведены в планах лабораторных занятий)

Критерии оценивания лабораторной работы

По результатам выполнения лабораторной работы студент получает **оценку «зачтено»** при выполнении следующих условий:

1) самостоятельное выполнение эксперимента и получение корректных экспериментальных данных;

2) наличие самостоятельно подготовленного отчета по установленной форме, в котором отражены результаты измерений и вычислений, в том числе погрешностей (при необходимости), а также представлены графики в соответствии с заданиями к лабораторной работе;

3) правильные ответы на все контрольные вопросы к данной лабораторной работе.

При невыполнении хотя бы одного из вышеперечисленных пунктов по результатам выполнения лабораторной работы студент получает **оценку «не зачтено»**.

6.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

Вопросы для подготовки к экзамену

1. Электромагнитные параметры вещества и величины, характеризующие электромагнитное поле.
2. Система основных дифференциальных уравнений электродинамики и их физический смысл. Материальные уравнения. Система основных дифференциальных уравнений в комплексной форме.
3. Интегральные уравнения электромагнетизма. Обоснование физической интерпретации интегральных уравнений электродинамики.
4. Волновые уравнения. Электродинамические потенциалы. Теорема запаздывающих потенциалов.
5. Решение волнового уравнения для ограниченного объема. Формула Кирхгофа.
6. Теорема Умова-Поинтинга. Расчёт энергетических характеристик электромагнитного поля.
7. Основные понятия, характеризующие волну. Решение задачи распространения плоской волны в однородной изотропной среде. Свойства плоской волны в однородной среде.
8. Соотношения для векторов напряженностей электрического и магнитного полей сферической волны. Основные свойства сферических волн в изотропной среде.
9. Понятие о поле цилиндрических волн в однородной изотропной среде. Расчёт параметров электромагнитных волн.
10. Решение задачи излучения электромагнитных волн элементарным электрическим вибратором.
11. Анализ электромагнитного поля элементарного вибратора и его свойства. Расчёт характеристик электромагнитного поля элементарных излучателей.

12. Экспериментальное исследование характеристик поля элементарного электрического вибратора. Экспериментальное исследование характеристик поля элементарного магнитного вибратора.

13. Граничные условия на границе раздела двух сред с различными электромагнитными параметрами. Импедансные граничные условия. Поверхностные волны на границе раздела двух сред.

14. Решения задач для плоских горизонтально и вертикально поляризованных волн. Свойства преломленных и отраженных волн.

15. Понятие о дифракции радиоволн. Свойства дифракционной волны. Явление вторичного излучения электромагнитных волн.

16. Понятие «блестящей точки», эффективная площадь рассеяния (ЭПР) тел простейшей формы и реальных аэродинамических объектов.

17. Особенности диапазона СВЧ. Элементная база устройств СВЧ современных РЛС (волноводы).

18. Электромагнитное поле произвольной линии передачи СВЧ. Свойства электромагнитного поля в волноводе (фазовая и групповая скорости, длина волны в линии передачи СВЧ).

19. Условие распространения электромагнитных волн в линии передачи СВЧ. Типы волн, распространяющихся в волноводе.

20. Уравнения составляющих поля в прямоугольном волноводе. Расчет критических длин волн в прямоугольном волноводе. Волны основного и высшего типов в прямоугольном волноводе.

21. Построение диаграммы типов волн в прямоугольном волноводе стандартного сечения. Преимущества работы волновода на волне основного типа. Поля в волноводах на частоте ниже критической.

22. Уравнения поля в круглом волноводе. Поле коаксиального волновода.

23. Полосковые волноводы. Построение структур электромагнитных полей и токов в прямоугольных волноводах.

24. Построение структур электромагнитных полей и токов в круглых, коаксиальных и полосковых волноводах.

25. Суперпозиция падающих и отраженных волн в линии передачи. Параметры, характеризующие режимы работы линии передачи. Распределение амплитуд напряженностей электрического и магнитного полей вдоль линии передачи.

26. Зависимость режима работы линии передачи от свойств нагрузки. Резонансные свойства отрезков волноводов.

27. Расчёт частотных и энергетических параметров волноводов.

28. Оценка режимов работы линий передачи СВЧ с помощью круговых диаграмм. Определение режимов работы линий передачи СВЧ при различных нагрузках.

29. Колебательные системы СВЧ. Резонаторы волноводного типа. Длина волны собственных колебаний резонаторов.

30. Выражения для векторов напряженностей электромагнитного поля в объемных резонаторах. Расчёт геометрических размеров резонаторов волноводного типа. Построение структур электромагнитного поля в резонаторах волноводного типа.

31. Электрические свойства Земли и атмосферы, их влияние на распространение радиоволн (РРВ). Формула идеальной радиопередачи. Область, существенная для распространения радиоволн. Зоны Френеля. Построение радиотрасс в земной атмосфере. Оценка видов рефракции радиоволн. Оценка затухания радиоволн в атмосфере.

32. Постановка задачи и ее решение при распространении радиоволн над плоской Землей. Отражательные формулы и область их применения. Влияние Земли на характеристику направленности антенны. Расчёт параметров электромагнитных волн при распространении над «плоской» Землёй.

Пример экзаменационного задания:

1. Электромагнитные параметры вещества и величины, характеризующие электромагнитное поле.

2. Суперпозиция падающих и отраженных волн в линии передачи. Параметры, характеризующие режимы работы линии передачи. Распределение амплитуд напряженностей электрического и магнитного полей вдоль линии передачи.

3. Рассчитать предельную и допустимую рабочие мощности прямоугольного волновода МЭК-100, работающего на волне основного типа в зависимости от длины волны, изменяющейся в пределах $2{,}3 < \lambda < 4{,}5$см.

Критерии оценивания ответа на экзамене:

Оценка «отлично» выставляется студенту, который: глубоко и прочно усвоил программный материал в полном объеме, исчерпывающе, грамотно и логически стройно его излагает, четко формулирует основные понятия, приводит соответствующие примеры, уверенно владеет методологией курса, свободно ориентируется в его внутренней структуре, четко выявляет межпредметные связи с другими учебными дисциплинами; умеет творчески иллюстрировать теоретические положения курса примерами, применять теоретические знания к решению практических задач; хорошо владеет современными методами исследования, способен к самостоятельному пополнению и обновлению знаний.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, который: твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его без существенных ошибок, правильно применяет теоретические положения при решении конкретных задач, с небольшими погрешностями приводит формулировки определений, не допускает существенных неточностей при выборе и обоснованности методов решения задач; владеет методологией и методами исследования, устанавливает внутренние и межпредметные связи, умеет увязывать теорию с практикой; по ходу изложения допускает небольшие неточности, не искажающие содержания ответа.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, который не совсем твердо владеет программным материалом, знает основные теоретические положения изучаемого курса, обладает достаточными для продолжения обучения и предстоящей профессиональной деятельности знаниями. При ответах допускает малосущественные погрешности, искажения логической последовательности при изложении материала, неточную аргументацию теоретических положений курса, испытывает затруднения при решении практических задач.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, имеющему серьезные пробелы в знании учебного материала, допускающему принципиальные ошибки при выполнении предусмотренных программой контрольных заданий. Уровень знаний недостаточен для дальнейшей учебы и будущей профессиональной деятельности.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

7.1. Основная литература

1) Электродинамика и распространение радиоволн: учебное пособие / Д. Ю. Муромцев, Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин [и др.]. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2012. – 200 с. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: https://www.iprbookshop.ru/63924.html .

2) Андрусевич Л. К. Электродинамика и распространение радиоволн: учебное пособие / Л. К. Андрусевич, А. А. Ищук. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2009. – 207 с. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/54807.html .

7.2 Дополнительная литература

1) Боков Л. А. Электродинамика и распространение радиоволн: учебное пособие / Л. А. Боков, В. А. Замотринский, А.Е. Мандель. – Томск: Томский государственный университет

систем управления и радиоэлектроники, 2013. – 410 с. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: https://www.iprbookshop.ru/72050.html.

2) Пейсахович Ю. Г. Классическая электродинамика: учебное пособие / Ю. Г. Пейсахович. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017. – 649 с. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: https://www.iprbookshop.ru/91264.html.

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. http://school-collection.edu.ru/ – Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов.
2. http://fcior.edu.ru/ – Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (ФЦИОР)

8. Материально-техническое обеспечение

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная стандартной учебной мебелью, настенной доской, настенным экраном, мультимедиапроектором, ноутбуком и комплектом колонок.

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная стандартной учебной мебелью, настенной доской и оборудованием:

- генератор СВЧ-колебаний UDG 101/5 – 3 шт.;
- комплект антенных устройств – 12 шт.;
- модель вибратора Герца – 1 шт.;
- модель элементарного магнитного вибратора – металлическая петля – 1шт.;
- измерительный усилитель – 3 шт.;
- штатив с поворотным устройством – 10 шт.;
- газовый лазер на поворотном кронштейне – 1шт.;
- оптико-электронный преобразователь – 1шт.;
- угломер – 3 шт.;
- сверхширокополосный комплекс для измерения параметров антенн - 1 шт.;
- комплекты волноводных нагрузок – 10 шт.;
- волноводный переключатель каналов обзора и пеленгации радиолокационной станции – 1шт.;
- штангенциркуль, линейка – 10 шт.;
- макет земной поверхности – 1шт.

Помещение для самостоятельной работы – компьютерный класс с доступом к сети «Интернет» и ЭИОС СмолГУ.

9. Программное обеспечение

Microsoft Open License (Windows XP, 7, 8, 10, Server, Office 2003-2016), лицензия 66975477 от 03.06.2016 (бессрочно).

Обучающимся обеспечен доступ к ЭБС «IPRbooks», а также доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 03B6A3C600B7ADA9B742A1E041DE7D81B0
Владелец: Артеменков Михаил Николаевич
Действителен: с 04.10.2021 до 07.10.2022