

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)

---

---

Образовательно-научный институт ядерной энергетики  
и технической физики им. академика Ф.М. Митенкова (ИЯЭиТФ)

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института:  
\_\_\_\_\_ Легчанов М.А.  
“19” марта 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ОД.10 Электромагнитные поля и волны**

для подготовки бакалавров

Направление подготовки: 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Направленность: Оптические системы и сети связи

Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 2024, 2025

Выпускающая кафедра: ФТОС

Кафедра-разработчик: ФТОС

Объем дисциплины: 288/8

часов/з.е

Промежуточная аттестация: экзамен, экзамен

Разработчик: Раевская Ю.В., к.т.н., доцент

Нижний Новгород  
2025

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 19 сентября 2017 г. № 930 на основании учебных планов, принятых УМС НГТУ, протоколы от 21.05.2024 г. № 16 и 17.12.2024 г. № 6.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры протокол от 12 марта 2025 г. № 16.

Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор, Раевский А.С. \_\_\_\_\_

Программа рекомендована к утверждению советом ИЯЭиТФ, протокол от 19 марта 2025 г. № 1.

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № 11.03.02-О-31.  
Начальник МО \_\_\_\_\_

Заведующая отделом комплектования НТБ

\_\_\_\_\_

Кабанина Н.И.

*(подпись)*

## Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	3
<b>1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
1.1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	4
1.2. ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....	4
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>8</b>
4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕМЕСТРАМ .....	8
4.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ .....	9
<b>5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>20</b>
<b>6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>23</b>
6.1. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, ПЕЧАТНЫЕ ИЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНОГО ФОНДА .....	23
6.2. СПРАВОЧНО-БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	23
6.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯТИЯМ .....	24
<b>7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>24</b>
7.1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....	24
7.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ .....	25
<b>8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ .....</b>	<b>25</b>
<b>9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>26</b>
<b>10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>27</b>
10.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....	27
10.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЙ ЛЕКЦИОННОГО ТИПА .....	28
10.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ НА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТАХ .....	28
10.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ .....	28
10.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ .....	28
<b>11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>29</b>
11.1. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ .....	29
11.2. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ .....	42

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Целью освоения дисциплины являются** приобретение знаний в области теории электромагнитного поля и формирование необходимых компетенций для овладения навыками проведения анализа физических процессов, происходящих в различных направляющих системах, устройствах СВЧ, однородных и неоднородных средах; навыками решения основных задач расчета электрических и магнитных полей, а также основных характеристик волноводных трактов и резонаторов.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- формирование у студентов знаний, навыков и умений, позволяющих выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;
- формирование у студентов знаний, навыков и умений, позволяющих привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;
- формирование у студентов навыков анализа базовых электродинамических задач;
- формирование у студентов умения проводить самостоятельный анализ физических процессов, происходящих в различных направляющих системах, устройствах сверхвысоких частот, в однородных и неоднородных средах и на естественных радиотрассах.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Электромагнитные поля и волны» включена в перечень дисциплин вариативной части (формируемой участниками образовательных отношений), определяющий направленность ОП. Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Физика», «Математика», «Практикум по физике», «Уравнения математической физики», «Дифференциальные уравнения».

Дисциплина «Электромагнитные поля и волны» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Оптические направляющие среды», «Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства», «Фотоника», «Антенны», «Техника СВЧ».

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование элементов следующих профессиональных компетенций в соответствии с ОПОП ВО по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»:

ПКС-13 Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, создавать компьютерные программы с использованием как стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований, так и разрабатываемых самостоятельно.

Формирование указанной компетенции размещено в таблице 1.

Таблица 1 – Формирование компетенций дисциплинами

Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования дисциплины							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>ПКС-13</b>								
<i>Дифференциальные уравнения</i>								
<i>Информатика (часть 2)</i>								
<i>Специальные разделы физики (Квантовая физика)</i>								
<i>Физические основы электроники</i>								
<i>Цифровая обработка сигналов</i>								
<i>Уравнения математической физики</i>								
<i>Электроника</i>								
<i>Вычислительная техника и информационные технологии</i>								
<i>Электромагнитные поля и волны</i>								
<i>Квазиоптика</i>								

### 3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения оп

Таблица 2 – Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (дескрипторы)	Оценочные материалы	
			Текущего контроля	Промежуточной аттестации
ПКС-13. Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, создавать компьютерные программы с использованием как стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований, так и разрабатываемых самостоятельно	ИПКС-13.1. Разрабатывает физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере.	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные уравнения электромагнитного поля и теоремы, вытекающие из них;</li> <li>- свойства и методы построения основных типов линий передачи и резонаторов;</li> <li>- особенности распространения электромагнитных волн в различных естественных и искусственно создаваемых средах;</li> <li>- способы возбуждения волн и колебаний;</li> <li>- тенденции развития направляющих и колебательных электродинамических структур;</li> <li>- особенности структуры электромагнитного поля волн, распространяющихся в различных средах, в линиях передачи электромагнитной энергии и объемных</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить поиск научно-технической информации для решения задач проектирования коаксиальных, волноводных и оптических линий связи;</li> <li>- проводить анализ физических процессов, происходящих в различных направляющих системах и средах;</li> <li>- рассчитывать электромагнитные поля и основные характеристики волн в различных средах и в однородных регулярных волноводах, колебаний в резонаторах;</li> <li>- рассчитывать поля излучения и характеристики элементарных излучателей.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Специальной терминологией, используемой в отечественной и зарубежной литературе по макроскопической электродинамике;</li> <li>- навыками алгоритмизации краевых задач электродинамики;</li> <li>- методами измерения основных характеристик направляющих и колебательных электродинамических структур.</li> </ul>	<p>Вопросы для устного собеседования по лабораторным работам;</p> <p>Комплект домашних заданий;</p> <p>Комплект задач для проведения самостоятельных работ;</p> <p>Графическая работа;</p> <p>Тесты на платформе moodle</p>	<p>Вопросы для устного собеседования: билеты</p> <p>Комплект задач</p>

		резонаторах.				
--	--	--------------	--	--	--	--

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 8 зач.ед. 288 часов, распределение часов по видам работ и семестрам представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час		
	Всего	В т.ч. по семестрам	
		5 сем	6 сем
<b>Формат изучения дисциплины</b>	очная		
<b>Общая трудоёмкость</b> дисциплины по учебному плану	<b>288</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
<b>1. Контактная работа:</b>	<b>144</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
<b>1.1.Аудиторная работа, в том числе:</b>	<b>136</b>	<b>68</b>	<b>68</b>
занятия лекционного типа (Л)	51	17	34
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практ. занятия и др)	68	51	17
лабораторные работы (ЛР)	17		17
<b>1.2.Внеаудиторная, в том числе</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
курсовая работа (проект) (КР/КП) (консультация, защита)	.		
текущий контроль, консультации по дисциплине	8	4	4
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)			
<b>2. Самостоятельная работа (СРС)</b>	<b>81</b>	<b>45</b>	<b>36</b>
реферат/эссе (подготовка)			
расчёто-графическая работа (РГР) (подготовка)			
контрольная работа			
курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)			
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиум и т.д.)	81	45	36
Подготовка к экзамену (контроль)	<b>63</b>	<b>27</b>	<b>36</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4 – Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)				
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)							
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия								
<b>5 семестр</b>												
ПКС-13 ИПКС-13.1	<b>Раздел 1. Основные законы электромагнитного поля</b>								Конспект лекций			
	Тема 1.1. Векторные и скалярные поля. Электромагнитное поле	0,5			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]						
	Тема 1.2. Токи и заряды в электродинамике. Векторы напряженности электрического и магнитного полей. Диэлектрическая и магнитная проницаемости.	0,5			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]						
	Практическое занятие 1. Элементы векторного анализа. Линейные дифференциальные операторы. Системы координат.			4,0	2,0	Выполнение домашнего задания [6.2.1]						
	Тема 1.3. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Границные условия.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]						
	Практическое занятие 2. Границные условия.			2,0	1,5	Выполнение домашнего задания [6.2.1]						
	Тема 1.4. Виды сред. Материальные уравнения для различных сред.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]						

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)		
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)					
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия						
<p><b>Тема 1.5.</b> Закон сохранения заряда. Закон сохранения энергии. Теорема Умова-Пойнтинга. Теорема единственности решений уравнений электродинамики.</p> <p><b>Тема 1.6.</b> Вектор Пойнтинга. Комплексные амплитуды. Уравнения Максвелла в комплексной форме.</p> <p><b>Практическое занятие 3.</b> Комплексные амплитуды. Уравнения Максвелла в комплексной форме.</p> <p><b>Тема 1.7.</b> Закон сохранения энергии для гармонических полей (комплексный вектор Умова-Пойнтинга).</p> <p><b>Практическое занятие 4.</b> Энергетические соотношения в электродинамике.</p> <p><b>Тема 1.8.</b> Принцип двойственности. Лемма Лоренца. Теорема взаимности.</p> <p><b>Самостоятельная работа по освоению 1 раздела:</b></p> <p>реферат, эссе (тема)</p> <p>расчёто-графическая работа (РГР)</p> <p>контрольная работа</p>	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]					
		1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]				
				4,0	2,0	Выполнение домашнего задания [6.2.1]				
		1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]				
				4,0	1,5	Выполнение домашнего задания [6.2.1]				
		1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]				
					14,0					
	<b>Итого по 1 разделу</b>	<b>7,0</b>		<b>14,0</b>	<b>14,0</b>					
ПКС-13	<b>Раздел 2. Электростатика</b>						1. Диагностический безо-	Конспект лекций		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)		
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)					
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия						
ИПКС-13.1	<b>Тема 2.1.</b> Вычисление потенциала и поля по заданным зарядам. Потенциал в диэлектрической среде.	0,5			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]	ценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые качественные, расчетные, графические задания 3. Блиц-опрос			
	<b>Практическое занятие 5.</b> Вычисление потенциала и поля по заданным зарядам. Потенциал в диэлектрической среде.			2,0	1,0					
	<b>Тема 2.2.</b> Разрыв потенциала. Дифференциальное уравнение для потенциала в неоднородной среде.	0,5			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]				
	<b>Практическое занятие 6.</b> Специальные методы решения задач электростатики (метод Грина, метод интеграла Фурье).			3,0	1,0	Выполнение домашнего задания [6.2.1]				
	<b>Практическое занятие 7.</b> Специальные методы решения краевых задач электростатики (метод проводящих цилиндров, метод конформных преобразований).			3,0	1,0	Выполнение домашнего задания [6.2.1]				
	<b>Тема 2.3.</b> Энергия электростатического поля. Собственная энергия и энергия взаимодействия.	0,5			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]				
	<b>Практическое занятие 8.</b> Электростатические поля.			2,0	1,0					
	<b>Самостоятельная работа по освоению 2 раздела:</b> реферат, эссе (тема)				6,5					
	<b>расчёто-графическая работа (РГР)</b>									

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)						
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия							
	контрольная работа										
ПКС-13 ИПКС-13.1	Итого по 2 разделу	1,5		10,0	6,5						
	<b>Раздел 3. Магнитостатика</b>										
	<b>Тема 3.1. Стационарное магнитное поле.</b>	0,5			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]					
	<b>Практическое занятие 9.</b> Основные задачи магнитостатики			4,0	2,0	Выполнение домашнего задания [6.2.1]					
	<b>Тема 3.2. Энергия стационарного магнитного поля. Энергия системы линейных токов. Коэффициенты самоиндукции и взаимоиндукции.</b>	0,5			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]					
	<b>Практическое занятие 10.</b> Стационарные магнитные поля			2,0	1,0						
	<b>Самостоятельная работа по освоению 3 раздела:</b> реферат, эссе (тема)				4,0						
	<b>расчёто-графическая работа (РГР)</b>										
	<b>контрольная работа</b>										
	Итого по 3 разделу	1,0		6,0	4,0						
ПКС-13 ИПКС-13.1	<b>Раздел 4. Квазистационарные процессы</b>										
	<b>Тема 4.1. Квазистационарные явления. Дифференциальные уравнения квазистатики.</b>	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]					
	<b>Тема 4.2. Квазистационарные явления в линейных проводни-</b>	0,5			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4]					

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)						
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия							
	ках. Скин-эффект.					[6.1.5]					
	<b>Практическое занятие 11.</b> Вычисление толщины скин-слоя. Вычисление погонного сопротивления проводника.			2,0	1,0	Выполнение домашнего задания [6.2.1]					
	<b>Самостоятельная работа по освоению 4 раздела:</b> реферат, эссе (тема)				3,0						
	<b>расчёто-графическая работа (РГР)</b>										
	<b>контрольная работа</b>										
	<b>Итого по 4 разделу</b>	<b>1,5</b>		<b>2,0</b>	<b>3,0</b>						
ПКС-13 ИПКС-13.1	<b>Раздел 5. Быстропеременные процессы</b>						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые качественные, расчетные, графические задания 3. Блиц-опрос	Конспект лекций			
	<b>Тема 5.1.</b> Скалярный и векторный потенциалы, дифференциальные уравнения для потенциалов. Частные решения волновых уравнений.	0,5			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]					
	<b>Тема 5.2.</b> Плоские, цилиндрические и сферические волны. Плоские электромагнитные волны в однородной среде. Общие свойства плоских волн. Фазовая и групповая скорости.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]					
	<b>Тема 5.3.</b> Плоская волна в идеальном диэлектрике. Плоская волна в среде с потерями. Границные условия Щукина-Леоновича.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]					
	<b>Практическое занятие 12.</b>			5,0	3,0	Выполнение домашнего					

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)		
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)					
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия						
	Расчет характеристик распространения плоских волн в различных средах.					задания [6.2.1]				
	<b>Тема 5.4.</b> Поляризация волн. Стоячая электромагнитная волна	0,5			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]				
	<b>Тема 5.5.</b> Отражение и преломление волн на плоской границе раздела двух сред. Полное внутреннее отражение.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]				
	<b>Практическое занятие 13.</b> Отражение и преломление волн на плоской границе раздела двух сред. Полное внутреннее отражение.			5,0	3,0	Выполнение домашнего задания [6.2.1]				
	<b>Практическое занятие 14.</b> Решение неоднородного волнового уравнения методом Коши.			4,0	3,0	Выполнение домашнего задания [6.2.1]				
	<b>Самостоятельная работа по освоению 5 раздела:</b> реферат, эссе (тема)				13,0					
	<b>расчёто-графическая работа (РГР)</b>									
	<b>контрольная работа</b>									
	<b>Итого по 5 разделу</b>	<b>4,0</b>		<b>14,0</b>	<b>13,0</b>					
ПКС-13 ИПКС-13.1	<b>Раздел 6. Излучение электромагнитных волн. Основы теории антенн</b>							1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые качественные, расчетные, гра-	Конспект лекций	
	<b>Тема 6.1.</b> Излучение электрического и магнитного моментов.	0,5			0,5	Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]				
	<b>Тема 6.2.</b> Электрический вибра-	0,5			0,5	Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)		
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)					
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия						
	тор. Поле излучения в ближней и дальней зонах.					ботка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]	физические задания 3. Блиц-опрос			
	<b>Тема 6.3.</b> Мощность излучения. Излучение системы токов в свободном пространстве.	0,5			0,5	Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]				
	<b>Практическое занятие 15.</b> Излучение.			5,0	2,5	Выполнение домашнего задания [6.2.1]				
	<b>Тема 6.4.</b> Поле излучения полуволнового вибратора. Система вибраторов.	0,5			0,5	Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]				
	<b>Самостоятельная работа по освоению 6 раздела:</b> реферат, эссе (тема)				4,5					
	<b>расчёто-графическая работа (РГР)</b>									
	<b>контрольная работа</b>									
	<b>Итого по 6 разделу</b>	<b>2,0</b>		<b>5,0</b>	<b>4,5</b>					
	<b>ИТОГО ЗА СЕМЕСТР</b>	<b>17,0</b>		<b>51,0</b>	<b>45,0</b>					

### 6 семестр

ПКС-13 ИПКС-13.1	<b>Раздел 7. Направляемые электромагнитные волны</b>	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]	1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые качественные, расчетные, графические задания 3. Блиц-опрос	Конспект лекций
	<b>Тема 7.1.</b> Общие свойства направляемых волн. Понятие о направляющей системе. Классификация направляемых волн. Описание поля с помощью векторов Герца.			
	<b>Тема 7.2.</b> Постановка задачи о распространении поля в направляющей системе. Границные			

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)						
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия							
	условия для волн в волноводе произвольного сечения. Уравнение Гельмгольца. Дисперсионное уравнение. Дисперсионная характеристика. Критические частоты.										
	<b>Тема 7.3.</b> Волны типа Т в линиях передачи. Высшие типы волн в коаксиальной линии.	2,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]					
	<b>Практическое занятие 16.</b> Расчет погонных параметров линий передачи			2,0	1,5	Выполнение домашнего задания [6.2.1]					
	<b>Тема 7.4.</b> Волны в прямоугольном волноводе. Основная волна и волны высших типов, структуры полей.	2,0			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]					
	<b>Практическое занятие 17.</b> Прямоугольный однородно заполненный волновод			2,0	2,0	Выполнение домашнего задания [6.2.1]					
	<b>Тема 7.5.</b> Волны в круглом волноводе. Основная волна и волны высших типов, структуры полей.	2,0			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]					
	<b>Практическое занятие 18.</b> Круглый однородно заполненный волновод			2,0	1,5	Выполнение домашнего задания [6.2.1]					
	<b>Лабораторная работа № 1.</b> Изучение свойств прямоугольных и круглых волноводов.		4,0		3,0	Подготовка к лабораторным работам [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]					
	<b>Практическое занятие 19.</b> Потери в волноводах. Передаваемая мощность.			3,0	2,0	Выполнение домашнего задания [6.2.1]					
	<b>Лабораторная работа № 4.</b> Моделирование волноведущих		5,0		3,0						

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)						
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия							
	структур СВЧ-диапазона в САПР HFSS										
	<b>Тема 7.6.</b> Прямоугольный волновод с плоскопараллельными слоями.	2,0			1,0						
	<b>Тема 7.7.</b> Волны, направляемые круглым диэлектрическим стержнем. Дисперсионные уравнения. Дисперсионные свойства поверхностных волн.	4,0			1,5	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]					
	<b>Тема 7.8.</b> Распространение электромагнитных волн вдоль круглого неидеально проводящего стержня.	2,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]					
	<b>Тема 7.9.</b> Периодические замедляющие системы. Пространственные гармоники. Электромагнитные волны в гребенчатой структуре. Дисперсия в гребенчатой структуре.	3,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]					
	<b>Лабораторная работа № 3.</b> Гребенчатая замедляющая система.		4,0		3,0	Подготовка к лабораторным работам [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]					
	<b>Тема 7.10.</b> Медленные волны в спиральном волноводе. Дисперсионное уравнение для аксиально-симметричных волн, его решение. Методика численного решения дисперсионных задач.	3,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]					
	<b>Практическое занятие 20.</b> Гребенчатая замедляющая система. Спиральная линия. Диэлектричес-			2,0	1,0	Выполнение домашнего задания [6.2.1]					

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)		
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)					
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия						
	ский волновод.									
	<b>Тема 7.11.</b> Токи в стенках волновода. Возбуждение волн в волноводах.	1,0			0,5	Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]				
	<b>Самостоятельная работа по освоению 7 раздела:</b> реферат, эссе (тема)				26,0					
	<b>расчёто-графическая работа (РГР)</b>									
	<b>контрольная работа</b>									
	<b>Итого по 7 разделу</b>	<b>26,0</b>	<b>13,0</b>	<b>11,0</b>	<b>26,0</b>					
ПКС-13 ИПКС-13.1	<b>Раздел 8. Резонаторы</b>									
	<b>Тема 8.1.</b> Объемные резонаторы на базе отрезков линий передачи. Примеры типов колебаний в прямоугольном, круглом и коаксиальном резонаторах. Коаксиальный резонатор с торцевой емкостью.	3,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]	1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые качественные, расчетные, графические задания 3. Блиц-опрос	Конспект лекций		
	<b>Тема 8.2.</b> Элементы общей теории резонаторов. Резонансные частоты. Добротность.	1,0			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]				
	<b>Практическое занятие 21</b> Прямоугольный и круглый резонаторы.			3,0	2,0	Выполнение домашнего задания [6.2.1]				
	<b>Практическое занятие 22.</b> Потери в резонаторах. Добротность резонаторов.			3,0	2,0	Выполнение домашнего задания [6.2.1]				
	<b>Лабораторная работа №2.</b> Объемные резонаторы		4,0		3,0	Подготовка к лабораторным работам [6.1.1],				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)		
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)					
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия						
					[6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]					
Тема 8.3. Диэлектрические резонаторы.	3,0				1,0	Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]				
Тема 8.4. Возбуждение колебаний в объемных экранированных резонаторах.	1,0				0,5					
Самостоятельная работа по освоению 7 раздела: реферат, эссе (тема)					10,0					
расчёто-графическая работа (РГР)										
контрольная работа										
Итого по 8 разделу	8,0	4,0	6,0	10,0						
ИТОГО ЗА СЕМЕСТР	34,0	17,0	17,0	36,0						
ИТОГО по дисциплине	51,0	17,0	68,0	81,0						

## **5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.**

Для осуществления текущего контроля знаний обучающихся сформулированы теоретические вопросы по темам лабораторных работ, примеры домашних заданий и заданий для самостоятельных работ, задания для выполнения графической работы, тесты на платформе moodle.

Также сформирован перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию в форме экзаменов во 5 и 6 семестрах.

Указанный комплект оценочных средств является неотъемлемой частью фонда оценочных средств и хранится на кафедре «Физика и техника оптической связи».

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели) и оценка выполнения лабораторных работ приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели) и оценка выполнения лабораторных работ

<b>Шкала оценивания</b>	<b>Контрольная неделя</b>	<b>Зачет</b>
40<R≤50	Отлично	зачет
30<R≤40	Хорошо	
20<R≤30	Удовлетворительно	
0<R≤20	Неудовлетворительно	

При промежуточном контроле успеваемость студентов оценивается по четырехбалльной системе «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Таблица 6 – Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» / «не зачтено» 0-59% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / «зачтено» 60-74% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» / «зачтено» 75-89% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «зачтено» 90-100% от max рейтинговой оценки контроля
ПКС-13. Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, создавать компьютерные программы с использованием как стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований, так и разрабатываемых самостоятельно	ИПКС-13.1. Разрабатывает физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере.	Не знает основные уравнения электромагнитного поля и теоремы, вытекающие из них; свойства и методы построения основных типов линий передачи и резонаторов; особенности распространения электромагнитных волн в различных естественных и искусственно создаваемых средах; способы возбуждения волн и колебаний; тенденции развития направляющих и колебательных электродинамических структур; особенности структуры электромагнитного поля волн, распространяющихся в различных средах, в линиях передачи электромагнитной энергии и объемных резонаторах. Не умеет проводить поиск научно-технической информации для решения задач проектирования коаксиальных, волноводных и оптических линий связи; проводить анализ физических процессов, происходящих в различных направляющих системах и средах; рассчитывать электромагнитные поля и основные характеристики волн в различных средах и в однородных регулярных волноводах, колебаний в	Может сформулировать основные уравнения электромагнитного поля и теоремы, вытекающие из них; свойства и методы построения основных типов линий передачи и резонаторов; особенности распространения электромагнитных волн в различных естественных и искусственно создаваемых средах; способы возбуждения волн и колебаний; тенденции развития направляющих и колебательных электродинамических структур; особенности структуры электромагнитного поля волн, распространяющихся в различных средах, в линиях передачи электромагнитной энергии и объемных резонаторах. При проведении поиска научно-технической информации для решения задач проектирования коаксиальных, волноводных и оптических линий связи; проведении анализа физических процессов, происходящих в различных направляющих системах и средах; расчете электромагнитных полей и основных характеристики волн в	Может сформулировать основные уравнения электромагнитного поля и теоремы, вытекающие из них; свойства и методы построения основных типов линий передачи и резонаторов; особенности распространения электромагнитных волн в различных естественных и искусственно создаваемых средах; способы возбуждения волн и колебаний; тенденции развития направляющих и колебательных электродинамических структур; особенности структуры электромагнитного поля волн, распространяющихся в различных средах, в линиях передачи электромагнитной энергии и объемных резонаторах.	Твердо знает основные уравнения электромагнитного поля и теоремы, вытекающие из них; свойства и методы построения основных типов линий передачи и резонаторов; особенности распространения электромагнитных волн в различных естественных и искусственно создаваемых средах; способы возбуждения волн и колебаний; тенденции развития направляющих и колебательных электродинамических структур; особенности структуры электромагнитного поля волн, распространяющихся в различных средах, в линиях передачи электромагнитной энергии и объемных резонаторах.



Таблица 7 – Критерии оценивания

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

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных ниже на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль).

6.1.1. Электродинамика и распространение радиоволн: учебник / В. А. Неганов [и др.] ; Под ред. В.А. Неганова, С.Б. Раевского. - 4-е изд., стер. - М.: Радиотехника, 2009. - 743 с.

6.1.2 Электродинамика и распространение радиоволн: учебник / В. А. Неганов [и др.] ; Под ред. В.А. Неганова, С.Б. Раевского. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Радиотехника, 2007. - 743 с.

6.1.3. Устройства СВЧ- и КВЧ-диапазонов. Методы расчета. Алгоритмы. Технологии изготовления / Ю. А. Иларионов [и др.]. - М.: Радиотехника, 2013. - 752 с.

6.1.4. Боков, Л.А. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Л.А. Боков, А.Е. Мандель, В.А. Замотринский – Томск: ТУСУР, 2013. – 410 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/3289>

6.1.5. Иванов, А.Е. Электродинамика: Учебник / А. Е. Иванов, С. А. Иванов. - М.: КНОРУС, 2012. - 565 с.

### 6.2. Справочно-библиографическая литература

6.2.1. Сборник задач по электродинамике: учеб. пособие/ Ю.Г. Белов [и др.]; Нижегород. Гос. Техн. Ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2015. – 101 с.

6.2.2. Григорьев, А.Д. Электродинамика и микроволновая техника: учебник / А. Д. Григорьев. - 2-е изд., доп. - СПб. : Лань, 2007. - 704 с.

6.2.3. Петров, Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн: учебник для вузов / Б. М. Петров. - 2-е изд., испр. - М.: Горячая линия-Телеком, 2003. - 559 с.

### **6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям**

Методические указания и рекомендации по проведению конкретных видов учебных занятий по дисциплине «Электромагнитные поля и волны» находятся на кафедре «ФТОС».

6.3.1. Методические рекомендации по организации аудиторной работы по дисциплине «Электромагнитные поля и волны».

6.3.2. Методические рекомендации по организации и планированию практических занятия по дисциплине «Электромагнитные поля и волны».

6.3.3. Методические рекомендации по организации лабораторных занятий и выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электромагнитные поля и волны».

6.3.4. Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы по дисциплине «Электромагнитные поля и волны».

## **7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

### **7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.tolgas.ru/> - Загл. с экрана.
3. Электронно-библиотечная система Znaniум.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.
4. Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/>. - Загл с экрана.
5. Polpred.com. Обзор СМИ. Полнотекстовая, многоотраслевая база данных (БД) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://polpred.com/>. – Загл. с экрана.
6. Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.
7. Университетская информационная система Россия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uisrussia.msu.ru/>. – Загл. с экрана.

## 7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 8 – Перечень электронных библиотечных систем

№	Наименование ЭБС	Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС
1	Консультант студента	<a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>
2	Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
3	Юрайт	<a href="https://biblio-online.ru/">https://biblio-online.ru/</a>

В таблице 9 указан перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства.

Таблица 9 - Перечень программного обеспечения

Программное обеспечение, используемое в университете на договорной основе	Программное обеспечение свободного распространения
1	2
Microsoft Windows XP, Prof, S/P3 (подписка DreamSpark Premium, договор №Tr113003 от 25.09.14)	
MS Office 2010. MS Open License, 60853088, Academic	Open Office 4.1.1 (лицензия Apache License 2.0)
Microsoft Windows 7. Электронная лицензия от MS после обновления.	Adobe Acrobat Reader (Free-Ware)
ANSYS Academic Teaching HF (25 task) LAN, Paid-Up, 1026981	

В таблице 10 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Таблица 10 – Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	2	3
1	База данных стандартов и регламентов РОССТАНДАРТ	<a href="https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts">https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts</a>
2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	<a href="https://cyberpedia.su/21x47c0.html">https://cyberpedia.su/21x47c0.html</a>

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 10 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная

среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

Таблица 10 - Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Для контактной и самостоятельной работы обучающихся выделены помещения, оснащённые компьютерной техникой с подключением к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации:

- зал электронно-информационных ресурсов (ауд. 2210 – 11 компьютеров, ауд. 6119 – 9 компьютеров);
- читальный зал открытого доступа (ауд. 6162 – 2 компьютера);
- ауд. 2303, 2202, оборудованные Wi-Fi.

Для проведения лекционных демонстраций имеется демонстрационный кабинет 5307 рядом с лекционной аудиторией 5303, оснащённый приборами, макетами, различными установками.

Лабораторные работы №1, 2 и 3 проводятся в 1 корпусе в оснащённой необходимым оборудованием лаборатории (ауд. 1220), содержащей:

- макеты лабораторных работ;
- индикатор КСВН и ослаблений Я2Р-67 (2 шт.);
- генератор качающейся частоты 59;
- генератор сигналов высокочастотный Г4-80;
- осциллограф универсальный С1-70;
- генератор звуковой Г3-53;
- осциллограф С1-68.

Лабораторная работа №4 проводится в 1 корпусе в компьютерном классе (ауд. 1218), содержащем:

- 11 рабочих мест, оборудованных компьютерами:

5 компьютеров: PC Intel Core i5-2320 CPU 3,4 GHz / 3Gb RAM/HDD 300Gb/DVD-ROM и мониторами Acer V198 19".

6 компьютеров: PC Intel Core 2 CPU E7200 2,54 GHz / 2Gb RAM/HDD 300Gb/DVD-ROM и мониторами Benq G900 AD 19"

Все компьютеры объединены в локальную сеть и подключены к сети «Интернет».

- проектор
- пакеты ПО общего назначения:
  - Windows 7;
  - Visual Studio 2010;
  - Adobe Reader 11;
  - Open Office 2.3 (Calc, Draw, Writer, Math)

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии**

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная.

При преподавании дисциплины «Электромагнитные поля и волны» используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать члены самостоятельной работы.

Для студентов создан краткий опорный электронный вариант лекционного материала курса. Электронный конспект находится на кафедре «ФТОС» и может быть получен студентом в случае пропусков занятий по уважительным причинам или вынужденного перевода занятий в дистанционную форму.

На лекциях, практических и лабораторных занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на лабораторных занятиях, практических занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, Skype, Zoom. Инициируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенций применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов в процессе текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена с учетом текущей успеваемости.

**Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

**Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установ-

ленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий

**Результат обучения считается несформированным**, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует допороговому уровню.

## **10.2. Методические указания для занятий лекционного типа**

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 4). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям / лабораторным работам и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

## **10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах**

Подготовку к каждой лабораторной работе студент должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Каждая выполненная работа с оформленным отчетом и подлежит защите у преподавателя.

При оценивании лабораторных работ учитывается следующее:

- качество выполнения экспериментально-практической части работы и степень соответствия результатов работы заданным требованиям;
- качество оформления отчета по работе;
- качество устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

## **10.4. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях**

Практические занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы. Основной формой проведения практических занятий является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также решение задач и разбор примеров и ситуаций в аудиторных условиях.

Практические занятия обучающихся обеспечивают:

- проверку и уточнение знаний, полученных на лекциях;
- получение умений и навыков решения задач;
- подведение итогов занятий по рейтинговой системе, согласно технологической карте дисциплины.

## **10.5. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся**

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (указано в таблице 11). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

Развернутые методические указания по всем видам работы студента находятся на кафедре «ФТОС».

## **11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **11.1. Оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости**

Для текущего контроля знаний студентов по дисциплине проводится **комплексная оценка знаний**, включающая

- проведение самостоятельных работ;
- теоретический опрос и защита отчетов по лабораторным работам;
- проверка выполнения домашних заданий;
- графическая работа;
- тестирование на платформе moodle.

#### **11.1.1 Типовые вопросы для лабораторных работ**

**Лабораторная работа «Изучение свойств прямоугольного и круглого волноводов»:**

1. Что такое дисперсионная зависимость?
2. Дайте классификацию видов дисперсии.
3. Что такое критическая частота волны в волноводе?
4. Расскажите о резонансном методе, с помощью которого в данной работе производится экспериментальное определение дисперсионной зависимости и критических частот волн в волноводе.
5. Дайте классификацию волн в прямоугольном и круглом волноводах.
6. Изобразите и поясните структуру поля основной волны в прямоугольном и круглом волноводах.
7. Изобразите структуры полей волн  $H_{11}$ ,  $H_{01}$ ,  $E_{11}$  в прямоугольном волноводе.
8. Что такое объемный резонатор и его собственная частота?
9. Как определить критические частоты (теоретически и экспериментально)?
10. Какие типы волн могут существовать в прямоугольном и круглом волноводах?
11. Каким граничным условиям на металлических стенках удовлетворяют волны типа  $E$ ,  $H$ ?
12. Каким методом решается уравнение Гельмгольца?
13. Какими функциями описываются распределения полей в прямоугольном и круглом волноводах?
14. Обозначение типов волн, физический смысл индексов.
15. Структура полей основных типов волн в круглом волноводе.

16. Что такое симметричные волны?
17. Принцип действия экспериментальной установки.
18. Покажите, что в ванне с диэлектрическими стенками силовые линии электрического поля совпадают с эквипотенциальными поверхностями.
  
19. Какая система электродов должна быть использована при моделировании волн типа  $E_{01}$ ;  $E_{11}$ ;  $E_{21}$ ;  $H_{01}$ ;  $H_{11}$ ;  $H_{21}$ ?

**Лабораторная работа «Объемные резонаторы»:**

1. Как образуется поле колебаний в резонаторах, выполненных на базе отрезков волновода?
2. Чем отличаются структуры электромагнитных полей бегущей и стоячей волн в прямоугольном волноводе?
3. Какой физический смысл имеют индексы в обозначении типов колебаний?
4. Как вычислить резонансную частоту любого типа колебание в прямоугольном резонаторе?
5. Изобразите структуры полей колебаний  $H_{101}$ ,  $H_{102}$ ,  $H_{111}$ ,  $E_{111}$  в прямоугольном резонаторе.
6. Нарисовать эквивалентную схему коаксиального резонатора с торцевой емкостью.
7. Как определяются резонансные частоты резонатора с торцевой емкостью?
8. Дайте определение добротности.
9. Какие существуют виды добротности?
10. Какими методами измеряется добротность резонаторов в лабораторной работе?
11. Нарисуйте функциональные схемы установок для проводимых измерений.

**Лабораторная работа «Гребенчатая замедляющая система»:**

1. В чем заключается импедансный метод составления дисперсионного уравнения гребенчатой замедляющей системы?
2. Понятие фазовой и групповой скоростей.
3. Связь компонент поля во внешней и внутренней областях гребенчатой замедляющей системы.
4. Какие существуют виды дисперсии?
5. Фазовая и групповая скорости пространственных гармоник.
6. Чем отличаются дисперсионные задачи для экранированной и неэкранированной гребенчатых замедляющих систем?
7. Как зависит фазовая скорость волны, распространяющейся в неэкранированной «гребенке», от частоты?
8. Когда можно пренебречь влиянием пространственных гармоник?
9. Как решается дисперсионное уравнение для экранированной «гребенки»?
10. Объясните принцип работы лабораторной установки.

**Лабораторная работа «Моделирование волноведущих структур СВЧ в САПР HFSS»:**

По данной лабораторной работе студенты защищают только отчет, работа выполняется в компьютерном классе.

### 11.1.2. Типовые задания для домашних работ

- Найти  $[\nabla(\nabla\phi)]$ ;  $\text{grad}\text{div}\vec{A}$ ;  $(\nabla\phi)^2$
- Доказать:  $\text{div}[\text{grad }\phi, \text{grad }\psi] = 0$ ;  $\text{div} \text{rot } \vec{A} = 0$ ;  $\text{div}\left(\frac{\vec{r}}{r^3}\right) = 0$ .
- Запишите выражение для вектора напряженности магнитного поля  $\vec{H}(t)$ , имеющего линейную поляризацию в плоскости  $XOZ$ . Колебания вектора  $\vec{H}$  происходят с амплитудой 10 мА/м вдоль прямой, наклоненной под углом  $30^\circ$  к оси  $z$  и углом  $60^\circ$  к оси  $x$ . При  $t = 0$  проекция  $H_z = 5$  мА/м. Частота колебаний 2 ГГц.
- Плоская поверхность разделяет две среды с относительными диэлектрическими проницаемостями  $\epsilon_{r1} = 5$  и  $\epsilon_{r2} = 2$ . В 1-й среде вектор электрического смещения имеет величину  $5 \cdot 10^{-10}$  Кл/м<sup>2</sup> и ориентирован под углом  $45^\circ$  к поверхности раздела. Во 2-й среде величина вектора электрического смещения равна  $2,5 \cdot 10^{-10}$  Кл/м<sup>2</sup>. Определите плотность поверхностного заряда.
- Плоскость  $XOY$  декартовой системы координат разделяет среды с относительными диэлектрическими проницаемостями  $\epsilon_{r1} = 2$  и  $\epsilon_{r2} = 4$ . Вектор электрического смещения в 1-й среде  $\vec{D}_1 = 5\vec{e}_x + 5\vec{e}_z$  нКл/м<sup>2</sup>. Определите величину вектора электрического смещения во второй среде, а также угол, образуемый этим вектором с направлением нормали к поверхности среды. Поверхностный электрический заряд отсутствует.
- По поверхности идеально проводящего цилиндра радиуса  $r_0 = 5$  см протекает ток с плотностью  $\vec{j}_{\text{пов}} = 0,15\vec{e}_z$  А/м. Определите величину полного тока, а также тангенциальные составляющие электрического и магнитного полей на поверхности цилиндра.
- Плоская поверхность разделяет воздух и среду с параметрами  $\epsilon_{r2} = 1$ ,  $\mu_{r2} = 15$ . В этой среде вектор напряженности магнитного поля образует угол  $20^\circ$  с направлением нормали к поверхности раздела. Определите нормальную составляющую вектора напряженности магнитного поля в воздухе, если тангенциальная составляющая в воздухе равна 15 мА/м. Поверхностный электрический ток отсутствует.
- В диэлектрике с относительной проницаемостью 2,5 и удельной проводимостью  $1,1 \cdot 10^{-3}$  См/м вектор плотности тока проводимости  $\vec{j}_{\text{пп}} = 2,2 \cdot 10^{-4} \sin(\pi \cdot 10^7 t) \vec{e}_x$ , А/м. Определите комплексную амплитуду вектора плотности тока смещения, а также угол диэлектрических потерь.
- Комплексная амплитуда вектора напряженности магнитного поля в воздухе:  $\dot{\vec{H}} = 2e^{-i4\pi y} \vec{e}_z$ , мА/м (случай плоской волны, распространяющейся вдоль оси  $y$ ). Сторонние токи отсутствуют. Определите комплексную амплитуду вектора напряженности электрического поля и частоту колебаний.
- Комплексная амплитуда вектора напряженности электрического поля в воздухе:  $\dot{\vec{E}} = 10e^{-i2\pi x} \vec{e}_y$ , мВ/м (случай плоской волны, распространяющейся вдоль оси  $x$ ). Сторонние токи отсутствуют. Определите комплексную амплитуду вектора напряженности магнитного поля. Частота колебаний 300 МГц.
- В некоторой точке пространства заданы комплексные амплитуды векторов электромагнитного поля:  $\dot{\vec{E}} = 0,5e^{-i\frac{\pi}{6}} \vec{e}_x$ , В/м;  $\dot{\vec{H}} = 0,8e^{-i\frac{\pi}{3}} \vec{e}_y + 1,2e^{-i\frac{\pi}{4}} \vec{e}_z$ , мА/м. Определите среднее значение вектора Пойнтинга.

12. В материальной среде с относительными проницаемостями  $\epsilon_r = 80$ ,  $\mu_r = 1$  и удельной проводимостью  $10^{-3}$  См/м вектор напряженности электрического поля  $\vec{E}(t) = 15 \cos 10^8 t \vec{e}_x + 9 \cos \left( 10^8 t + \frac{\pi}{4} \right) \vec{e}_z$ , В/м. Определите среднее значение плотности энергии электрического поля и среднее значение плотности мощности тепловых потерь.
13. В среде с потерями заданы комплексные амплитуды векторов электромагнитного поля волны:  $\dot{\vec{E}} = 0,5 e^{-0,01x} e^{-i0,03x} \vec{e}_y$ , В/м;  $\dot{\vec{H}} = 0,01 e^{-0,01x} e^{-i(0,03x + \frac{\pi}{10})} \vec{e}_z$ , А/м. Определите среднее значение вектора Пойнтинга. Найдите среднюю мощность, переносимую волной через квадратную площадку размерами  $1 \times 1 \text{ м}^2$ , расположенную в плоскости  $x = 100 \text{ м}$ .
14. Сферическая волна характеризуется комплексными амплитудами векторов поля:  $\dot{\vec{E}} = \frac{200}{r} e^{-0,09r} e^{-i5,1r} \vec{e}_\theta$  В/м;  $\dot{\vec{H}} = \frac{1,3}{r} e^{-0,09r} e^{-i(5,1r + 1^\circ)} \vec{e}_\phi$  А/м. Определите среднюю мощность тепловых потерь в объеме, ограниченном сферами с радиусами 10 м и 20 м. Сторонние токи в рассматриваемом объеме отсутствуют.
15. Бесконечный цилиндр радиуса  $a$  заржен свободным зарядом с объемной плотностью  $\rho = \rho_0 / r$ . Найти разность потенциалов между точкой  $M$  на оси цилиндра и точкой  $N$  вне цилиндра.
16. Найти потенциал внутри и вне заряженной бесконечной пластины толщиной  $2a$ . Объемная плотность заряда  $\rho$ . Диэлектрические проницаемости пластины и среды  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  соответственно.
17. Два заряженных проводящих цилиндра находятся на расстоянии  $L$  (расстояние между осями цилиндров). Радиусы цилиндров  $R_1$  и  $R_2$ . Потенциал одного из них  $\Phi_1$ . Найти потенциал другого.
18. Найти распределение потенциала в плоскости  $(x, y)$  при граничных условиях:  $\phi(x, 0) = \phi_0 \sin kx$ ;  $\phi(x, \infty) = 0$ .
19. Найти индуцированный на заземленном шаре радиуса  $a$  заряд  $q'$ , если на расстоянии  $r$  от центра шара находится заряд  $q$ .
20. Две концентрические сферы с радиусами  $R_1$  и  $R_2$  ( $R_1 > R_2$ ) имеют заряды  $q_1$  и  $q_2$ , равномерно распределенные по их поверхностям. Найти напряженность и потенциал поля в точке, удаленной на расстояние  $r$  от центра сфер.
21. Бесконечно длинный круговой цилиндр радиуса  $R$  равномерно заряжен по объему с плотностью заряда  $\rho$ . Найти напряженность и потенциал электростатического поля в точке, удаленной на расстояние  $r$  от оси цилиндра.
22. Найти собственную энергию заряда, равномерно распределенного с плотностью  $\rho$  внутри сферы радиуса  $R$ . Определить соотношение между энергиями внутри шара и вне его.
23. Прямой провод, по которому течет ток  $J = 20 \text{ A}$ , расположен в воздухе горизонтально в однородном магнитном поле с индукцией  $10^{-2} \text{ K/A} \cdot \text{м}$ , направленном сверху вниз. Определить индукцию магнитного поля на расстоянии 0,1 м от провода.
24. Какой длины нужно взять коаксиальный кабель, чтобы его индукция была равной  $L$ ? Радиус внутреннего провода —  $a$ , экрана —  $b$ .
25. Найти внешнюю погонную индуктивность двухпроводной линии, расстояние между проводами которой  $l$ , радиус проводов —  $r_0$ .

26. Найти напряженность магнитного поля, создаваемого двумя ленточными бесконечными (в одном измерении) параллельными проводниками с токами  $\pm J$ . Расстояние между проводниками –  $l$ , ширина проводников –  $h$ .
27. Найти индукцию и векторный потенциал магнитного поля, создаваемого током, протекающим по бесконечно длинной тонкой полоске шириной  $a$ , равномерно распределенным по ширине полоски.
28. Определить векторный потенциал однородного магнитного поля, индукция которого  $\vec{B}_0 \uparrow\uparrow \vec{z}_0$ .
29. По тонкому проводнику, образующему окружность радиуса  $R$ , течет ток  $J$ . Механическая прочность проводника  $F_0$ . При каком значении индукции магнитного поля, перпендикулярного плоскости проводника, произойдет разрыв последнего?
30. Прямоугольный ток, протекающий по проводнику, расположенному вдоль оси  $z$  ( $z \in [-l_1, l_2]$ ), создает магнитное поле. Вычислить его индукцию в произвольной т.  $M$  плоскости  $z=0$ .
31. Найти индукцию магнитного поля, создаваемого двумя прямолинейными параллельными токами, текущими в противоположных направлениях, в точке, отстоящей от проводников на расстояния  $r_{1,2}$ . Расстояние между токами  $h$ .
32. Доказать, что первый закон Кирхгофа, устанавливающий равенство нулю алгебраической суммы токов в узле электрической цепи, есть следствие уравнения непрерывности.
33. Получить в приближении квазистатики уравнение, которому удовлетворяет электрическое поле в проводящей среде.
34. На основе дифференциального уравнения относительно электрического поля в квазистационарном приближении получить выражение для вычисления толщины скин-слоя.
35. Используя запись уравнений Максвелла в квазистационарном приближении, получить уравнение, описывающее электромагнитные процессы в колебательном контуре.
36. Прямоугольная рамка размером  $a \times b$  вращается вокруг стороны  $a$  в однородном магнитном поле индукции  $B$  с угловой скоростью  $\omega = \omega_0 \left(1 - e^{-t/\tau}\right)$ . Определить величину ЭДС индукции, если в начальный момент рамка нормальна полю.
37. Два параллельных провода, замкнутых на одном конце сопротивлением  $R$ , расположены в однородном магнитном поле индукции  $\vec{B}$ . Считая, что поле  $\vec{B}$  нормально к плоскости проводов, найти ток  $J$ , который течет через проводящую перекладину, замыкающую проводники, двигающуюся с постоянной скоростью  $V$ . Расстояние между проводами  $l$ .
38. Медный диск радиуса  $a$  вращается в однородном магнитном поле с частотой  $\omega$ . Магнитное поле нормально плоскости диска и имеет индукцию  $B$ . Две щетки – одна на оси диска, другая на окружности, ограничивающей диск, соединяют его с внешней цепью, имеющей сопротивление  $R$ . Найти ток в цепи.
38. Характеристическое сопротивление в среде без потерь равно 1508 Ом,  $\epsilon_r = 1$ . Определите  $\mu_r$ .
39. Плоская электромагнитная волна распространяется в ненамагнченной среде без потерь с неизвестным значением  $\epsilon$ . Измерения показали, что на пути 10 см колебание с частотой 1 ГГц приобретает дополнительный, по сравнению с вакуумом, сдвиг по фазе  $40^\circ$ . Определить относительную диэлектрическую проницаемость и коэффициент преломления среды.
40. Определить характеристическое сопротивление металла с удельной проводимостью  $6 \cdot 10^7$  См/м и  $\mu_r = 1$  на частотах 10 кГц и 1 МГц.

41. Во сколько раз уменьшится амплитуда плоской электромагнитной волны с частотой 2 МГц при распространении в среде с параметрами  $\sigma = 10^{-3}$  См/м,  $\epsilon_r = 2$ ,  $\mu_r = 1$  на пути 1 м.
42. Определить толщину экрана из меди ( $\sigma = 5,7 \cdot 10^7$  См/м и  $\mu_r = 1$ ), который обеспечивает ослабление амплитуды электромагнитного поля в  $10^4$  раза на частотах 50 Гц и 50 МГц.
43. Плоская электромагнитная волна падает по нормали из вакуума на диэлектрическое полупространство без потерь с параметрами  $\epsilon_r = 2,56$ ,  $\mu_r = 1$ . Амплитуда магнитного вектора падающей волны составляет 10 А/м. Определите амплитуду магнитного вектора в отраженной и преломленной волнах.
44. Плоская электромагнитная волна с параллельной поляризацией падает под углом  $30^\circ$  из диэлектрика с параметрами  $\epsilon_r = 2,08$ ,  $\mu_r = 1$  на границу раздела с воздухом. Потери в диэлектрике отсутствуют. Амплитуда напряженности электрического поля падающей волны 0,8 В/м. Определите амплитуду напряженности электрического поля отраженной и преломленной волн.
45. Плоская волна с параллельной поляризацией падает на границу раздела двух диэлектриков без потерь с  $\mu_{r1} = \mu_{r2} = 1$ . При падении из первого диэлектрика во второй явление полного преломления наблюдается для угла падения  $40^\circ$ . Определите, при каком угле падения будет наблюдаться явление полного преломления в случае падения из второго диэлектрика в первый.
46. Определите амплитуду составляющих поля в экваториальной плоскости элементарного излучателя на расстоянии 1 км. Частота колебаний 60 МГц. Излучатель: электрическая рамка с амплитудой тока 0,5 А и диаметром 30 см.
47. Определите плотность мощности поля в экваториальной плоскости элементарного излучателя на расстоянии 10 км. Частота колебаний 3,75 МГц. Найдите полную излученную мощность. Излучатель: электрический вибратор с амплитудой тока 4 А и длиной 5 м.
48. Элементарный вибратор излучает мощность 100 Вт. Определите, на каком предельном расстоянии от вибратора можно осуществлять радиоприем при чувствительности приемника 0,5 мВ/м.
49. Определите, какая мощность должна излучаться элементарным излучателем (электрическим или магнитным), чтобы на расстоянии 100 км от излучателя можно было принимать электромагнитные колебания с плотностью мощности  $1 \text{ мкВт/м}^2$ .
50. Сравните амплитуду напряженности электрического поля максимального излучения для элементарных электрического и рамочного излучателей при одинаковой амплитуде тока. Длина электрического излучателя и диаметр рамки одинаковы и составляют  $0,1\lambda_0$ .
51. Антенна в виде провода длиной  $l = 3$  м питается синусоидальным током с частотой  $f = 10^6$  Гц и амплитудой  $J_0 = 10$  А. Вычислить мощность и сопротивление излучения антенны.
52. К антенне длиной  $l = 2$  м подводится синусоидальный ток с частотой  $f = 10^6$  Гц и амплитудой  $J_0 = 5$  А. Вычислить напряженность электрического поля на расстоянии  $r = 50$  км под углом  $\theta = \pi/2$  к оси излучателя.
53. Прямоугольный волновод сечением  $23 \times 10 \text{ мм}^2$  заполнен диэлектриком с относительной проницаемостью  $\epsilon_r = 2,25$ . Частота колебаний 8,4 ГГц. Определить величины фазовой скорости и длины волны в волноводе.
54. Определить размеры поперечного сечения прямоугольного волновода с воздушным заполнением, при которых может распространяться только основная волна  $H_{10}$ , если длина волны генератора 10 см.

55. Прямоугольный волновод работает на волне  $H_{10}$ . Размеры волновода:  $a = 2,6$  см;  $b = 1,3$  см. Длина волны в волноводе 4,5 см. Определить частоту, на которой распространяется основная волна волновода.
56. В прямоугольном волноводе сечением  $16 \times 8$  мм<sup>2</sup> распространяется волна основного типа. Длина волны в волноводе 2,5 см, частота колебаний 9 ГГц. Определить фазовую скорость и относительную диэлектрическую проницаемость вещества, заполняющего волновод.
57. В прямоугольном волноводе (заполнен воздухом) распространяется волна с частотой 10 ГГц. Изобразите зависимости фазовой скорости и длины волны в волноводе от ширины волновода для волн  $H_{10}$  и  $H_{01}$ . Отношение ширины волновода к его высоте равно 2.
58. В прямоугольном волноводе сечением  $50 \times 25$  мм<sup>2</sup>, работающем на волне типа  $H_{10}$ , передается средняя мощность 10 кВт. Частота поля 5 ГГц. Определить амплитуду напряженности электрического поля на оси волновода, а также максимальное значение поверхностной плотности тока на его стенках.
59. В каких точках сечения прямоугольного волновода с волной типа  $H_{10}$  вектор напряженности магнитного поля будет иметь круговую поляризацию? В какой плоскости будет вращаться вектор? Сечение волновода  $7,2 \times 3,4$  см<sup>2</sup>, длина волны генератора 10 см.
60. Вычислить групповую скорость волны  $E_{01}$  в круглом волноводе, если частота генератора 10 ГГц, длина волны в волноводе 4 см, заполнение воздушное.
61. Определить диапазон частот, в пределах которого в круглом волноводе диаметром 4 см может распространяться только основной тип волны. Заполнение волновода воздушное.
62. Определить критическую частоту и фазовую скорость волны в круглом волноводе диаметром 5 см при частоте 5 ГГц.
63. Для дальней связи было предложено использовать круглые волноводы, работающие на волне типа  $H_{01}$ . Определить затухание волны типа  $H_{01}$  в волноводе с медными стенками диаметром 50 мм при длине волны генератора 8 мм.
64. Определить частоту колебаний, передаваемых по круглому волноводу диаметром 3 см, если затухание основного типа волны на длине 40 см составляет 60 дБ.
65. Определить погонные параметры двухпроводной линии, если известно, что ее волновое сопротивление равно 100 Ом, диэлектрик – воздух.
66. Определить диаметр внутреннего проводника коаксиальной линии с волновым сопротивлением 50 Ом, если диаметр внешнего проводника 7 мм, а  $\epsilon_r = 1$ .
67. Волновое сопротивление коаксиальной линии на волне  $T$  равно 60 Ом. Диэлектрик – воздух. Определить погонные индуктивность и емкость, а также скорость распространения волны в линии.
68. Определить погонные параметры ленточной линии передачи, если известно, что волновое сопротивление линии равно 50 Ом, диэлектрик – фторопласт ( $\epsilon_r = 2,08$ ;  $\mu_r = 1$ ).
69. Определить, с какой скоростью распространяется волна  $E_{01}$  вдоль круглого диэлектрического стержня с радиусом 1 см и относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 10$ , если частота питающего диэлектрический волновод генератора 10 ГГц.
70. Какой тип колебаний является основным в прямоугольном ОР с размерами  $a = 2$  см,  $b = 4$  см,  $L = 3$  см? Определить его резонансную частоту. Какой тип является ближайшим высшим? Найти его резонансную частоту.
71. Колебание типа  $H_{102}$  в прямоугольном ОР, заполненном воздухом, характеризуется резонансной частотой 6 ГГц. Поперечное сечение имеет размеры  $72 \times 34$  мм<sup>2</sup>. Как нужно изменить длину резонатора, если требуется уменьшить резонансную частоту на 10%?

72. Прямоугольный объемный резонатор с резонансной длиной волны 3 см на колебании типа  $H_{102}$  образован отрезком стандартного прямоугольного волновода сечением  $23 \times 10 \text{ мм}^2$ . Определить длину резонатора.
73. Определить резонансные частоты колебаний типов  $E_{010}$  и  $H_{111}$  в цилиндрическом резонаторе, диаметр и длина которого одинаковы и равны 6 см.
74. При каком соотношении длины объемного цилиндрического резонатора к его радиусу резонансные частоты колебаний  $E_{010}$  и  $H_{111}$  будут одинаковы?
75. Круглый объемный резонатор имеет диаметр 30 мм и длину 40 мм. Резонансная частота основного типа колебаний равна 4,348 ГГц. Вычислите относительную диэлектрическую проницаемость среды, заполняющей резонатор.
76. Прямоугольный резонатор с размерами  $a = 8 \text{ см}$ ,  $b = 5 \text{ см}$ ,  $L = 10 \text{ см}$  работает на типе колебаний  $H_{111}$ . Резонатор заполнен воздухом, материал стенок – медь. Нагруженная добротность резонатора 5000. Вычислите мощность, поглощаемую во внешних устройствах, если в резонаторе запасена энергия  $1,5 \times 10^{-9} \text{ Дж}$ .

77. Прямоугольный резонатор работает с размерами  $a = 4 \text{ см}$ ,  $b = 2 \text{ см}$ ,  $L = 6 \text{ см}$  работает на типе колебаний  $E_{111}$ . Резонатор заполнен диэлектриком с параметрами  $\epsilon_r = 2,08$ , тангенс угла диэлектрических потерь  $2,5 \times 10^{-4}$ . Материал стенок – медь. Определите добротность резонатора, обусловленную потерями в металле, добротность, связанную с потерями в диэлектрике, и полную собственную добротность резонатора.

### 11.1.3. Примеры заданий для самостоятельных работ

#### Самостоятельная работа №1

##### Вариант 1

1. Комплексная амплитуда вектора напряженности магнитного поля в воздухе:  $\dot{\vec{H}} = 10 \cos(20\pi x) \vec{e}_z, \text{ мА/м}$  (случай стоячей волны). Частота колебаний 3 ГГц, сторонние токи отсутствуют. Определите комплексную амплитуду вектора напряженности электрического поля. Найдите разность фаз колебаний  $\vec{E}(t)$  и  $\vec{H}(t)$ .
2. Плоская поверхность разделяет воздух и диэлектрик с  $\epsilon_r = 2$ . Вектор напряженности электрического поля в воздухе ориентирован под углом  $45^\circ$  к поверхности раздела. Определите тангенциальную составляющую вектора  $\vec{E}$  во второй среде, если в этой среде нормальная составляющая равна 0,8 В/м. Поверхностный электрический заряд отсутствует.

##### Вариант 2

1. Запишите выражение для электрического вектора  $\vec{E}(t)$  и для его комплексной амплитуды  $\dot{\vec{E}}$ . Вектор  $\vec{E}$  имеет круговую поляризацию в плоскости YOZ и вращается в направлении часовой стрелки, если смотреть с конца единичного вектора  $\vec{e}_x$ . Амплитуда колебаний  $E_y$  равна 5 мВ/м, частота колебаний 100 МГц. В момент времени  $t = 0$  вектор  $\vec{E}$  повернут под углом  $45^\circ$  к осям  $u$  и  $z$ .

2. Плоская поверхность разделяет воздух и диэлектрик. Вектор напряженности электрического поля в воздухе образует угол  $35^\circ$  с направлением нормали к поверхности раздела. Для вектора  $\vec{E}$  в диэлектрике этот угол –  $50^\circ$ . Определите относительную проницаемость диэлектрика. Поверхностный электрический заряд отсутствует.

## Самостоятельная работа №2

### Вариант 1

1. Вдоль бесконечного прямого цилиндра радиуса  $a$  протекает ток проводимости. Напряженность магнитного поля, создаваемого этим током внутри цилиндра:  $\vec{H} = \vec{\alpha}_0 H_0 r^3$ , где  $\vec{\alpha}_0$  – единичный вектор в цилиндрической системе координат,  $r$  – переменная в этой системе,  $H_0$  – постоянная величина. Определить распределение тока проводимости вдоль радиуса цилиндра и ток проводимости, протекающий через поперечное сечение цилиндра.

2. В шарике радиуса  $a$  вектор электрической индукции:  $\vec{D} = \vec{r}_0 D_0 r^4$ , где  $\vec{r}_0$  – единичный вектор в сферической системе координат,  $r$  – расстояние от центра шарика до точки наблюдения,  $D_0$  – постоянная величина. Определить функцию распределения плотности объемного заряда внутри шарика и полный заряд, находящийся внутри шарика.

3. Сферический конденсатор заполнен двухслойным диэлектриком. Радиус внутренней обкладки  $a = 5$  мм, радиус наружной обкладки  $b = 20$  см, радиус границы диэлектриков  $c = 1,5$  см. Относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика, прилегающего к внутренней обкладке  $\epsilon_1 = 1,5$ , к внешней –  $\epsilon_2 = 3$ . Определить емкость сферического конденсатора, найти напряженность электрического поля на внутренних поверхностях обкладок, если разность потенциалов между ними  $U = 100$  В.

### Вариант 2

1. Вдоль бесконечного прямого цилиндра радиуса  $a$  протекает ток проводимости. Напряженность магнитного поля, создаваемого этим током внутри цилиндра:  $\vec{H} = \vec{\alpha}_0 H_0 r^2$ , где  $\vec{\alpha}_0$  – единичный вектор в цилиндрической системе координат,  $r$  – переменная в этой системе,  $H_0$  – постоянная величина. Определить распределение тока проводимости вдоль радиуса цилиндра и ток проводимости, протекающий через поперечное сечение цилиндра.

2. В шарике радиуса  $a$  вектор электрической индукции:  $\vec{D} = \vec{r}_0 D_0 r^5$ , где  $\vec{r}_0$  – единичный вектор в сферической системе координат,  $r$  – расстояние от центра шарика до точки наблюдения,  $D_0$  – постоянная величина. Определить функцию распределения плотности объемного заряда внутри шарика и полный заряд, находящийся внутри шарика.

3. Коаксиальный кабель заполнен двухслойным диэлектриком. Радиус центральной жилы  $a = 1$  см, радиус внутренней поверхности экрана  $b = 3$  см, радиус границы раздела диэлектриков  $c = 2$  см. Диэлектрик, прилегающий к центральной жиле, имеет относительную диэлектрическую проницаемость  $\epsilon_1 = 1,1$ , а диэлектрик, прилегающий к экрану, –  $\epsilon_2 = 2,2$ . Определить погонную емкость кабеля, найти напряженность электрического поля на поверхности центральной жилы и экрана, если разность потенциалов между ними  $U = 50$  В.

## Самостоятельная работа №3

### Вариант 1

1. Амплитуда напряженности магнитного поля плоской электромагнитной волны, распространяющейся в среде с параметрами  $\epsilon_r = 3,8$ ;  $\mu_r = 1$ ;  $\sigma = 2 \cdot 10^{-4}$  См/м, в плоскости  $z=0$  равна 1 А/м. Определить плотность потока мощности волны на расстоянии  $z$ , равном 1 м от начала координат.

2. Некоторый диэлектрик на частоте 10 ГГц обладает параметрами  $\epsilon_r = 3,8$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\tg \delta = 10^{-4}$ . Определить длину волны, коэффициент ослабления и характеристическое сопротивление среды.

3. Плоская электромагнитная волна с частотой 10 ГГц распространяется в среде без потерь с относительными проницаемостями  $\epsilon_r = 10$ ;  $\mu_r = 2$ . Определите коэффициент фазы, фазовую скорость, длину волны и характеристическое сопротивление среды.

### Вариант 2

1. Для плоской электромагнитной волны, распространяющейся в среде с параметрами  $\epsilon_r = 144$ ;  $\mu_r = 1$ ;  $\operatorname{tg} \delta = 2 \cdot 10^{-4}$ , определить плотность потока мощности в плоскости  $z=0$  на частоте 10 ГГц, если амплитуда напряженности электрического поля в этой плоскости равна 100 В/м.

2. Керамика титанат бария ( $\text{BaTiO}_3$ ) на частоте 10 ГГц обладает параметрами  $\epsilon_r = 144$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\operatorname{tg} \delta = 0,6$ . Определить длину волны, коэффициент ослабления и характеристическое сопротивление среды.

3. Плоская электромагнитная волна распространяется в диэлектрике без потерь. Расстояние между соседними синфазными фронтами равно

20 м, скорость перемещения фронтов составляет  $1,5 \cdot 10^8$  м/с. Определите относительную диэлектрическую проницаемость среды, частоту колебаний, фазовую постоянную и длину волны.

## **Самостоятельная работа №4**

### Вариант 1

1. Плоская электромагнитная волна с перпендикулярной поляризацией падает из воздуха под углом  $40^\circ$  на границу раздела с диэлектриком без потерь, имеющим параметры  $\epsilon_r = 9,6$ ;  $\mu_r = 1$ . Амплитуда напряженности магнитного поля падающей волны 10 А/м. Определите амплитуду напряженности магнитного поля отраженной и преломленной волн.

2. Определите амплитуду составляющих поля в экваториальной плоскости элементарного излучателя на расстоянии 1 км. Частота колебаний 60 МГц. Излучатель: щель в металлическом экране с амплитудой напряжения в щели 5 В и длиной 30 см.

### Вариант 2

1. Плоская электромагнитная волна с перпендикулярной поляризацией падает из воздуха под углом  $60^\circ$  на границу раздела с диэлектриком без потерь, имеющим параметры  $\epsilon_r = 3,8$ ;  $\mu_r = 1$ . Амплитуда напряженности электрического поля падающей волны 10 В/м. Определите амплитуду напряженности электрического поля отраженной и преломленной волн.

2. Определите амплитуду составляющих поля в экваториальной плоскости элементарного излучателя на расстоянии 1 км. Частота колебаний 60 МГц. Излучатель: электрический вибратор с амплитудой тока 0,5 А и длиной 30 см.

## **Самостоятельная работа №5**

### Вариант 1

1. В прямоугольном волноводе сечением  $16 \times 8 \text{ мм}^2$  распространяется волна основного типа. Длина волны в волноводе равна 2,5 см, частота колебаний 9 ГГц. Определить фазовую скорость и относительную диэлектрическую проницаемость вещества, заполняющего волновод.

2. Определить диапазон частот, в котором в круглом волноводе диаметром 30 мм может распространяться только основной тип волны. Волновод заполнен диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 2,56$ .

3. В прямоугольном волноводе распространяется волна типа  $H_{10}$  с длиной волны в волноводе  $\lambda_B = 3$  см. Частота колебаний 15 ГГц. Волновод заполнен воздухом. На базе данного волновода необходимо построить резонатор минимальной длины. Определить размер резонатора.

#### Вариант 2

1. В квадратном волноводе, заполненном воздухом, распространяется волна  $E_{11}$ . Длина волны в волноводе равна 9,43 см, частота колебаний 5 ГГц. Определить фазовую скорость и размер стенки волновода.

2. В круглом волноводе диаметром 24 мм распространяется волна основного типа. Длина волны в волноводе равна 4,8 см, частота колебаний 6 ГГц. Определить фазовую скорость и относительную диэлектрическую проницаемость вещества, заполняющего волновод.

3. При возбуждении колебания типа  $E_{010}$  в круглом объемном резонаторе резонанс наблюдается на частоте 3,5 ГГц, а при возбуждении моды  $E_{011}$  – на частоте 4,1 ГГц. Найти размеры волновода.

#### Вариант 3

1. В прямоугольном волноводе сечением  $48 \times 22$  мм<sup>2</sup> распространяется волна основного типа. Длина волны в волноводе 9,4 см. Относительная диэлектрическая проницаемость вещества, заполняющего волновод, равна 2,25. Определить частоту передаваемых колебаний и фазовую скорость волны в волноводе.

2. В круглом волноводе, заполненном воздухом, распространяется волна типа  $E_{01}$ . Частота колебаний 10 ГГц. На расстоянии 7,8 мм (вдоль обратной связи волновода) фаза колебаний меняется на  $\pi/4$ . Определить диаметр волновода.

3. Круглый объемный резонатор имеет диаметр 30 мм и длину 40 мм. Резонансная частота основного типа колебаний равна 4,348 ГГц. Вычислить относительную диэлектрическую проницаемость среды, заполняющей резонатор.

#### **11.1.4. Задание для выполнения графической работы**

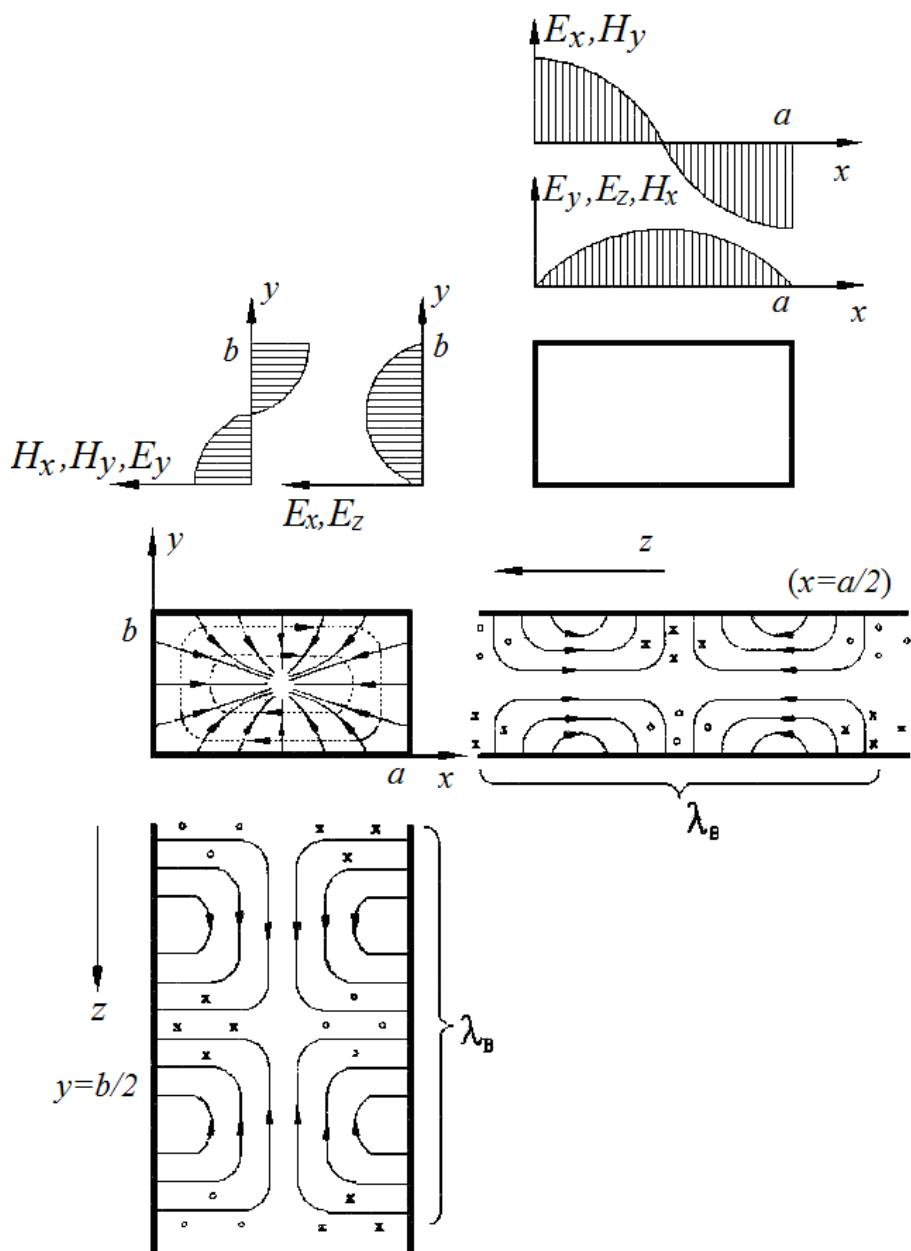
Номера вариантов для выполнения графической работы студенты получают от преподавателя на первом лабораторном занятии. В ходе выполнения работы необходимо построить структуры полей четырех волн в прямоугольном волноводе и двух колебаний в объемном резонаторе (по одному в прямоугольном и цилиндрическом).

Вариант	Прямоугольный волновод	Прямоугольный объемный резонатор	Круглый объемный резонатор
1	$H_{02}, H_{31}, E_{22}, E_{13}$	$H_{103}$	$H_{013}$
2	$H_{20}, H_{22}, E_{32}, E_{23}$	$H_{112}$	$E_{213}$
3	$H_{03}, H_{33}, E_{12}, E_{33}$	$H_{221}$	$H_{221}$
4	$H_{30}, H_{13}, E_{21}, E_{32}$	$E_{113}$	$E_{012}$
5	$H_{34}, H_{23}, E_{31}, E_{12}$	$E_{121}$	$E_{112}$
6	$H_{12}, H_{33}, E_{13}, E_{34}$	$H_{212}$	$H_{113}$
7	$H_{02}, H_{22}, E_{12}, E_{32}$	$H_{113}$	$E_{013}$
8	$H_{31}, H_{03}, E_{32}, E_{33}$	$E_{120}$	$E_{113}$
9	$H_{03}, H_{13}, E_{31}, E_{23}$	$E_{231}$	$H_{212}$
10	$H_{34}, H_{32}, E_{13}, E_{32}$	$H_{331}$	$E_{212}$
11	$H_{12}, H_{22}, E_{32}, E_{23}$	$H_{223}$	$H_{012}$
12	$H_{03}, H_{13}, E_{31}, E_{34}$	$E_{330}$	$H_{114}$
13	$H_{43}, H_{32}, E_{21}, E_{23}$	$E_{222}$	$E_{211}$
14	$H_{02}, H_{23}, E_{31}, E_{33}$	$H_{333}$	$E_{112}$

### 11.1.5. Типовые тестовые задания

#### Пример теста по теме «Волноводы»

- Основной волной прямоугольного волновода при  $a > b$  является:
  - $E11$
  - $H10$
  - $E10$
- Вырожденные типы волн – это:
  - волны, имеющие одинаковые критические частоты и дисперсионные зависимости
  - волны, имеющие одинаковые структуры полей
  - волны, которые не могут распространяться в волноводе
- Основная волна прямоугольного волновода это:
  - волна, имеющая наибольшую критическую частоту
  - волна, имеющая наименьшую критическую частоту
  - единственная волна, которая может распространяться в волноводе
- Какими функциями описывается поле волны, распространяющейся в круглом волноводе:
  - тригонометрическими
  - функциями Неймана
  - функциями Бесселя
  - экспонентой
  - функциями Макдональда
- Структура поля какой волны изображена на рисунке:



– H11

– H01

– E11

– E01

6. Какие признаки относятся к волнам типа Е:

- отсутствует продольная составляющая магнитного поля
- отсутствует продольная составляющая электрического поля
- в общем случае присутствуют все три компоненты электрического поля
- в общем случае присутствуют все три компоненты магнитного поля
- критическая частота равна нулю
- **критическая частота отлична от нуля**

7. Фазовая скорость волн в прямоугольном и круглом волноводе всегда

- меньше скорости света в среде, заполняющей волновод
- **больше скорости света в среде, заполняющей волновод**
- равна скорости света в среде, заполняющей волновод

8. Найдите соответствие между линиями передачи и основными волнами в них:

Прямоугольный волновод ( $a > b$ ) – H10

Прямоугольный волновод ( $a < b$ ) – T

Круглый волновод – H01

Коаксиальная линия – H11

9. Признаки волны типа T:

- имеет все шесть компонент поля
- **критическая частота равна нулю**
- не имеет продольных составляющих поля
- не имеет поперечных составляющих поля
- критическая частота отлична от нуля
- **фазовая скорость волны равна скорости света в среде, заполняющей линию**

10. На каком уравнении ставится краевая задача о нахождении собственных волн прямоугольных и круглых волноводов

- на уравнении Бесселя
- **на уравнении Гельмгольца**
- на уравнении Лежандра

11. Чем отличаются постановки краевых задач для нахождения собственных волн типа E и H в прямоугольном волноводе

- **границными условиями**
- типом уравнения
- **векторами Герца (электрическим и магнитным)**
- системой координат

12. Выберите из списка линии передачи, которые могут рассматриваться с точки зрения теории цепей (описываются телеграфными уравнениями)

- **коаксиальная линия**
- прямоугольный волновод
- круглый волновод
- диэлектрический волновод (световод)
- **двухпроводная линия**

## 11.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

### 11.2.1. Вопросы к экзамену, проводимому по окончании пятого семестра (ПКС

#### 13: ИПКС-13.1)

1. Величины, описывающие различное распределение электрических зарядов и токов.
2. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах, их физический смысл.
3. Уравнения состояния сред (материальные уравнения). Виды сред.
4. Границные условия на границе раздела сред.
5. Методы графического изображения электромагнитных полей. Понятие о силовой линии (линии поля).
6. Принцип двойственности
7. Лемма Лоренца
8. Теорема взаимности
9. Электростатическое поле. Уравнение Пуассона для электростатического потенциала
10. Потенциал в диэлектрической среде
11. Разрыв потенциала
12. Метод Грина для решения задач электростатики
13. Метод интеграла Фурье для решения задач электростатики

14. Метод проводящих цилиндров для решения краевых задач электростатики
15. Проводящий цилиндр в однородном электростатическом поле
16. Метод конформных преобразований
17. Энергия электростатического поля. Собственная энергия и энергия взаимодействия
18. Магнитостатическое поле. Уравнение Пуассона для векторного потенциала.
19. Основные задачи магнитостатики
20. Энергия стационарного магнитного поля. Энергия системы линейных токов.
21. Коэффициенты самоиндукции и взаимоиндукции
22. Квазистационарные явления. Дифференциальные уравнения квазистатики
23. Квазистационарные явления в линейных проводниках
24. Скин-эффект. Вычисление погонного сопротивления проводника
25. Закон сохранения заряда в интегральной и дифференциальной формах.
26. Комплексные амплитуды. Уравнения Максвелла для комплексных амплитуд.
27. Понятие о комплексных диэлектрической и магнитной проницаемостях.
28. Теорема Умова-Пойнтинга.
29. Теорема единственности решений уравнений электродинамики. Смешанная задача Коши
30. Теорема Умова-Пойнтинга для комплексных амплитуд. Комплексный вектор Умова-Пойнтинга, его физический смысл.
31. Потенциалы в электродинамике.
32. Волновые уравнения для потенциалов.
33. Решение неоднородного волнового уравнения методом Коши
34. Решение волнового уравнения для точечного источника. Запаздывающий и опережающий потенциалы.
35. Электрический и магнитный векторы Герца. Волновые уравнения для векторов Герца.
36. Излучение электрического и магнитного моментов
37. Электрический вибратор
38. Поле излучения в ближней и дальней зонах
39. Мощность излучения
40. Излучение системы токов в свободном пространстве
41. Поле излучения полуволнового вибратора
42. Система вибраторов
43. Плоские, цилиндрические и сферические волны
44. Плоские электромагнитные волны в однородной изотропной среде
45. Плоские однородные электромагнитные волны в однородной изотропной среде с потерями
46. Поляризация электромагнитных волн
47. Стоячие электромагнитные волны
48. Фазовая и групповая скорости
49. Отражение и преломление волн на плоской границе раздела двух сред
50. Соотношение между амплитудами падающей, отраженной и преломленной волн
51. Полное внутреннее отражение
52. Векторные потенциалы макроскопической электродинамики
53. Кристаллы и искусственные диэлектрики
54. Ферриты. Явление ферромагнитного резонанса в ферритах.
55. Эффект Фарадея.
56. Распространение электромагнитных волн в поперечно намагниченном феррите.
57. Эффект Коттон-Мутона.
58. Распространение электромагнитных волн в продольно намагниченном феррите.
59. Распространение электромагнитных волн в ионизированном газе в присутствии постоянного магнитного поля

60. Распространение электромагнитной волны в ионизированном газе в направлении постоянного магнитного поля
61. Распространение электромагнитных волн в ионизированном газе в направлении, перпендикулярном постоянному магнитному полю
62. Частицы в стационарных полях
63. Частицы в гармонически колеблющихся полях

**11.2.2. Вопросы к экзамену, проводимому по окончании шестого семестра (ПКС 13: ИПКС-13.1)**

1. Направляющие системы. Постановка задачи о расчете электромагнитного поля в волноводах. Собственные волны. Основные характеристики волн в линиях передачи.
2. Фазовая и групповая скорости.
3. Классификация типов волн в направляющих структурах.
4. Быстрые волны в волноводах. Дисперсия быстрых волн. Виды дисперсии.
5. Методика расчета электромагнитного поля в прямоугольном волноводе.
6. Методика расчета электромагнитного поля в круглом волноводе.
7. Волны типа Н в прямоугольном волноводе, дисперсионное уравнение, критические частоты.
8. Волны типа Е в прямоугольном волноводе, дисперсионное уравнение, критические частоты.
9. Волны типа Н в круглом волноводе, дисперсионное уравнение, критические частоты.
10. Волны типа Е в круглом волноводе, дисперсионное уравнение, критические частоты.
11. Волны типа Т в направляющих структурах. Т-волна и высшие типы волн в коаксиальном волноводе.
12. Объемные резонаторы на базе отрезков линий передачи. Характеристическое уравнение для определения резонансных частот.
13. Общая теория объемных резонаторов.
14. Добротность резонатора. Виды добротностей.
15. Объемный резонатор на базе отрезка прямоугольного волновода.
16. Коаксиальный резонатор с торцевой емкостью.
17. Токи в стенках волновода.
18. Возбуждение волн в волноводах и колебаний в резонаторах.
19. Импедансный цилиндр.
20. Диэлектрический волновод. Получение дисперсионного уравнения для гибридных волн.
21. Симметричные волны в диэлектрическом волноводе.
22. Периодические замедляющие системы. Особенности представления электромагнитного поля в периодических замедляющих системах. Пространственные гармоники.
23. Гребенчатая замедляющая система. Импедансный метод составления дисперсионного уравнения. Вид дисперсионной характеристики.
24. Спиральный волновод.
25. Диэлектрические резонаторы. Классификация.
26. Диэлектрические резонаторы, работающие на низших типах колебаний.
27. Диэлектрические резонаторы, работающие на азимутальных высших колебаниях.
28. Волноводно-диэлектрические резонаторы.
29. Классификация радиоволн
30. Поле изотропного излучателя, находящегося в свободном пространстве
31. Поле направленного излучателя, находящегося в свободном пространстве
32. Электрические свойства различных видов земной поверхности
33. Отражение радиоволн от границы раздела воздух-земля
34. Земные волны над плоской поверхностью Земли

35. Формула Введенского
46. Учет сферичности земной поверхности в интерференционных формулах
37. Коэффициент преломления и индекс преломления тропосферы
38. Рефракция радиоволн в неоднородной тропосфере
39. Эквивалентный радиус Земли
40. Виды тропосферной рефракции
41. Относительная диэлектрическая проницаемость и коэффициент преломления ионосферы
42. Траектория радиоволн в ионосфере
43. Условие отражения радиоволн от ионосферы
44. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов.

### 11.2.3. Типовые экзаменационные задачи (ПКС 13: ИПКС-13.1)

#### 5 семестр

1. Найти  $\operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{A}$ .
2. Найти  $\operatorname{rot} \operatorname{grad} \phi$ .
3. В среде с параметрами  $\epsilon_r = 4$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\sigma = 0$  распространяется плоская электромагнитная волна, комплексная амплитуда вектора напряженности электрического поля которой в плоскости  $z=0$   $E=(0,6i+0,3j)$  В/м. Найти зависимость от времени вектора напряженности магнитного поля в плоскости  $z=1$  см для электромагнитной волны с частотой 10 ГГц. Как изменится фазовый набег волны при ее распространении в свободном пространстве, по сравнению с фазовым набегом в среде на расстоянии 50 м?
4. Некоторый диэлектрик на частоте 10 ГГц обладает параметрами  $\epsilon_r = 3,8$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\operatorname{tg} \delta = 10^{-4}$ . Определить длину волны, коэффициент ослабления и характеристическое сопротивление среды.
5. Определить толщину экрана, который обеспечивает ослабление амплитуды электромагнитного поля в  $10^4$  раз на частоте 50 Гц, если он выполнен из материала с  $\sigma = 5 \cdot 10^7$  См/м и  $\mu_r = 900$ .
6. В среде с параметрами  $\epsilon_r = 4$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\sigma = 0$  распространяется плоская электромагнитная волна, комплексная амплитуда вектора напряженности магнитного поля которой в плоскости  $z=0$   $H=(-1,2i+2,65j)$  мА/м. Найти зависимость от времени вектора напряженности электрического поля в плоскости  $z=2$  см для электромагнитной волны с частотой 10 ГГц. Определите отношение фазового набега волны при ее распространении в среде к фазовому набегу в свободном пространстве, которые она получает при распространении на расстоянии 70 м.
7. Керамика титанат бария ( $\text{BaTiO}_3$ ) на частоте 10 ГГц имеет параметры  $\epsilon_r = 144$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\operatorname{tg} \delta = 0,6$ . Определить длину волны, коэффициент ослабления и характеристическое сопротивление среды.
8. Определить толщину медного экрана, который обеспечивает ослабление амплитуды электромагнитного поля в  $10^4$  раз на частоте 50 Гц, удельная проводимость меди  $\sigma = 5,7 \cdot 10^7$  См/м и  $\mu_r = 1$ .
8. Комплексная амплитуда вектора напряженности магнитного поля в воздухе:

$\dot{\vec{H}} = 10 \cos(20\pi x) \vec{e}_z$ , мА/м (случай стоячей волны). Частота колебаний 3 ГГц, сторонние токи отсутствуют. Определите комплексную амплитуду вектора напряженности электрического поля. Найдите разность фаз колебаний  $\vec{E}(t)$  и  $\vec{H}(t)$ .

9. В среде с относительной диэлектрической проницаемостью 4 колебания плотности полного тока опережают по фазе колебания плотности тока проводимости на  $73,3^\circ$ . Определите удельную проводимость среды, если частота равна 15 МГц.

10. Запишите выражение для электрического вектора  $\vec{E}(t)$  и для его комплексной амплитуды  $\dot{\vec{E}}$ . Вектор  $\vec{E}$  имеет круговую поляризацию в плоскости YOZ и вращается в направлении часовой стрелки, если смотреть с конца единичного вектора  $\vec{e}_x$ . Амплитуда колебаний  $E_y$  равна 5 мВ/м, частота колебаний 100 МГц. В момент времени  $t = 0$  вектор  $\vec{E}$  повернут под углом  $45^\circ$  к осям  $y$  и  $z$ .
11. Плоская поверхность разделяет воздух и диэлектрик с  $\epsilon_r = 2$ . Вектор напряженности электрического поля в воздухе ориентирован под углом  $45^\circ$  к поверхности раздела. Определите тангенциальную составляющую вектора  $\vec{E}$  во второй среде, если в этой среде нормальная составляющая равна 0,8 мВ/м. Поверхностный электрический заряд отсутствует.
12. Плоская поверхность разделяет воздух и диэлектрик. Вектор напряженности электрического поля в воздухе образует угол  $35^\circ$  с направлением нормали к поверхности раздела. Для вектора  $\vec{E}$  в диэлектрике этот угол –  $50^\circ$ . Определите относительную проницаемость диэлектрика. Поверхностный электрический заряд отсутствует.
13. Плоская поверхность разделяет две среды с относительными магнитными проницаемостями  $\mu_{r1} = 2$  и  $\mu_{r2} = 10$ . Вектор магнитной индукции в первой среде имеет величину  $2 \cdot 10^8$  Тл и образует угол  $55^\circ$  с направлением нормали к поверхности раздела. Определите величину и направление вектора  $\vec{B}$  во второй среде. Поверхностный электрический ток отсутствует.
14. Плоскость XOY декартовой системы координат совмещена с поверхностью раздела двух сред, имеющих относительные магнитные проницаемости  $\mu_{r1} = 5$  и  $\mu_{r2} = 2$ . Вектор напряженности магнитного поля в первой среде  $\vec{H}_1 = 0,3\vec{e}_y + 0,2\vec{e}_z$  А/м. Определите величину вектора  $\vec{H}$  во второй среде и угол, который образует этот вектор с направлением нормали к поверхности раздела. Поверхностный электрический ток отсутствует.
15. Плоская электромагнитная волна с частотой 10 ГГц распространяется в среде без потерь с относительными проницаемостями  $\epsilon_r = 10$ ;  $\mu_r = 2$ . Определите коэффициент фазы, фазовую скорость, длину волны и характеристическое сопротивление среды.
16. Плоская электромагнитная волна распространяется в диэлектрике без потерь. Расстояние между соседними синфазными фронтами равно 20 м, скорость перемещения фронтов составляет  $1,5 \cdot 10^8$  м/с. Определите относительную диэлектрическую проницаемость среды, частоту колебаний, фазовую постоянную и длину волны.
17. Плоская электромагнитная волна с частотой 10 МГц распространяется в среде с относительными проницаемостями  $\epsilon_r = 3,5$ ;  $\mu_r = 1$  и удельной проводимостью  $10^{-3}$  См/м. Определите фазовую скорость и характеристическое сопротивление среды.

18. Плоская электромагнитная волна распространяется в среде с относительными диэлектрическими проницаемостями  $\epsilon_r = 4$ ;  $\mu_r = 1,5$  и удельной проводимостью  $0,005 \text{ См/м}$ . Коэффициент ослабления в 5 раз меньше коэффициента фазы. Определите частоту колебаний и коэффициент ослабления.
19. Плоская электромагнитная волна с частотой  $0,3 \text{ ГГц}$  распространяется в среде с относительными проницаемостями  $\epsilon_r = 4$ ;  $\mu_r = 3$  и удельной проводимостью  $0,2 \text{ См/м}$ . Определите длину волны в среде и коэффициент ослабления.
20. Определите, во сколько раз уменьшается амплитуда плоской волны на расстоянии, равном длине волны в среде с тангенсом угла потерь равным  $10,0$ .
21. Амплитуда колебаний вектора  $\vec{H}$  в плоской волне для некоторой точки пространства составляет  $1,2 \text{ А/м}$ . Определите амплитуду колебаний вектора  $\vec{E}$  в данной точке, если: а) волна распространяется в вакууме; б) волна распространяется в латуни (проводимость  $1,4 \cdot 10^7 \text{ См/м}$ ). Частота колебаний  $50 \text{ МГц}$ .
22. Измерения, проведенные на некоторой частоте, показали, что длина волны в диэлектрике с потерями в 1,8 раза меньше длины волны в вакууме. Относительные проницаемости среды  $\epsilon_r = 3$ ;  $\mu_r = 1$ . Определите тангенс угла электрических потерь и комплексное характеристическое сопротивление диэлектрика.
23. Плоская электромагнитная волна падает по направлению нормали на границу раздела между средой с параметрами  $\epsilon_{r1} = 2$ ;  $\mu_{r1} = 1$  и средой с параметрами  $\epsilon_{r2} = 3,8$ ;  $\mu_{r2} = 1,5$ . Потери отсутствуют. Плотность потока мощности падающей волны в первой среде равна  $25 \text{ Вт/м}^2$ . Определите амплитуду напряженности магнитного поля в преломленной волне.
24. Плоская электромагнитная волна с перпендикулярной поляризацией падает из воздуха под углом  $40^\circ$  на границу раздела с диэлектриком без потерь, имеющим параметры  $\epsilon_r = 9,6$ ;  $\mu_r = 1$ . Амплитуда напряженности магнитного поля падающей волны  $10 \text{ А/м}$ . Определите амплитуду напряженности магнитного поля отраженной и преломленной волн.
25. Плоская электромагнитная волна с перпендикулярной поляризацией падает из воздуха под углом  $60^\circ$  на границу раздела с диэлектриком без потерь, имеющим параметры  $\epsilon_r = 3,8$ ;  $\mu_r = 1$ . Амплитуда напряженности электрического поля падающей волны  $10 \text{ В/м}$ . Определите амплитуду напряженности электрического поля отраженной и преломленной волн.
26. Плоская электромагнитная волна с перпендикулярной поляризацией падает под углом  $15^\circ$  из диэлектрика с параметрами  $\epsilon_r = 2,08$ ;  $\mu_r = 1,1$  на границу раздела с воздухом. Потери в диэлектрике отсутствуют. Плотность потока мощности падающей волны  $5 \text{ Вт/м}^2$ . Определите плотность потока мощности отраженной и преломленной волн.

**6 семестр:**

1. Определить погонные параметры двухпроводной линии, если известно, что ее волновое сопротивление равно 75 Ом, диэлектрик – фторопласт ( $\epsilon_r = 2,08$ ;  $\mu_r = 1$ ).
2. Определить диаметр внутреннего проводника коаксиальной линии с волновым сопротивлением 75 Ом, если диаметр внешнего проводника 9 мм, а  $\epsilon_r = 2,2$ .
3. Волновое сопротивление коаксиальной линии на волне Т равно 100 Ом. Диэлектрик – воздух. Определить погонные индуктивность и емкость, а так же скорость распространения волны в линии.
4. Определить погонные параметры ленточной линии передачи, если известно, что волновое сопротивление линии равно 60 Ом, диэлектрик – полистирол ( $\epsilon_r = 2,5$ ;  $\mu_r = 1$ ).
5. Определите, какие типы волн могут распространяться в прямоугольном волноводе сечением  $165 \times 83$  мм на частоте 1,36 ГГц, если волновод заполнен диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью 2,5.
6. В прямоугольном волноводе сечением  $10,7 \times 5,3$  мм распространяется волна  $H_{11}$ . Частота колебаний равна 41 ГГц. Волновод заполнен воздухом. Определите критическую частоту, фазовую скорость и длину волны в волноводе.
7. В прямоугольном волноводе сечением  $35 \times 16$  мм распространяется волна основного типа с фазовой скоростью  $2,8 \cdot 10^8$  м/с. Частота колебаний равна 6,7 ГГц. Определите длину волны в волноводе и относительную диэлектрическую проницаемость вещества, заполняющего волновод.
8. Определите, какие типы волн могут распространяться в круглом волноводе диаметром 50 мм на частоте 4,4 ГГц. Волновод заполнен диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью равной 3,0.
9. В круглом волноводе диаметром 16 мм распространяется волна основного типа. Частота колебаний равна 13 ГГц. Определить критическую частоту, фазовую скорость и длину волны в волноводе, который заполнен диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью 2,56.
10. В круглом волноводе, заполненном диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью 2,08, распространяется волна типа  $E_{11}$ . Частота колебаний 8 ГГц, длина волны в волноводе 4,2 см. Определите фазовую скорость и радиус волновода.
11. В прямоугольном резонаторе с размерами  $a=30$  мм,  $l=40$  мм возбуждается колебание  $E_{110}$ . Определите размер  $b$ , если резонансная частота равна 11,18 ГГц.
12. Колебание  $H_{102}$  в прямоугольном объемном резонаторе, заполненном воздухом, характеризуется резонансной частотой 6 ГГц. Поперечное сечение имеет размеры  $72 \times 34$  мм. Как нужно изменить длину резонатора, если требуется уменьшить резонансную частоту на 10%?
13. Резонансная частота при возбуждении колебания типа  $H_{111}$  в круглом объемном резонаторе равна 8,5 ГГц, а при возбуждении колебания типа  $E_{010}$  резонанс наблюдается на частоте 10 ГГц. Определите размеры резонатора.
14. Круглый объемный резонатор заполнен воздухом и имеет диаметр 25 мм. В каких пределах необходимо изменять длину резонатора (с помощью поршня) для перестройки резонансной частоты в пределах от 8 до 10 ГГц? Тип колебания  $H_{111}$ .
15. Изобразите картину поля колебания  $H_{201}$  в прямоугольном объемном резонаторе. Рассмотрите возможности возбуждения данного колебания одним из способов: с помощью штыря с током; с помощью рамки с током; с помощью щели, прорезанной в стенке резонатора.
16. Изобразите картину поля колебания  $E_{211}$  в прямоугольном объемном резонаторе. Рассмотрите возможности возбуждения данного колебания одним из способов: с помощью штыря с током; с помощью рамки с током; с помощью щели, прорезанной в стенке резонатора.

17. Изобразите картину поля колебания  $H_{112}$  в круглом объемном резонаторе. Рассмотрите возможности возбуждения данного колебания одним из способов: с помощью штыря с током; с помощью рамки с током; с помощью щели, прорезанной в стенке резонатора.

Полный фонд оценочных средств находится на кафедре «ФТОС».

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института ИЯЭиТФ

“ \_\_\_\_ ” 20 \_\_\_\_ г.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины**

« \_\_\_\_\_ »

индекс по учебному плану, наименование

для подготовки бакалавров/ специалистов/ магистров

Направление: {шифр – название} \_\_\_\_\_

Направленность: \_\_\_\_\_

Форма обучения \_\_\_\_\_

Год начала подготовки: \_\_\_\_\_

Курс \_\_\_\_\_

Семестр \_\_\_\_\_

а) В рабочую программу не вносятся изменения. Программа актуализирована для 20 \_\_\_\_ г. начала подготовки.

б) В рабочую программу вносятся следующие изменения (указать на какой год начала подготовки):

1) .....;

2) .....;

3) .....

Разработчик (и): \_\_\_\_\_  
(ФИО, ученая степень, ученое звание)

« \_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ФТОС

\_\_\_\_\_ протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

**Лист актуализации принят на хранение:**

Заведующий выпускающей кафедрой ФТОС \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.

Методический отдел УМУ: \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.