

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

Учебно-научный институт радиоэлектроники и информационных
технологий (ИРИТ)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института:

Мякинников А.В.

«22» апреля 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.Б.18 Электродинамика и распространение радиоволн
для подготовки бакалавров

Направление подготовки: 11.03.01 Радиотехника

Направленность: Радиоэлектронные системы

Форма обучения: очная, заочная

Год начала подготовки: 2024, 2025

Выпускающая кафедра: ИРС

Кафедра-разработчик: ФТОС

Объем дисциплины 144 часа/4 з.е.

Промежуточная аттестация: экзамен

Разработчики: 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 11.03.01 Радиотехника, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 19 сентября 2017 г. № 931 на основании учебных планов, принятых УМС НГТУ, протокол от 21.05.2024 г. № 16 и 12.12.2024 г. № 5.

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

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

Программа рекомендована к утверждению ученым советом института ИРИТ, протокол от 22 апреля 2025 г. № 3.

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № 11.03.01-Р-18.
Начальник МО _____

Заведующая отделом комплектования НТБ

(подпись) Н.И. Кабанина

Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
1.1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
1.2. ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ).....	4
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕ-	
НИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	8
4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕ-	
МЕСТРАМ	8
4.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ	10
5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ	
ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	24
6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	27
6.1. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, ПЕЧАТНЫЕ ИЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНОГО ФОНДА	27
6.2. СПРАВОЧНО-БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА	27
6.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯ-	
ТИЯМ	28
7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	28
7.1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ	
«ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	28
7.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧ-	
НЫХ СИСТЕМ	29
8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ	29
9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУ-	
ЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	30
10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИ-	
ПЛИНЫ	30
10.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕ-	
НИЮ ДИСЦИПЛИНЫ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	30
10.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЙ ЛЕКЦИОННОГО ТИПА	31
10.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ НА ПРАКТИЧЕ-	
СКИХ ЗАНЯТИЯХ	31
10.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ	
.....	31
11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	32
11.1. ТИПОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ	32
11.2. ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ	48

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 (модуль) «Электродинамика и распространение радиоволн» включена в обязательный перечень дисциплин обязательной части образовательной программы вне зависимости от ее направленности (профиля). Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП, по данному направлению подготовки.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Физика», «Математика».

Дисциплина «Электродинамика и распространение радиоволн» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Устройства СВЧ и антенны», «Электродинамика и распространение радиоволн. Дополнительные главы», «Направляющие и колебательные системы СВЧ», «Микроэлектронные устройства СВЧ», «Интегральная СВЧ-схемотехника», «Оптические устройства в радиотехнике», «Электронные СВЧ и квантовые приборы», «Оптоэлектронные и квантовые приборы СВЧ».

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование элементов следующей общепрофессиональной компетенции в соответствии с ОПОП ВО по специальности 11.03.01 «Радиотехника»:

ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности;

Формирование указанных компетенций размещено в таблице 1.

Таблица 1 – Формирование компетенций дисциплинами

Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования компетенций дисциплинами							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ОПК-1								
<i>Математика</i>								
<i>Физика</i>								
<i>Основы численных методов</i>								
<i>Основы теории цепей</i>								
<i>Электроника</i>								
<i>Электродинамика и распространение радиоволн</i>								
<i>Дискретная математика</i>								
<i>Теория вероятностей и математическая статистика.</i>								
<i>Радиоматериалы и радиокомпоненты</i>								
<i>Радиотехнические цепи и сигналы</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			Оценочные материалы (ОМ)	
					Текущего контроля	Промежуточной аттестации
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ИОПК-1.1. Использует фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы.	Знать: - основные уравнения электромагнитного поля и теоремы, вытекающие из них; - особенности распространения электромагнитных волн в различных направляющих системах передачи энергии и в различных средах		Владеть: - специальной терминологией, используемой в отечественной и зарубежной литературе по макроскопической электродинамике	Тесты на платформе moodle	Вопросы для устного собеседования, задачи
	ИОПК-1.2. Применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера.	Знать: - свойства и методы построения основных типов линий передачи и резонаторов, а также их характеристики; - методы расчета характеристик линий передачи и объемных резонаторов; - способы возбуждения волн и колебаний.	Уметь: - проводить анализ физических процессов, происходящих в различных направляющих системах и средах.	Владеть: - навыками использования аппарата комплексных амплитуд и векторов Герца для решения задач электродинамики.	Тесты на платформе moodle Комплект домашних заданий Комплект задач для самостоятельных работ	Вопросы для устного собеседования, задачи

	ИОПК-1.3. Демонстрирует умение использовать знания физики и математики при решении практических задач.		Уметь: - рассчитывать электромагнитные поля и основные характеристики волн в различных средах и в однородных регулярных волноводах, колебаний в резонаторах.	Владеть: - навыками алгоритмизации краевых задач электродинамики; - навыками построения структур полей волн в направляющих системах и колебаний в резонаторах; - навыками решения задач расчета основных характеристик электрических и магнитных полей; - навыками решения задач расчета основных характеристик волноводных трактов и резонаторов.	Тесты Комплект домашних заданий Комплект задач для самостоятельных работ	Вопросы для устного собеседования, задачи
--	--	--	--	---	--	---

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зач.ед. или 144 часа, распределение часов по видам работ и семестрам представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час	
	Всего час.	В т.ч. по семестрам
		4 сем
Формат изучения дисциплины	очная	
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	144	144
1. Контактная работа:	57	57
1.1.Аудиторная работа, в том числе:	51	51
занятия лекционного типа (Л)	34	34
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практические. занятия и др.)	17	17
лабораторные работы (ЛР)	--	--
1.2.Внеаудиторная, в том числе		
текущий контроль, консультации по дисциплине	6	6
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)		
2. Самостоятельная работа (СРС):	51	51
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям)	51	51
Подготовка к экзамену (контроль)	36	36

Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час	
	Всего час.	В т.ч. по семестрам
		5 сем
Формат изучения дисциплины	очная	
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	144	144
1. Контактная работа:	25	25
1.3.Аудиторная работа, в том числе:	18	18
занятия лекционного типа (Л)	10	10
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары,	8	8

практические. занятия и др.)		
лабораторные работы (ЛР)	--	--
1.4. Внеаудиторная, в том числе		
текущий контроль, консультации по дисциплине	7	7
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)		
2. Самостоятельная работа (СРС):	110	110
контрольная работа	20	20
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям)	90	90
Подготовка к экзамену (контроль)	9	9

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4.1 - Содержание дисциплины, структурированное по темам, для очной формы обучения

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
4 СЕМЕСТР								
ОПК-1 ИОПК-1.1 ИОПК-1.2 ИОПК-1.3	Раздел 1. Введение. Уравнения электродинамики и граничные условия						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые качественные, расчетные, графические задания; 3. Тестирование на онлайн-платформе	Электронный конспект лекций
	Тема 1.1. Векторные и скалярные поля. Электромагнитное поле	1,0				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.	1,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Практическое занятие 1. Элементы векторного анализа. Операторы rot, grad и div. Системы координат.			2,0		Выполнение домашнего задания [6.2.1]		
	Тема 1.3. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Граничные условия.	2,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Практическое занятие 2. Граничные условия.			1,0		Выполнение домашнего задания		

Планируемые (кон- ролируемые) резуль- таты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
						[6.2.1]		
	Тема 1.4. Виды сред. Матери- альные уравнения для различных сред.	1,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Самостоятельная работа по освоению 1 раздела:				7,0	Тестирование на платформе mo- dle [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4], [6.1.5]		
	контрольная работа							
	Итого по 1 разделу	5,0		3,0	7,0			
ОПК-1 ИОПК-1.1 ИОПК-1.2 ИОПК-1.3	Раздел 2. Основные законы и теоремы электродинамики						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые каче- ственные, расчетные, графические задания; 3. Тестирование на он- лайн-платформе	Электронный конспект лекций
	Тема 2.1. Закон сохранения за- ряда. Закон сохранения энергии. Теорема Умова-Пойнтинга. Тео- рема единственности решений уравнений электродинамики.	2,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Тема 2.2. Вектор Пойнтинга. Комплексные амплитуды. Урав- нения Максвелла в комплексной форме.	1,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Практическое занятие 3. Ком- плексные амплитуды. Уравне- ния Максвелла в комплексной форме.			2,0		Выполнение до- машнего задания [6.2.1]		
	Тема 2.3. Закон сохранения энергии для гармонических по- лей (комплексный вектор Умова- Пойнтинга).	1,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Практическое занятие 4. Энер-			2,0		Выполнение до-		

Планируемые (кон- ролируемые) резуль- таты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
	гетические соотношения в электродинамике.					машнего задания [6.2.1]		
	Тема 2.4. Принцип двойственности. Лемма Лоренца. Теорема взаимности.	2,0						
	Самостоятельная работа по освоению 2 раздела:				10,0	Тестирование на платформе moodle [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4], [6.1.5]		
	контрольная работа							
	Итого по 2 разделу	6,0		4,0	10,0			
ОПК-1 ИОПК-1.1 ИОПК-1.2 ИОПК-1.3	Раздел 3. Быстропеременные процессы						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые качественные, расчетные, графические задания; 3. Тестирование на он- лайн-платформе	Электронный конспект лекций
	Тема 3.1. Скалярный и векторный потенциалы, дифференциальные уравнения для потенциалов. Частные решения волновых уравнений.	1,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Тема 3.2. Плоские, цилиндрические и сферические волны. Плоские электромагнитные волны в однородной среде. Общие свойства плоских волн. Фазовая и групповая скорости.	2,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Тема 3.3. Плоская волна в среде с потерями. Граничные условия Шукина-Леонтовича.	1,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Практическое занятие 5. Расчет характеристик распространения плоских волн в раз-			2,0		Выполнение домашнего задания [6.2.1]		

Планируемые (кон- ролируемые) резуль- таты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
	личных средах.							
	Тема 3.4. Поляризация волн. Стоячая электромагнитная волна	1,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Самостоятельная работа по освоению 3 раздела:				8,0	Тестирование на платформе moodle [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4], [6.1.5]		
	контрольная работа							
	Итого по 3 разделу	6,0		2,0	8,0			
ОПК-1 ИОПК-1.1 ИОПК-1.2 ИОПК-1.3	Раздел 4. Направляемые электромагнитные волны						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые каче- ственные, расчетные, графические задания; 3. Тестирование на он- лайн-платформе	Электронный конспект лекций
	Тема 4.1. Общие свойства направляемых волн. Понятие о направляющей системе. Класси- фикация направляемых волн. Описание поля с помощью векто- ров Герца.	2,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Тема 4.2. Постановка задачи о распространении поля в направ- ляющей системе. Граничные условия для волн в волноводе произвольного сечения. Уравне- ние Гельмгольца. Дисперсионное уравнение. Дисперсионная ха- рактеристика. Критические ча- стоты.	1,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Тема 4.3. Волны типа Т в линиях передачи. Высшие типы волн в	1,5				Подготовка к лекциям [6.1.1],		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
	коаксиальной линии.					[6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Практическое занятие 6. Расчет погонных параметров линий передачи			2,0		Выполнение домашнего задания [6.2.1]		
	Тема 4.4. Волны в прямоугольном волноводе. Основная волна и волны высших типов, структуры полей.	1,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Практическое занятие 7. Прямоугольный однородно заполненный волновод			2,0		Выполнение домашнего задания [6.2.1]		
	Тема 4.5. Волны в круглом волноводе. Основная волна и волны высших типов, структуры полей.	1,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Практическое занятие 8. Круглый однородно заполненный волновод			2,0		Выполнение домашнего задания [6.2.1]		
	Тема 4.6. Волны, направляемые круглым диэлектрическим стержнем. Дисперсионные уравнения. Дисперсионные свойства поверхностных волн.	2,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Тема 4.7. Распространение электромагнитных волн вдоль круглого неидеально проводящего стержня.	1,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Тема 4.8. Периодические замедляющие системы. Простран-	1,5				Подготовка к лекциям [6.1.1],		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
	ственные гармоники. Электромагнитные волны в гребенчатой структуре. Дисперсия в гребенчатой структуре.					[6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Тема 4.9. Медленные волны в спиральном волноводе. Дисперсионное уравнение для аксиально-симметричных волн, его решение. Методика численного решения дисперсионных задач.	1,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Тема 4.10. Токи в стенках волновода. Возбуждение волн в волноводах.					Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Самостоятельная работа по освоению 4 раздела:				20,0	Тестирование на платформе moodle [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	контрольная работа							
	Итого по 4 разделу	14,0		6,0	20,0			
	ОПК-1 ИОПК-1.1 ИОПК-1.2 ИОПК-1.3	Раздел 5. Резонаторы						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые качественные, расчетные, графические задания; 3. Тестирование на онлайн-платформе
Тема 5.1. Элементы общей теории резонаторов. Резонаторы как отрезки направляющих систем. Колебания типов Е и Н. Резонансные частоты. Добротность.		1,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4], [6.2.2]		
Тема 5.2. Примеры типов колебаний в прямоугольном, круглом и коаксиальном резонаторах. Коаксиальный резонатор с тор-		1,5				Подготовка к лекциям [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				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
	цевой емкостью.					[6.2.2]		
	Практическое занятие 9. Объемные резонаторы. Добротность резонаторов.			2,0		Выполнение домашнего задания [6.2.1]		
	Тема 5.3. Возбуждение резонаторов.					Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Самостоятельная работа по освоению 5 раздела:				6,0	Тестирование на платформе moodle [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	контрольная работа							
	Итого по 5 разделу	3,0		2,0	6,0			
	ИТОГО ЗА 4 СЕМЕСТР	34,0	--	17,0	51,0			
	ИТОГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ	34,0	--	17,0	51,0			

Таблица 4.2 – Содержание дисциплины, структурированное по темам, для заочной формы обучения

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
5 СЕМЕСТР								
ОПК-1, ИОПК-1.1, ИОПК-1.2, ОПК-2, ИОПК-2.1, УК-1, ИУК-1.3	Раздел 1. Введение. Уравнения электродинамики и граничные условия						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые качественные, расчетные, графические задания;	Электронный конспект лекций
	Тема 1.1. Векторные и скалярные поля. Электромагнитное поле	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				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Практическое занятие 1. Элементы векторного анализа. Операторы rot, grad и div. Системы координат.			0,5		Выполнение домашнего задания [6.2.1]		
	Тема 1.3. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Граничные условия.	0,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Практическое занятие 2. Граничные условия.			0,5		Выполнение домашнего задания [6.2.1]		
	Тема 1.4. Виды сред. Материальные уравнения для различных сред.	0,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2],		

Планируемые (кон- ролируемые) резуль- таты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
						[6.1.4] [6.1.5]		
	Самостоятельная работа по освоению 1 раздела: контрольная работа				16,0			
Итого по 1 разделу	2,0		1,0	26,0				
ОПК-1, ИОПК-1.1, ИОПК-1.2, ОПК-2, ИОПК-2.1, УК-1, ИУК-1.3	Раздел 2. Основные законы и теоремы электродинамики						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые каче- ственные, расчетные, графические задания;	Электронный конспект лекций
	Тема 2.1. Закон сохранения за- ряда. Закон сохранения энергии. Теорема Умова-Пойнтинга. Тео- рема единственности решений уравнений электродинамики.	1,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Тема 2.2. Вектор Пойнтинга. Комплексные амплитуды. Урав- нения Максвелла в комплексной форме.					Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Практическое занятие 3. Ком- плексные амплитуды. Уравне- ния Максвелла в комплексной форме.			0,5		Выполнение до- машнего задания [6.2.1]		
	Тема 2.3. Закон сохранения энергии для гармонических по- лей (комплексный вектор Умова- Пойнтинга).	1,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Практическое занятие 4. Энер- гетические соотношения в элек- тродинамике.			0,5		Выполнение до- машнего задания [6.2.1]		
	Тема 2.4. Принцип двойственно- сти. Лемма Лоренца. Теорема взаимности.					Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		

Планируемые (кон- ролируемые) резуль- таты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
	Самостоятельная работа по освоению 2 раздела:				16,0			
	контрольная работа				10,0			
	Итого по 2 разделу	2,0		1,0	26,0			
ОПК-1, ИОПК-1.1, ИОПК-1.2, ОПК-2, ИОПК-2.1, УК-1, ИУК-1.3	Раздел 3. Быстропеременные процессы						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые каче- ственные, расчетные, графические задания.	Электронный конспект лекций
	Тема 3.1. Скалярный и вектор- ный потенциалы, дифференци- альные уравнения для потенциа- лов. Частные решения волновых уравнений.	0,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Тема 3.2. Плоские, цилиндриче- ские и сферические волны. Плоские электромагнитные вол- ны в однородной среде. Общие свойства плоских волн. Фазовая и групповая скорости.	0,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Тема 3.3. Плоская волна в иде- альном диэлектрике. Плоская волна в среде с потерями. Гран- ичные условия Щукина- Леонтовича.	1,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4] [6.1.5]		
	Практическое занятие 5. Расчет характеристик распро- странения плоских волн в раз- личных средах.			1,0		Выполнение до- машнего задания [6.2.1]		
	Тема 3.4. Поляризация волн. Стойкая электромагнитная волна					Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Самостоятельная работа по				16,0			

Планируемые (кон- ролируемые) резуль- таты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
	освоению 3 раздела:							
	контрольная работа							
	Итого по 3 разделу	2,0		1,0	16,0			
ОПК-1, ИОПК-1.1, ИОПК-1.2, ОПК-2, ИОПК-2.1, УК-1, ИУК-1.3	Раздел 4. Направляемые электромагнитные волны						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые каче- ственные, расчетные, графические задания.	Электронный конспект лекций
	Тема 4.1. Общие свойства направляемых волн. Понятие о направляющей системе. Классификация направляемых волн. Описание поля с помощью векторов Герца.	0,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Тема 4.2. Постановка задачи о распространении поля в направляющей системе. Граничные условия для волн в волноводе произвольного сечения. Уравнение Гельмгольца. Дисперсионное уравнение. Дисперсионная характеристика. Критические частоты.	0,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Тема 4.3. Волны типа Т в линиях передачи. Высшие типы волн в коаксиальной линии.	0,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Практическое занятие 6. Расчет погонных параметров линий передачи			1,0		Выполнение домашнего задания [6.2.1]		
	Тема 4.4. Волны в прямоугольном волноводе. Основная волна и волны высших типов, структу-	0,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2],		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
	ры полей.					[6.1.3], [6.1.4]		
	Практическое занятие 7. Прямоугольный однородно заполненный волновод			1,0		Выполнение домашнего задания [6.2.1]		
	Тема 4.5. Волны в круглом волноводе. Основная волна и волны высших типов, структуры полей.	0,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Практическое занятие 8. Круглый однородно заполненный волновод			1,0		Выполнение домашнего задания [6.2.1]		
	Тема 4.6. Волны, направляемые круглым диэлектрическим стержнем. Дисперсионные уравнения. Дисперсионные свойства поверхностных волн.					Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Тема 4.7. Распространение электромагнитных волн вдоль круглого неидеально проводящего стержня.					Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Тема 4.8. Периодические замедляющие системы. Пространственные гармоники. Электромагнитные волны в гребенчатой структуре. Дисперсия в гребенчатой структуре.					Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Тема 4.9. Медленные волны в спиральном волноводе. Дисперсионное уравнение для аксиально-симметричных волн, его ре-					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				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
	шение. Методика численного решения дисперсионных задач.							
	Тема 4.10. Токи в стенках волновода. Возбуждение волн в волноводах.					Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Самостоятельная работа по освоению 4 раздела:				26,0			
	контрольная работа							
	Итого по 4 разделу	2,5		3,0	26,0			
ОПК-1, ИОПК-1.1, ИОПК-1.2, ОПК-2, ИОПК-2.1, УК-1, ИУК-1.3	Раздел 5. Резонаторы						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые качественные, расчетные, графические задания.	Электронный конспект лекций
	Тема 5.1. Элементы общей теории резонаторов. Резонаторы как отрезки направляющих систем. Колебания типов Е и Н. Резонансные частоты. Добротность.	0,5				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4], [6.2.2]		
	Тема 5.2. Примеры типов колебаний в прямоугольном, круглом и коаксиальном резонаторах. Коаксиальный резонатор с торцевой емкостью.	1,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4], [6.2.2]		
	Практическое занятие 9. Объемные резонаторы. Добротность резонаторов.			2,0		Выполнение домашнего задания [6.2.1]		
	Тема 5.3. Возбуждение резонаторов.					Самостоятельная проработка темы [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.1.4]		
	Самостоятельная работа по освоению 5 раздела:				16,0			

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
	контрольная работа							
	Итого по 5 разделу	1,5		2,0	16,0			
	ИТОГО ЗА 5 СЕМЕСТР	10,0	--	8,0	110,0			
	ИТОГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ	10,0	--	8,0	110,0			

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

Для осуществления текущего контроля знаний обучающихся сформулированы примеры домашних заданий и заданий для самостоятельных работ, а также тесты для тестирования на платформе moodle (для студентов создан электронный курс «Электродинамика и распространение радиоволн»: <https://education.nntu.ru/course/view.php?id=22>).

Также сформирован перечень вопросов и заданий, выносимых на промежуточную аттестацию в форме экзамена.

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) приведено в таблице 5.

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

Шкала оценивания	Контрольная неделя	Зачет
$40 < R \leq 50$	Отлично	зачет
$30 < R \leq 40$	Хорошо	
$20 < R \leq 30$	Удовлетворительно	
$0 < R \leq 20$	Неудовлетворительно	незачет

При промежуточном контроле успеваемость студентов оценивается по четырех-балльной 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 оцен- ки контроля	Оценка «хорошо» / «зачтено» 75-89% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «зачтено» 90-100% от max рейтинговой оценки контроля
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ИОПК-1.1. Использует фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы.	Не знает основные уравнения электромагнитного поля и теоремы, вытекающие из них; особенности распространения электромагнитных волн в различных направляющих системах передачи энергии и в различных средах. Не владеет специальной терминологией, используемой в отечественной и зарубежной литературе по макроскопической электродинамике.	Может сформулировать основные уравнения электромагнитного поля и теоремы, вытекающие из них; особенности распространения электромагнитных волн в различных направляющих системах передачи энергии и в различных средах, допуская ошибки. Слабо владеет специальной терминологией, используемой в отечественной и зарубежной литературе по макроскопической электродинамике.	Может сформулировать основные уравнения электромагнитного поля и теоремы, вытекающие из них; особенности распространения электромагнитных волн в различных направляющих системах передачи энергии и в различных средах, допуская небольшие неточности. Владеет специальной терминологией, используемой в отечественной и зарубежной литературе по макроскопической электродинамике, допускает небольшие неточности.	Твердо знает основные уравнения электромагнитного поля и теоремы, вытекающие из них; особенности распространения электромагнитных волн в различных направляющих системах передачи энергии и в различных средах. Свободно владеет специальной терминологией, используемой в отечественной и зарубежной литературе по макроскопической электродинамике.
	ИОПК-1.2. Применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера.	Не знает свойства и методы построения основных типов линий передачи и резонаторов, а также их характеристики; методы расчета характеристик линий передачи и объемных резонаторов; способы возбуждения волн и колебаний. Не умеет проводить анализ	Может сформулировать свойства и методы построения основных типов линий передачи и резонаторов, а также их характеристики; методы расчета характеристик линий передачи и объемных резонаторов; способы возбуждения волн и колебаний, допуская ошибки.	Может сформулировать свойства и методы построения основных типов линий передачи и резонаторов, а также их характеристики; методы расчета характеристик линий передачи и объемных резонаторов; способы возбуждения волн и колебаний, допуская небольшие не-	Твердо знает свойства и методы построения основных типов линий передачи и резонаторов, а также их характеристики; методы расчета характеристик линий передачи и объемных резонаторов. Умеет проводить анализ физических процессов, происходящих в различ-

		физических процессов, происходящих в различных направляющих системах и средах. Не владеет навыками использования аппарата комплексных амплитуд и векторов Герца для решения задач электродинамики.	Проводит анализ физических процессов, происходящих в различных направляющих системах и средах, допуская ошибки. Слабо владеет навыками использования аппарата комплексных амплитуд и векторов Герца для решения задач электродинамики.	точности. Проводит анализ физических процессов, происходящих в различных направляющих системах и средах, допуская небольшие неточности. Владеет навыками использования аппарата комплексных амплитуд и векторов Герца для решения задач электродинамики, иногда испытывает небольшие затруднения.	ных направляющих системах и средах. Владеет навыками использования аппарата комплексных амплитуд и векторов Герца для решения задач электродинамики.
ИОПК-1.3. Демонстрирует умение использовать знания физики и математики при решении практических задач.	Не умеет рассчитывать электромагнитные поля и основные характеристики волн в различных средах и в однородных регулярных волноводах, колебаний в резонаторах. Не владеет навыками алгоритмизации краевых задач электродинамики; навыками построения структур полей волн в направляющих системах и колебаний в резонаторах; навыками решения задач расчета основных характеристик электрических и магнитных полей; навыками решения задач расчета основных характеристик волноводных трактов и резонаторов.	Рассчитывает электромагнитные поля и основные характеристики волн в различных средах и в однородных регулярных волноводах, колебаний в резонаторах, допуская ошибки. Слабо владеет навыками алгоритмизации краевых задач электродинамики; навыками построения структур полей волн в направляющих системах и колебаний в резонаторах; навыками решения задач расчета основных характеристик электрических и магнитных полей; навыками решения задач расчета основных характеристик волноводных трактов и резонаторов.	Рассчитывает электромагнитные поля и основные характеристики волн в различных средах и в однородных регулярных волноводах, колебаний в резонаторах, допуская небольшие неточности. Владеет навыками алгоритмизации краевых задач электродинамики; навыками построения структур полей волн в направляющих системах и колебаний в резонаторах; навыками решения задач расчета основных характеристик электрических и магнитных полей; навыками решения задач расчета основных характеристик волноводных трактов и резонаторов, но иногда испытывает затруднения.	Умеет рассчитывать электромагнитные поля и основные характеристики волн в различных средах и в однородных регулярных волноводах, колебаний в резонаторах. Владеет навыками алгоритмизации краевых задач электродинамики; навыками построения структур полей волн в направляющих системах и колебаний в резонаторах; навыками решения задач расчета основных характеристик электрических и магнитных полей; навыками решения задач расчета основных характеристик волноводных трактов и резонаторов.	

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» (неудовлетворительно)	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 «Электродинамика и распространение радиоволн» находятся на кафедре «ФТОС».

6.3.1. Методические рекомендации по организации аудиторной работы по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн».

6.3.2. Методические рекомендации по организации и планированию практических занятий по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн»

6.3.3. Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн».

6.3.4. Методические указания по выполнению контрольных работ по дисциплинам «Электродинамика и распространение радиоволн» и «Электродинамика и распространение радиоволн. Дополнительные главы» (для студентов заочной формы обучения).

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.tolgaz.ru/> - Загл. с экрана.
3. Электронно-библиотечная система Znanium.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	http://www.studentlibrary.ru/
2	Лань	https://e.lanbook.com/
3	Юрайт	https://biblio-online.ru/

В таблице 9 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 9 – 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 РОС-СТАНДАРТ	https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts
2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	https://cyberpedia.su/21x47c0.html

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 10 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к лицам с ограниченными возможностями 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.

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 «Электродинамика и распространение радиоволн», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Для студентов создан электронный курс «Электродинамика и распространение радиоволн» на платформе moodle (<https://education.nntu.ru/course/view.php?id=22>). Он содержит текстовые лекции, задания для самостоятельного решения, тесты по каждому разделу.

На лекциях и практических 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 практических занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, Skype, Zoom.

Иницируется 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 установленными 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 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 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.

10.4. 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.

10.5. Методические указания для выполнения контрольных работ

Контрольная работа по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн» выполняется только студентами заочной формы обучения. Содержание контрольной работы и правила ее оформления приведены в методических указаниях по выполнению контрольных работ.

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

Текущий контроль осуществляется по всем видам учебного процесса:

Очная форма обучения:

- тестирование по темам лекционных занятий,
- проверка выполнения домашних заданий,
- проведение самостоятельных работ.

Заочная форма обучения:

- выполнение контрольной работы.

11.1.1. Типовые задания для самостоятельных работ

Самостоятельная работа №1

Вариант 1

1. Комплексная амплитуда вектора напряженности магнитного поля в воздухе: $\dot{\vec{H}} = 10 \cos(20\pi x) \vec{e}_z$, 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° 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 $\vec{E}$. 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° к осям y и z .

2. Плоская поверхность разделяет воздух и диэлектрик. Вектор напряженности электрического поля в воздухе образует угол 35° с направлением нормали к поверхности раздела. Для вектора $\vec{E}$ в диэлектрике этот угол – 50° . 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 $\varepsilon_1 = 1,5$, к внешней – $\varepsilon_2 = 3$. 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 $\varepsilon_1 = 1,1$, а диэлектрик, прилегающий к экрану, –

$\varepsilon_2 = 2,2$. Определить погонную емкость кабеля, найти напряженность электрического поля на поверхности центральной жилы и экрана, если разность потенциалов между ними $U = 50 \text{ В}$.

Самостоятельная работа №3

Вариант 1

1. Амплитуда напряженности магнитного поля плоской электромагнитной волны, распространяющейся в среде с параметрами $\varepsilon_r=3,8$; $\mu_r=1$; $\sigma=2 \cdot 10^{-4} \text{ См/м}$, 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 $\varepsilon_r = 3,8$, $\mu_r = 1$, $\text{tg } \delta=10^{-4}$. 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 $\varepsilon_r = 10$; $\mu_r = 2$. Определите коэффициент фазы, фазовую скорость, длину волны и характеристическое сопротивление среды.

Вариант 2

1. Для плоской электромагнитной волны, распространяющейся в среде с параметрами $\varepsilon_r=144$; $\mu_r=1$; $\text{tg } \delta_3=2 \cdot 10^{-4}$, 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 (BaTiO_3) на частоте 10 ГГц обладает параметрами $\varepsilon_r = 144$, $\mu_r = 1$, $\text{tg } \delta_3=0,6$. 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 $1,5 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Определите относительную диэлектрическую проницаемость среды, частоту колебаний, фазовую постоянную и длину волны.

Самостоятельная работа №4

Вариант 1

1. В прямоугольном волноводе сечением $16 \times 8 \text{ мм}^2$ распространяется волна основного типа. Длина волны в волноводе равна $2,5 \text{ см}$, 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 $\varepsilon_r = 2,56$.

3. В прямоугольном волноводе распространяется волна типа H_{10} с длиной волны в волноводе $\lambda_B = 3 \text{ см}$. 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 $9,43 \text{ см}$, 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

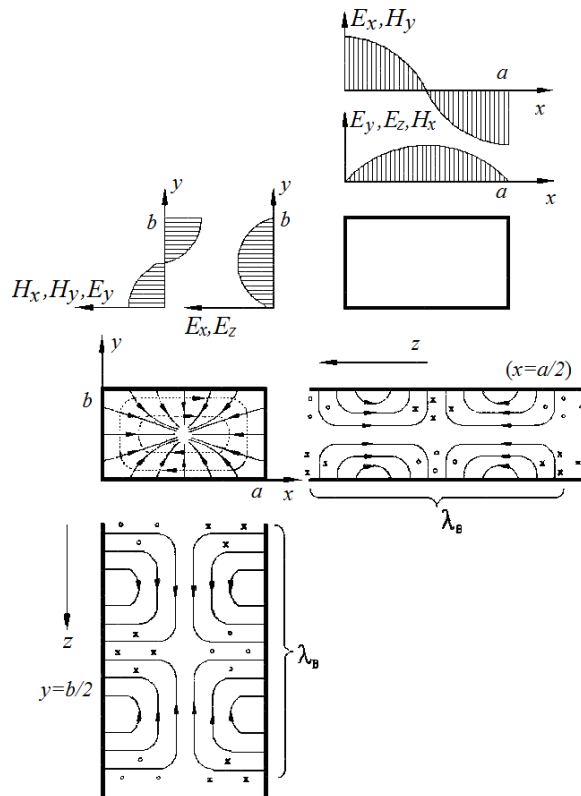
1. В прямоугольном волноводе сечением $48 \times 22 \text{ мм}^2$ распространяется волна основного типа. Длина волны в волноводе 9,4 см. Относительная диэлектрическая проницаемость вещества, заполняющего волновод, равна 2,25. Определить частоту передаваемых колебаний и фазовую скорость волны в волноводе.

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.

11.1.2. Пример теста по теме «Волноводы»

1. Основной волной прямоугольного волновода при $a > b$ является:
 - E_{11}
 - **H_{10}**
 - E_{10}
2. Вырожденные типы волн – это:
 - **волны, имеющие одинаковые критические частоты и дисперсионные зависимости**
 - волны, имеющие одинаковые структуры полей
 - волны, которые не могут распространяться в волноводе
3. Основная волна прямоугольного волновода это:
 - волна, имеющая наибольшую критическую частоту
 - **волна, имеющая наименьшую критическую частоту**
 - единственная волна, которая может распространяться в волноводе
4. Какими функциями описывается поле волны, распространяющейся в круглом волноводе:
 - **тригонометрическими**
 - функциями Неймана
 - **функциями Бесселя**
 - **экспонентой**
 - функциями Макдональда
5. Структура поля какой волны изображена на рисунке:



- H11
 - H01
 - E11
 - E01
6. Какие признаки относятся к волнам типа E:
- 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 Е и Н в прямоугольном волноводе
 - граничными 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

11.1.3. Типовые домашние задания:

Домашнее задание 1

1. Записать выражения для ротора, градиента, дивергенции и лапласиана в цилиндрической и сферической системах координат.
2. Найти:

$$\begin{aligned}
 &\text{grad}(\vec{A} \vec{B}); \quad \text{rot grad } \varphi; \\
 &\text{div}[\vec{A} \vec{B}]; \quad \text{div rot } \vec{A}; \\
 &\text{rot}[\vec{A} \vec{B}]; \quad \text{grad}(\varphi\psi); \\
 &\text{rot rot } \vec{A}; \quad \text{div}[\text{grad } \varphi \text{ grad } \psi].
 \end{aligned}$$

3. Определите дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{A}$, заданного в декартовой системе координат: $\vec{A} = 2xy^2\vec{e}_x + z^2\vec{e}_y$.
4. Определите дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{A}$, заданного в цилиндрической системе координат: $\vec{A} = \frac{10}{r} \sin z \vec{e}_z$.

Домашнее задание 2

1. Плоскость XOY декартовой системы координат является границей воздуха и идеального проводника. По поверхности проводника протекает равномерно распределенный ток, ориентированный вдоль оси y . При этом через отрезок оси x длиной 12 см проходит ток 25 мА. Определите тангенциальную к поверхности составляющую вектора напряженности магнитного поля.

2. Плоская поверхность разделяет две среды с относительными диэлектрическими проницаемостями $\epsilon_{r1} = 5$ и $\epsilon_{r2} = 2$. В первой среде вектор электрического смещения имеет величину $5 \cdot 10^{-10}$ Кл/м² и ориентирован под углом 45° к поверхности раздела. Во второй среде величина вектора электрического смещения равна $2,5 \cdot 10^{-10}$ Кл/м². Определите плотность поверхностного заряда.

3. Плоскость XOY декартовой системы координат разделяет две среды с относительными диэлектрическими проницаемостями $\epsilon_{r1} = 1,5$ и $\epsilon_{r2} = 4$. В первой среде ($z > 0$) вектор напряженности электрического поля: $\vec{E}_1 = 5\vec{e}_x + 5\vec{e}_z$ В/м, во второй среде ($z < 0$): $\vec{E}_2 = 5\vec{e}_x + 10\vec{e}_z$ В/м. Определите плотность поверхностного заряда.

Домашнее задание 3

1. В диэлектрике с относительной проницаемостью 3,8 и удельной

проводимостью 0,023 См/м комплексная амплитуда $\vec{E} = 10e^{-i\frac{\pi}{4}}\vec{e}_x$, мВ/м. Определите комплексные амплитуды векторов плотности тока проводимости, тока смещения и полного тока. Частота колебаний 150 МГц.

2. В диэлектрике с относительной проницаемостью 2,5 и удельной проводимостью $1,1 \cdot 10^{-3}$ См/м вектор плотности тока проводимости: $\vec{j}_{\text{пр}} = 2,2 \cdot 10^{-4} \sin(\pi \cdot 10^7 t) \vec{e}_x$, А/м². Определите комплексную амплитуду вектора плотности тока смещения, а также угол диэлектрических потерь.

3. 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° к оси z и углом 60° к оси x . При $t = 0$ проекция $H_z = 5$ мА/м. Частота колебаний 2 ГГц.

Домашнее задание 4

1. В некоторой точке пространства векторы электромагнитного поля описываются выражениями:

$$\vec{E} = 0,2 \cos(2\pi \cdot 10^9 t) \vec{e}_y, \text{ В/м};$$

$$\vec{H} = 6,5 \cdot 10^{-3} \cos(2\pi \cdot 10^9 t - 30^\circ) \vec{e}_z, \text{ А/м}.$$

Определите зависимость вектора Пойнтинга от времени. Найдите среднее значение и амплитуду колебательной составляющей вектора Пойнтинга.

2. В среде с потерями заданы комплексные амплитуды векторов электромагнитного поля плоской волны:

$$\vec{E} = 0,5 e^{-0,01x} e^{-i0,03x} \vec{e}_y, \text{ В/м};$$

$$\vec{H} = 0,01 e^{-0,01x} e^{-i\left(0,03x + \frac{\pi}{10}\right)} \vec{e}_z, \text{ А/м}.$$

Определите среднее значение вектора Пойнтинга. Найдите среднюю мощность, переносимую волной через квадратную площадку размерами $1 \times 1 \text{ м}^2$, расположенную в плоскости $x = 100 \text{ м}$.

Домашнее задание 5

1. Плоская электромагнитная волна распространяется в немагнитной среде без потерь с неизвестным значением ϵ_r . Измерения показали, что на пути 10 см колебание с частотой 1 ГГц приобретает дополнительный по сравнению с вакуумом сдвиг по фазе 40° . Определите ϵ_r и коэффициент преломления среды.
2. В диэлектрике без потерь с параметрами $\epsilon_r = 5$ и $\mu_r = 1$ распространяется плоская волна. При этом через площадку 10 см^2 , ориентированную перпендикулярно направлению распространения волны, переносится средняя мощность 50 мВт. Определите амплитуду колебаний векторов напряженности электрического и магнитного поля. Поляризация волны – линейная.
3. Во сколько раз уменьшится амплитуда плоской электромагнитной волны с частотой 2 МГц при распространении в среде с параметрами: $\sigma = 10^{-3} \text{ См/м}$, $\epsilon_r = 2$, $\mu_r = 1$ на пути 1 м.
4. Определите толщину экрана из меди ($\sigma = 5,7 \cdot 10^7 \text{ См/м}$, $\mu_r = 1$), который обеспечивает ослабление амплитуды электромагнитного поля в 10000 раз на частотах 50 Гц и 50 МГц.
5. Диэлектрик на частоте 10 ГГц обладает параметрами: $\epsilon_r = 3,8$, $\mu_r = 1$, $\tan \delta = 10^{-4}$. Определите длину волны, коэффициент затухания и характеристическое сопротивление такой среде.
6. Плотность потока мощности, переносимой плоской волной в металле, на расстоянии 0,01 мм уменьшилась в 1000 раз. Определите длину волны в металле и толщину скин-слоя.

Домашнее задание 6

1. Найти емкость сферического конденсатора. Радиус внутренней обкладки a , внешней – b . Между обкладками диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ϵ .
2. Волновое сопротивление коаксиальной линии на волне Т равно 60 Ом. Диэлектрик – воздух. Определить погонные индуктивность и емкость, а также скорость распространения волны в линии.
3. Определить диаметр внутреннего проводника коаксиальной линии с волновым сопротивлением 50 Ом, если диаметр внешнего проводника 7 мм, диэлектрик – воздух.
4. Определить погонные параметры двухпроводной линии, если известно, что волновое сопротивление 100 Ом, диэлектрик – воздух.
5. Рассчитать волновое сопротивление ленточной линии передачи. Ширина проводников 10 мм, расстояние между ними 1 мм, диэлектрик – полиэтилен ($\epsilon_r = 2,25$).
6. Определить погонные параметры ленточной линии передачи, если известно, что волновое сопротивление 50 Ом, диэлектрик – фторопласт ($\epsilon_r = 2,08$).

Домашнее задание 7

1. Определить размеры поперечного сечения волновода с воздушным заполнением, при которых может распространяться только основная волна H_{10} , если длина волны генератора равна 10 см.
2. В прямоугольном волноводе сечением $16 \times 8 \text{ мм}^2$ 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.
3. 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.
4. В прямоугольном волноводе сечением $50 \times 25 \text{ мм}^2$, работающем на волне типа H_{10} , передается средняя мощность 10 кВт. Частота поля 5 ГГц. Определить амплитуду напряжённости электрического поля на оси волновода, а также максимальное значение поверхностной плотности тока на его стенках.

Домашнее задание 8

1. В круглом волноводе распространяется волна типа E_{01} . Частота поля 10 ГГц, длина волны в волноводе 4 см, заполнение волновода воздушное. Вычислить групповую скорость.
2. Определить диапазон частот, в пределах которого в круглом волноводе диаметром 4 см может распространяться только основной тип волны (заполнение волновода воздушное).
3. Определите коэффициент затухания волны основного типа в круглом волноводе диаметром 55 мм. Волновод заполнен воздухом, стенки изготовлены из меди (проводимость меди $5,7 \cdot 10^7$ См/м). Частота колебаний 4,6 ГГц. Также определите погонное затухание в дБ/м.
4. Затухание основного типа волны в круглом волноводе диаметром 3 см на длине 40 см составляет 60 дБ. Определите частоту колебаний.
5. Определите погонное затухание в дБ/м волны типа H_{01} в круглом волноводе диаметром 50 мм. Проводимость стенок волновода $5,7 \cdot 10^7$ См/м, длина волны генератора 8 мм.

Домашнее задание 9

1. Какой тип колебаний является основным в прямоугольном объемном резонаторе в размерах: $a = 2$ см, $b = 4$ см, $L = 3$ см? Определите его резонансную частоту. Какой тип колебаний является ближайшим высшим? Определите его резонансную частоту.
2. Колебание типа H_{102} в прямоугольном объемном резонаторе, заполненном воздухом, характеризуется резонансной частотой 6 ГГц. Поперечное сечение имеет размеры 72×34 мм². Как нужно изменить длину резонатора, если требуется уменьшить резонансную частоту на 10%?
3. Прямоугольный объемный резонатор с размерами $a = 8$ см, $b = 5$ см, $L = 10$ см работает на типе колебаний H_{111} . Резонатор заполнен воздухом, материал стенок – медь (проводимость равна $5,7 \cdot 10^7$ См/м). Нагруженная добротность резонатора 5000. Вычислите мощность, поглощаемую во внешних устройствах, если в резонаторе запасена энергия $1,5 \cdot 10^{-9}$ Дж.
4. 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.
5. Прямоугольный объемный резонатор с размерами $a = 4$ см, $b = 2$ см, $L = 6$ см работает на типе колебаний E_{111} . Резонатор заполнен диэлектриком с параметрами: $\epsilon_r = 2,08$; $\operatorname{tg} \delta = 2,5 \cdot 10^{-4}$, материал стенок – медь (проводимость равна $5,7 \cdot 10^7$ См/м). Определите добротность резонатора, обусловленную потерями в металле, добротность, связанную с потерями в диэлектрике и полную собственную добротность резонатора.
6. При возбуждении колебания типа E_{010} в круглом объемном резонаторе резонанс наблюдается на частоте 3 ГГц, а при возбуждении моды E_{011} – на частоте 4,1 ГГц. Определите размеры резонатора.

Для студентов создан электронный курс «Электродинамика и распространение радиоволн» на платформе Moodle (<https://education.nntu.ru/course/view.php?id=22>).

11.1.4. Задания для контрольной работы

Студенты заочной формы обучения выполняют контрольную работу по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн».

Задача 1

1.1. Вычислить скалярное произведение двух векторов $\vec{A}$ и $\vec{B}$, угол между которыми равен α (см. табл. вариантов 1)

Таблица вариантов 1

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$ \vec{A} $	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$ \vec{B} $	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
α°	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270

1.2. Найти векторное произведение двух векторов $\vec{A}$ и $\vec{B}$, угол между которыми равен α . Вектор $\vec{A} = \vec{e}_i |\vec{A}|$ направлен по одной из осей прямоугольной системы координат, а вектор $\vec{B}$ лежит в одной из координатных поверхностей этой системы (xoz , $yoз$, $уох$). Варианты заданий приведены в таблице вариантов 2.

Таблица вариантов 2

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$ \vec{A} $	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$ \vec{B} $	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
α°	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270
$\vec{e}_i$	$\vec{x}_0$	$\vec{y}_0$	$\vec{z}_0$	$-\vec{x}_0$	$-\vec{y}_0$	$-\vec{z}_0$	$\vec{x}_0$	$\vec{y}_0$	$\vec{z}_0$	$-\vec{x}_0$
Координатная поверхность	xoz	$уох$	$уох$	$yoз$	xoz	$yoз$	$уох$	xoz	$уох$	$yoз$

Задача 2

2.1. Вдоль бесконечного прямого цилиндра радиуса a протекает ток проводимости. Напряженность магнитного поля, создаваемая этим током внутри цилиндра: $\vec{H} = \vec{\alpha}_0 H_0 f(r)$, где $\vec{\alpha}_0$ – единичный вектор в цилиндрической системе координат, а r – переменная в этой системе. H_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения поля вдоль радиальной оси координат.

Определить распределение плотности тока проводимости вдоль радиуса этого цилиндра. Варианты заданий приведены в таблице вариантов 3.

Таблица вариантов 3

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(r)$	r^{-5}	r^{-4}	r^{-3}	r^{-2}	r^{-2}	r	r^2	r^3	r^4	r^5

2.2. В бесконечно длинном прямом цилиндре протекает ток проводимости, создающий поле вектора магнитной индукции: $\vec{B} = \vec{\alpha}_0 B_0 f(r)$, где $\vec{\alpha}_0$ – единичный вектор в цилиндрической системе координат, B_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения поля вдоль радиальной оси координат, r – расстояние от оси цилиндра до точки наблюдения.

Определить $\operatorname{div} \vec{B}$ внутри цилиндра. Варианты заданий приведены в таблице вариантов 4.

Таблица вариантов 4

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(r)$	r^{-5}	r^{-4}	r^{-3}	r^{-2}	r^{-2}	r	r^2	r^3	r^4	r^5

2.3. В шарике радиуса a вектор электрической индукции: $\vec{D} = \vec{r}_0 D_0 f(r)$, где $\vec{r}_0$ – единичный вектор в сферической системе координат, D_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения поля вдоль радиуса шарика, r – расстояние от центра шарика до точки наблюдения.

Определить функцию распределения плотности объемного заряда шарика. Варианты заданий приведены в таблице вариантов 5.

Таблица вариантов 5

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(r)$	r^{-5}	r^{-4}	r^{-3}	r^{-2}	r^{-2}	r	r^2	r^3	r^4	r^5

Задача 3

3.1. В бесконечно длинном прямом цилиндре радиуса a протекает ток проводимости, создающий напряженность магнитного поля: $\vec{H} = \vec{\alpha}_0 H_0 f(r)$, где $\vec{\alpha}_0$ – единичный вектор в цилиндрической системе координат, H_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения поля вдоль радиальной оси координат, r – расстояние от оси цилиндра до точки наблюдения.

Определить ток проводимости, протекающий через поперечное сечение цилиндра. Варианты заданий приведены в таблице вариантов 6.

Таблица вариантов 6

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(r)$	r^{-5}	r^{-4}	r^{-3}	r^{-2}	r^{-2}	r	r^2	r^3	r^4	r^5

3.2. В шарике радиуса a создано электрическое поле, вектор электрической индукции которого: $\vec{D} = \vec{r}_0 D_0 f(r)$, где $\vec{r}_0$ – единичный вектор в сферической системе координат, D_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения поля вдоль радиуса шарика, r – расстояние от центра шарика до его произвольной точки.

Определить полный заряд, находящийся внутри шарика. Варианты заданий приведены в таблице вариантов 7.

Таблица вариантов 7

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(r)$	r^5	r^4	r^3	r^2	r	r^{-1}	r^{-2}	r^{-3}	r^{-4}	r^{-5}

Задача 4

В сфере с радиусом a электрический потенциал: $\varphi = \varphi_0 f(r)$, где φ_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения потенциала вдоль радиальной оси координат, r – расстояние от центра сферы до произвольной точки наблюдения внутри нее.

Определить напряженность электрического поля плотность объемного заряда в любой точке сферы (за исключением точки $r = 0$). Варианты заданий приведены в таблице вариантов 8.

Таблица вариантов 8

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(r)$	$\frac{e^{br}}{r}$	$\frac{e^{br}}{r^2}$	$\frac{e^{br}}{r^3}$	e^{br}	re^{br}	$\ln r$	$r \ln r$	$r^2 \ln r$	$\frac{\ln r}{r}$	$\frac{\ln r}{r^2}$

В таблице b – постоянная величина, r – расстояние от центра сферы до произвольной точки внутри нее.

Задача 5

В бесконечном прямом цилиндре, радиусом $a = 0,25$ м размещен объемный заряд плотностью $\rho = \rho_0 f(r)$, где ρ_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения заряда вдоль радиальной оси координат. На оси цилиндра имеется линейный заряд $\rho_{\text{лин}}$, а на его поверхности – поверхностный заряд $\rho_{\text{пов}}$. Внутри цилиндра диэлектрик с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_1 , а снаружи ϵ_2 .

Определить разность потенциалов между точками M и N . Точка M находится на расстоянии c , а точка N – на расстоянии b от его оси.

Варианты заданий приведены в таблице вариантов 9.

Таблица вариантов 9

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\rho_0 f(r)$, Кл/м	$6r$	$5r^2$	$4r^3$	$3r^4$	$\frac{2}{r}$	$\frac{6}{r}$	$5r^4$	$4r^3$	$3r^2$	$2r$
$\rho_{\text{пов}}$, Кл/м	0,1	0	0,2	0	0,3	0	0,4	0	0,5	0
$\rho_{\text{лин}}$, Кл/м	0	0,5	0	0,4	0	0,3	0	0,2	0	0,1
b , м	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
c , м	0,24	0,23	0,22	0,21	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15
ϵ_1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ϵ_2	10	9	8	7	1	2	3	4	5	6

Задача 6

Из этой задачи в контрольную работу выходит только один пункт из десяти, имеющих здесь. Номер этого пункта совпадает с последней цифрой номера зачетной книжки студента.

0. Металлический шарик радиуса $a = 0,05$ м, окруженный слоем диэлектрика радиуса $b = 0,1$ м, находится в ограниченном пространстве с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_1 = 1$. Относительная диэлектрическая проницаемость окружающего слоя диэлектрика $\epsilon_2 = 2,2$.

Определить напряженность электрического поля на поверхности металлического шарика, если он имеет потенциал $U = 50$ В.

1. Сферический конденсатор, заполненный диэлектриком с относительной проницаемостью $\epsilon = 2,2$, имеет радиус внутренней обкладки $a = 0,05$ м, внешней обкладки - $b = 0,2$ м.

Определить напряженность электрического поля на поверхности внутренней и внешней обкладок, если разность потенциалов между ними $U = 100$ В.

2. Коаксиальный кабель заполнен двухслойным диэлектриком. Радиус центральной жилы кабеля $a = 0,01$ м, а внутренней поверхности экрана - $b = 0,03$ м. Граница раздела двух диэлектриков $c = 0,02$ м. Диэлектрик, прилегающий к центральной жиле, имеет относительную проницаемость $\epsilon_1 = 1,1$, а диэлектрик, прилегающий к экрану - $\epsilon_2 = 2,2$.

Определить напряженность электрического поля на поверхности центральной жилы и экрана, если разность потенциалов между ними $U = 50$ В.

3. Сферический конденсатор заполнен двухслойным диэлектриком. Радиус внутренней обкладки $a = 0,005$ м, внутренней поверхности наружной обкладки - $b = 0,2$ м, радиус границы раздела двух диэлектриков $c = 0,015$ м. Относительная проницаемость диэлектрика, прилегающего к внутренней обкладке $\varepsilon_1 = 1,5$, а к внешней - $\varepsilon_2 = 3$.

Определить напряженность электрического поля на внутренней поверхности обкладок, если разность потенциалов между ними $U = 100$ В.

4. Определить емкость сферического конденсатора, данные которого приведены в п.3, и проводимость его изоляции, если удельная проводимость первого слоя $\sigma_1 = 3,5 \cdot 10^{-3}$ См/м, а второго - $\sigma_2 = 5 \cdot 10^{-2}$ См/м.

5. Определить емкость металлического шарика, окруженного слоем диэлектрика, данные которого приведены в п.0.

6. Определить погонную емкость коаксиального кабеля (емкость отрезка кабеля длиной 1 м) с двухслойным диэлектриком, данные которого приведены в п.2, и погонную проводимость (проводимость между экраном и центральной жилой отрезка кабеля длиной 1 м) его изоляции, если удельная проводимость первого слоя $\sigma_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ См/м, а второго - $\sigma_2 = 4 \cdot 10^{-4}$ См/м.

7. Два металлических шарика находятся в неограниченном диэлектрике с относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2,5$ и удельной проводимостью $\sigma = 5 \cdot 10^{-3}$ См/м. Расстояние между центрами шариков $d = 0,2$ м, радиус одного шарика $a = 0,01$ м, радиус второго - $b = 0,02$ м.

Рассчитать емкость и проводимость изоляции между этими шариками.

8. Определить емкость и проводимость изоляции между металлическим шариком радиусом $a = 0,02$ м и неограниченной металлической плоскостью, если центр шарика находится на высоте $h = 0,3$ м над этой плоскостью. Среда, в которой находится шарик, имеет относительную диэлектрическую проницаемость $\varepsilon = 2,2$ и удельную проводимость $\sigma = 4 \cdot 10^{-3}$ См/м.

9. Определить погонную емкость и проводимость изоляции линии передачи, образованной проводом радиуса $a = 0,01$ м, находящимся над неограниченной металлической плоскостью, если расстояние между осью провода и плоскостью $h = 0,15$ м, среда, окружающая провод имеет относительную диэлектрическую проницаемость $\varepsilon = 2$ и удельную проводимость $\sigma = 2 \cdot 10^{-3}$ См/м.

Задача 7

7.1 В прямом бесконечном цилиндре радиуса a векторный потенциал стационарного магнитного поля: $\vec{A} = \vec{z}_0 A_0 f(r)$, где $\vec{z}_0$ – единичный вектор в цилиндрической системе координат, A_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения потенциала вдоль радиальной оси координат.

Найти распределение напряженности магнитного поля внутри и снаружи цилиндра. Варианты заданий приведены в таблице вариантов 10.

Таблица вариантов 10

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(r)$	r	r^2	r^3	r^4	$e^{r/a}$	r	r^2	r^3	r^4	$e^{r/a}$

7.2. В бесконечном прямом цилиндре радиуса $a = 0,1$ м течет ток проводимости: по оси цилиндра – линейный ток J , по поверхности – поверхностный ток плотностью $j_{\text{пов}}$, и по всему поверхностному сечению – объемный ток плотностью $\vec{j} = \vec{z}_0 j_0 f(r)$, где $\vec{z}_0$ – еди-

ничный вектор в цилиндрической системе координат, j_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения плотности тока вдоль радиальной оси координат.

Определить напряженность магнитного поля внутри и снаружи цилиндра. При решении задачи током смещения пренебречь. Варианты заданий приведены в таблице вариантов 11.

Таблица вариантов 11

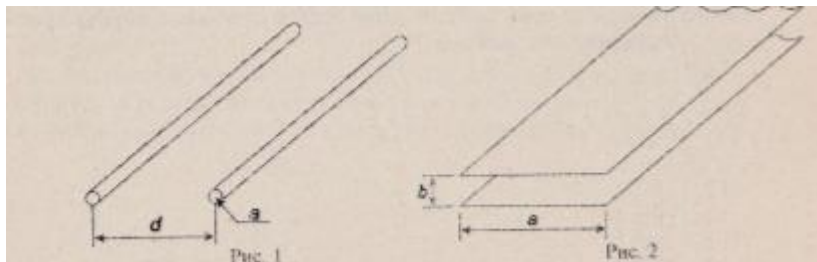
№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(r)$	$1/r$	1	r	r^2	$r^{r/a}$	$1/r$	1	r	r^2	$r^{r/a}$
J, A	1	2	3	4	5	4	3	2	1	0
$j_{\text{пов}}, A/м$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
$j_0, A/м^2$	1,5	2	2,5	3	3,5	4	3,5	3	2,5	2

Задача 8

Из этой задачи в контрольную работу входит только один пункт из десяти, имеющихся в ней. Номер этого пункта совпадает с последней цифрой номера зачетной книжки.

0. Два параллельных цилиндрических проводника радиуса $a = 0,01$ м находятся в неограниченной среде с относительной магнитной проницаемостью $\mu = 1$. Расстояние между осями проводников $d = 0,05$ м. Определить погонную индуктивность этой двухпроводной линии.

1. Две параллельные металлические ленты шириной $a = 0,1$ м находятся на расстоянии $b = 0,01$ м друг от друга (рис.2). Определить погонную индуктивность этой ленточной линии, если среда, в которой они находятся, имеет относительную магнитную проницаемость $\mu = 2$.

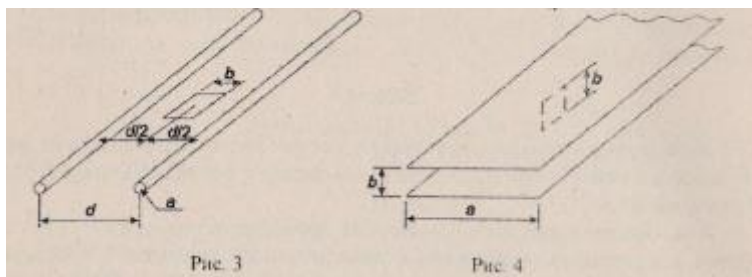


2. Коаксиальный кабель с радиусом центрального проводника $a = 0,003$ м и радиусом экрана $b = 0,02$ м имеет двухслойное наполнение. Слой, прилегающий к центральному проводнику, имеет радиус $c = 0,01$ м и относительную магнитную проницаемость $\mu = 2$. Вторым слоем, прилегающим к экрану, имеет $\mu = 1$. Рассчитать погонную индуктивность кабеля.

3. Провод радиуса $a = 0,005$ м расположен параллельно металлической неограниченной плоскости. Расстояние между осью провода и плоскостью $h = 0,1$ м. Рассчитать погонную индуктивность этой линии, если среда, в которой она находится, имеет относительную магнитную проницаемость $\mu = 1$.

4. Квадратная рамка из тонкого проводника лежит в одной плоскости с прямым бесконечно тонким проводником. Сторона рамки, с размером $a = 0,1$ м параллельная проводнику, находится на расстоянии $d = 0,2$ м от его оси. Определить взаимную индуктивность системы, если окружающая среда имеет относительную магнитную проницаемость $\mu = 2$.

5. Рассчитать взаимную индуктивность системы, состоящей из двухпроводной линии (см. п. 0 данной задачи) и квадратной рамки со стороной $b = 0,01$ м, лежащей в плоскости, в которой расположена двухпроводная линия; две противоположные стороны рамки параллельны проводам линии, а ее центр делит расстояние между проводами пополам (рис.3).

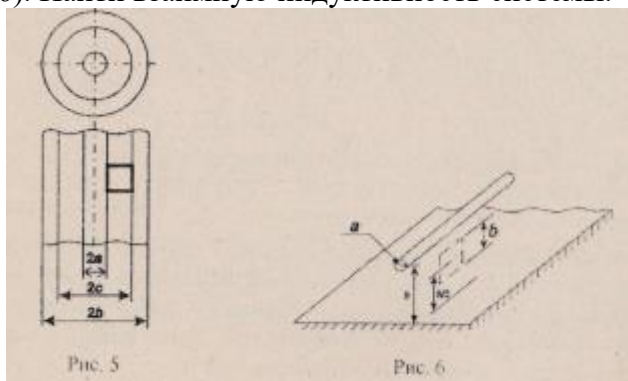


6. Рассчитать взаимную индуктивность системы (см. п. 5 данной задачи) при условии, что центр рамки находится на расстоянии d от середины отрезка между проводами.

7. В ленточной линии (см. п. 1) расположена квадратная рамка со стороной $b = 0,01$ м. Плоскость рамки перпендикулярна плоскости поперечного сечения линии и плоскости лент, образующих линию (см. рис.4). Найти взаимную индуктивность системы.

8. В слое, прилегающем к центральному проводнику коаксиального кабеля (см. п. 2), располагается квадратная рамка со стороной, имеющей размер $c-a$. Плоскость рамки находится в диаметральной плоскости кабеля (рис.5). Определить взаимную индуктивность системы.

9. В однородной линии передачи (см. п. 3) имеется квадратная рамка со стороной $b = 0,05$ м. Плоскость рамки находится в плоскости, проходящей через ось провода, перпендикулярной металлической поверхности, входящей в состав этой линии. Две противоположные стороны рамки параллельны оси провода, а ее центр делит расстояние h пополам (рис.6). Найти взаимную индуктивность системы.



Задача 9

Из этой задачи в контрольную работу входят два пункта из десяти, имеющих в ней. Номера этих пунктов определяются по таблице вариантов 12.

Плоская однородная волна распространяется в неограниченной однородной среде с относительной магнитной проницаемостью $\mu = 1$. Направление распространения совпадает с положительным направлением оси z декартовой системы координат. Амплитудное значение напряженности электрического поля в начале координат равно E_0 , частота колебаний f .

Требуется определить:

1. Сдвиг по фазе между векторами электрического и магнитного полей.
2. Модуль и фазу волнового сопротивления среды.
3. Среднее значение плотности потока мощности в точке с координатой z .
4. Координату, которой соответствует среднее за период значение плотности потока мощности, в p раз меньше, чем в начале координат.
5. Фазовый коэффициент.
6. Фазовую скорость.
7. Длину волны.
8. Затухание волны в точке с координатой z , выраженное в децибелах.
9. Напряженность магнитного поля в точке с координатой z .

10. Затухание волны в точке с координатой z , выраженное в неперах.

Таблица вариантов 12

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ пункта задачи	1,3	2,4	3,6	7,9	6,8	1,8	6,9	2,3	4,5	7,10
z , м	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0005	0,1	10	100	1000	10000
E_0 , В/м	1000	100	10	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
f , МГц	100	300	500	700	1000	300	300	100	100	10
Среда	Серебро	Медь	Алюминий	Олово	Свинец	Вода морская	Вода пресная	Стекло натриевое	Полистирол	Кварц плавленый
ρ	10^6	10^5	10^4	10^3	100	10	5	4	3	2

11.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

11.2.1. Типовые вопросы для промежуточной аттестации (ОПК-1: ИОПК-1.1, ИОПК-1.2)

1. Величины, описывающие различное распределение электрических зарядов и токов.
2. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах, их физический смысл.
3. Свойства уравнений Максвелла.
4. Уравнения состояния сред (материальные уравнения). Виды сред.
5. Граничные условия на границе раздела сред.
6. Принцип двойственности.
7. Теорема взаимности.
8. Лемма Лоренца.
9. Методы графического изображения электромагнитных полей. Понятие о силовой линии (линии поля).
10. Электростатическое поле. Уравнение Пуассона для электростатического потенциала.
11. Магнитостатическое поле. Уравнение Пуассона для векторного потенциала.
12. Закон сохранения заряда в интегральной и дифференциальной формах.
13. Комплексные амплитуды. Уравнения Максвелла для комплексных амплитуд.
14. Понятие о комплексных диэлектрической и магнитной проницаемостях.
15. Теорема Умова-Пойнтинга.
16. Теорема Умова-Пойнтинга для комплексных амплитуд. Комплексный вектор Умова-Пойнтинга, его физический смысл.
17. Потенциалы в электродинамике.
18. Волновые уравнения для потенциалов.
19. Решение волнового уравнения для точечного источника. Запаздывающий и опережающий потенциалы.
20. Плоские волны в среде без потерь.
21. Плоские волны в среде с потерями.
22. Поляризация волн. Виды поляризации.
23. Электрический и магнитный векторы Герца. Волновые уравнения для векторов Герца.
24. Направляющие системы. Постановка задачи о расчете электромагнитного поля в волноводах. Собственные волны. Основные характеристики волн в линиях передачи.
25. Фазовая и групповая скорости.
26. Классификация типов волн в направляющих структурах.
27. Быстрые волны в волноводах. Дисперсия быстрых волн. Виды дисперсии.
28. Методика расчета электромагнитного поля в прямоугольном волноводе.

29. Методика расчета электромагнитного поля в круглом волноводе.
30. Волны типа Н в прямоугольном волноводе, дисперсионное уравнение, критические частоты.
31. Волны типа Е в прямоугольном волноводе, дисперсионное уравнение, критические частоты.
32. Волны типа Н в круглом волноводе, дисперсионное уравнение, критические частоты.
33. Волны типа Е в круглом волноводе, дисперсионное уравнение, критические частоты.
34. Волны типа Т в направляющих структурах. Т-волна и высшие типы волн в коаксиальном волноводе.
35. Объемные резонаторы на базе отрезков линий передачи. Характеристическое уравнение для определения резонансных частот.
36. Общая теория объемных резонаторов.
37. Добротность резонатора. Виды добротностей.
38. Объемный резонатор на базе отрезка прямоугольного волновода.
39. Коаксиальный резонатор с торцевой емкостью.
40. Токи в стенках волновода.
41. Возбуждение волн в волноводах и колебаний в резонаторах.
42. Импедансный цилиндр.
43. Диэлектрический волновод. Получение дисперсионного уравнения для гибридных волн.
44. Симметричные волны в диэлектрическом волноводе.
45. Периодические замедляющие системы. Особенности представления электромагнитного поля в периодических замедляющих системах. Пространственные гармоники.
46. Гребенчатая замедляющая система. Импедансный метод составления дисперсионного уравнения. Вид дисперсионной характеристики.
47. Спиральный волновод.

11.2.2. Типовые задания для промежуточной аттестации (ОПК-1: ИОПК-1.2, ИОПК-1.3)

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. 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.
3. Запишите выражение для электрического вектора $\vec{E}(t)$ и для его комплексной амплитуды $\vec{\dot{E}}$. 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° к осям y и z.
4. Плоская поверхность разделяет воздух и диэлектрик с $\epsilon_r = 2$. Вектор напряженности электрического поля в воздухе ориентирован под углом 45° 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.
5. Плоская поверхность разделяет воздух и диэлектрик. Вектор напряженности электрического поля в воздухе образует угол 35° с направлением нормали к поверхности раздела. Для вектора $\vec{E}$ в диэлектрике этот угол – 50° . Определите относительную проницаемость диэлектрика. Поверхностный электрический заряд отсутствует.
 6. 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° с направлением нормали к поверхности раздела. Определите величину и направление вектора $\vec{B}$ во второй среде. Поверхностный электрический ток отсутствует.
 7. 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.
 8. 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.
 9. 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.
 10. 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.
 11. Плоская электромагнитная волна распространяется в среде с относительными диэлектрическими проницаемостями $\epsilon_r = 4$; $\mu_r = 1,5$ и удельной проводимостью 0,005 См/м. Коэффициент ослабления в 5 раз меньше коэффициента фазы. Определите частоту колебаний и коэффициент ослабления.
 12. Плоская электромагнитная волна с частотой 0,3 ГГц распространяется в среде с относительными проницаемостями $\epsilon_r = 4$; $\mu_r = 3$ и удельной проводимостью 0,02 См/м. Определите длину волны в среде и коэффициент ослабления.
 13. Определите, во сколько раз уменьшается амплитуда плоской волны на расстоянии, равном длине волны в среде с тангенсом угла потерь равным 10,0.
 14. Амплитуда колебаний вектора $\vec{H}$ в плоской волне для некоторой точки пространства составляет 1,2 А/м. Определите амплитуду колебаний вектора $\vec{E}$ в данной точ-

- ке, если: а) волна распространяется в вакууме; б) волна распространяется в латуни (проводимость $1,4 \cdot 10^7$ См/м). Частота колебаний 50 МГц.
15. 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.
 16. 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 Вт/м^2 . Определите амплитуду напряженности магнитного поля в преломленной волне.
 17. Плоская электромагнитная волна с перпендикулярной поляризацией падает из воздуха под углом 40° 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.
 18. Плоская электромагнитная волна с перпендикулярной поляризацией падает из воздуха под углом 60° 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.
 19. Плоская электромагнитная волна с перпендикулярной поляризацией падает под углом 15° 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 Вт/м^2 . Определите плотность потока мощности отраженной и преломленной волн.
 20. Определите, какие типы волн могут распространяться в прямоугольном волноводе сечением $165 \times 83 \text{ мм}$ на частоте $1,36 \text{ ГГц}$. Волновод заполнен диэлектриком с $\epsilon_r = 2,5$.
 21. В прямоугольном волноводе сечением $10,7 \times 5,3 \text{ мм}$ распространяется волна типа H_{11} . Частота колебаний равна 41 ГГц . Волновод заполнен воздухом. Определите критическую частоту, фазовую скорость и длину волны в волноводе.
 22. В прямоугольном волноводе сечением $35 \times 16 \text{ мм}$ распространяется волна основного типа с фазовой скоростью $2,8 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Частота колебаний равна $6,7 \text{ ГГц}$. Определите длину волны в волноводе и относительную диэлектрическую проницаемость вещества, заполняющего волновод.
 23. Определите, какие типы волн могут распространяться в круглом волноводе диаметром 50 мм на частоте $4,4 \text{ ГГц}$. Волновод заполнен диэлектриком с $\epsilon_r = 3$.
 24. В круглом волноводе диаметром 16 мм распространяется волна основного типа. Частота колебаний равна 13 ГГц . Определите критическую частоту, фазовую скорость и длину волны в волноводе, который заполнен диэлектриком с $\epsilon_r = 2,56$.

25. В круглом волноводе, заполненном диэлектриком с относительной проницаемостью $\epsilon_r = 2,08$, распространяется волна типа E_{11} . Частота колебаний равна 8 ГГц, длина волны в волноводе составляет 4,2 см. Определите фазовую скорость и радиус волновода.
26. Как показали измерения, резонансная частота при возбуждении колебания типа H_{111} в круглом объемном резонаторе равна 8,5 ГГц, а при возбуждении колебания E_{010} резонанс наблюдается на частоте 10 ГГц. Определите размеры резонатора.
27. В прямоугольном резонаторе с размерами $a = 30$ мм; $l = 40$ мм возбуждается колебание E_{110} . Определите размер b , если резонансная частота 11,18 ГГц.
28. Круглый объемный резонатор заполнен воздухом и имеет диаметр 25 мм. В каких пределах необходимо изменять длину резонатора (с помощью поршня) для перестройки частоты в пределах 8÷10 ГГц. Тип колебания H_{111} .
29. Прямоугольный резонатор имеет размеры поперечного сечения 20×10 мм. Длина резонатора изменяется путем перемещения поршня. При какой длине l возможно одновременное существование в резонаторе колебания H_{101} и ближайшего высшего колебания?
30. Определите, во сколько раз резонансная частота колебания типа H_{101} в кубическом резонаторе отличается от резонансной частоты колебания типа E_{111} .
31. В прямоугольном волноводе сечением 72×34 мм распространяется волна основного типа с длиной волны 14 см. Волновод заполнен воздухом. На базе данного волновода необходимо построить резонатор минимальной длины. Определите резонансную частоту, тип колебания и длину резонатора.
32. Плоская электромагнитная волна затухает в медном экране. При этом амплитуда колебаний вектора $\vec{H}$ составляет 0,5 А/м на поверхности экрана и 0,15 А/м на глубине $h = 10^{-6}$ м. Определите частоту поля. Найдите амплитуду колебаний вектора $\vec{E}$ на поверхности экрана и на глубине h .
33. Прямоугольный объемный резонатор с размерами $a = 36$ мм, $b = 18$ мм, $L = 45$ мм работает на типе колебаний H_{101} . Резонатор заполнен воздухом, материал стенок медь (проводимость меди $5,7 \cdot 10^7$ См/м). Определите резонансную частоту и собственную добротность резонатора.
34. Определите, во сколько раз меньше фазовая скорость и длина волны в меди по сравнению с аналогичными характеристиками в вакууме. Частота колебаний 3 ГГц. Проводимость меди $5,7 \cdot 10^7$ См/м.
35. Плоская электромагнитная волна с частотой 400 МГц распространяется в среде с $\mu_r = 1$. Измерения показали, что на расстоянии 6 см амплитуда волны уменьшается в 1,2 раза, а начальная фаза колебаний уменьшается на 60° . Определите относительную диэлектрическую проницаемость и удельную проводимость среды.
36. Плоская электромагнитная волна с частотой 300 МГц распространяется в диэлектрике без потерь с $\mu_r = 1$. Измерения показали, что разность фаз колебаний вектора $\vec{E}$ в точках, разнесенных на 10 см в направлении распространения, составляет 60° . Определите фазовую скорость, относительную диэлектрическую проницаемость и характеристическое сопротивление диэлектрика.

37. В прямоугольном волноводе сечением 40×20 мм распространяется волна типа E_{11} . Волновод заполнен диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью 2,08, длина волны в волноводе равна 80 мм. На базе данного волновода необходимо построить резонатор, работающий на колебании типа E_{111} . Определите длину резонатора и резонансную частоту.
38. Прямоугольный резонатор заполнен воздухом. При каком отношении между высотой и шириной резонатора резонансная частота колебания E_{210} будет в 1,5 раза больше резонансной частоты колебания E_{110} .
39. Определите собственную добротность круглого объемного резонатора, работающего на типе колебаний H_{111} . Диаметр резонатора 5 см, длина 7 см. Резонатор заполнен воздухом, а его стенки выполнены из латуни (проводимость $1,4 \cdot 10^7$ См/м).
40. Определите, при каком соотношении между размерами круглого объемного резонатора основной модой этого резонатора будет колебание типа H_{111} . При каком соотношении между размерами основной модой будет колебание типа E_{010} ?
41. Групповая скорость волны основного типа в прямоугольном волноводе равна $2,75 \cdot 10^8$ м/с. Групповая скорость волны типа H_{01} – $1,8 \cdot 10^8$ м/с. Частота колебаний 7,5 ГГц. Волновод заполнен воздухом. Определите размеры поперечного сечения волновода.
42. Определите коэффициент затухания волны основного типа в круглом волноводе диаметром 55 мм. Волновод заполнен воздухом, стенки изготовлены из меди (проводимость меди $5,7 \cdot 10^7$ См/м). Частота колебаний 4,6 ГГц. Также определите погонное затухание в дБ/м.
43. Определите диапазон частот, в котором в круглом волноводе диаметром 30 мм может распространяться только основной тип волны. Волновод заполнен диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью 2,56.
44. В круглом волноводе диаметром 24 мм распространяется волна основного типа. Длина волны в волноводе равна 4,8 см, частота колебаний 6 ГГц. Определите фазовую скорость и относительную диэлектрическую проницаемость вещества, заполняющего волновод.
- В прямоугольном волноводе распространяется волна основного типа. На частоте 11 ГГц длина волны в волноводе равна 3,8 см. Определите групповую скорость.

Полный фонд оценочных средств находится на кафедре «ФТОС».

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института ИРИТ

_____ Мякинников А.В.

«___» _____ 20 __ г.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины
Электродинамика и распространение радиоволн**

для подготовки бакалавров

Направление подготовки: 11.03.01 Радиотехника

Направленность: Радиоэлектронные системы

Форма обучения: очная, очно-заочная, заочная

Год начала подготовки: 2021

Курс 2

Семестр 4/3/3

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): Раевская Ю.В., к.т.н., доцент

«__» _____ 20 __ г.

Нефедьев И.А., старший преподаватель

«__» _____ 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.