МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

Балахнинский филиал ННГУ

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«26» июня 2019 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА
И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Уровень высшего образования
БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки
13.03.02. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Направленность (профиль) образовательной программы
ЭЛЕКТРОРАДИОТЕХНИКА

Квалификация

БАКАЛАВР

Формы обучения
ОЧНО-ЗАОЧНАЯ

Балахна
2019

Лист актуализации

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Пересмотренная рабочая программа утверждена на заседании учёного совета Балахнинского филиала ННГУ
10 июня 2020 г. Протокол № 6. Председатель учёного совета БФ ННГУ _____А.К. Балдин

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2020-2021 учебном году на заседании кафедры
Прикладной информатики, информационных технологий, радио- и электротехники БФ ННГУ

Протокол от 6 июня 2020 г. № 10
И.о. Зав. кафедрой _____Д.Н. Шуваев

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель ОМК
__ _____ 20___ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2021-2022 учебном году на заседании кафедры
_____

Протокол от __ _____ 2020 г. № __
Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель ОМК
__ _____ 20___ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2022-2023 учебном году на заседании кафедры
_____

Протокол от __ _____ 20___ г. № __
Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель ОМК
__ _____ 20___ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2023-2024 учебном году на заседании кафедры
_____

Протокол от __ _____ 20___ г. № __
Зав. кафедрой _____

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.09), ориентирована на подготовку выпускников к решению проектного типа задач профессиональной деятельности и частичное формирование компетенции ПК-1, определяемое индикаторами ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3.

Формирование компетенции ПК-1 начато в ходе освоения дисциплин Общая энергетика (ПК-1.3), Теория колебаний (ПК-1.1, 1.2), будет продолжено при освоении дисциплин Методы анализа, проектирования и моделирования ЭРТ систем (ПК-1.1, 1.2, 1.4), Переходные процессы в электроэнергетических системах (ПК-1.5), Электромагнитная совместимость (ПК-1.5), Теория автоматического управления (ПК-1.2, 1.3), Устройства сверхвысоких частот и антенны (ПК-1.4), Математическое моделирование и численные методы расчёта электрических сетей (ПК-1.1, 1.2, 1.3) и завершено в ходе выполнения Технологической и Преддипломной практик и подготовки Выпускной квалификационной работы (бакалаврской работы).

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	**Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции**		**Наименование оценочного средства**
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	**Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-1. Способен участвовать в проектировании объектов электротехники и электрорадиотехнических систем	ПК-1.1. Выполняет сбор и анализ данных для проектирования. ПК-1.2. Обосновывает выбор целесообразного и оптимального решения. ПК-1.3. Демонстрирует способности в анализе, проектировании и оптимизации электротехники и электрорадиотехнических систем, исходя из принципов общей энергетики, электроэнергетики, электроснабжения, экономии энергоресурсов.	Знает законы электродинамики и распространения радиоволн и их математическое представление. Умеет применять теорию для решения задач по изучению волновых процессов; анализировать возможности её использования для моделирования волновых процессов в целях анализа и оптимизации их параметров. Владеет: навыками решения задач электродинамики и распространения радиоволн.	Вопросы к экзаменам, Тестовые задания, Вопросы практических занятий, Задачи практических занятий, Задачи для экзаменов

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоёмкость дисциплины

	очно-заочная форма обучения
Общая трудоёмкость	7 ЗЕТ
Часов по учебному плану	252
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа - КСР	74 36 34 4
самостоятельная работа	106
Промежуточная аттестация – экзамены	72

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	**Всего (часы)**	в том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				**Самостоятельная работа обучающегося, часы**
		Занятия лекционного типа	**Занятия семинарского типа**	**Занятия лабораторного типа**	**Всего**	
	Очно-заочная	Очно-заочная	Очно-заочная	Очно-заочная	Очно-заочная	Очно-заочная
Часть I	*144*					
1. Введение	4	1			1	3
2. Основные уравнения макроскопической электродинамики и общие свойства электромагнитных полей	9	3	2		5	4
3. Электростатика	30	4	6		10	20
4. Постоянные токи	9	1	2		3	6
5. Магнитостатика	15	2	4		6	9
6. Переменные электромагнитные поля.	8	1	1		2	6
7. Электродинамика квазистационарных процессов	8	2	1		3	5
8. Волны в однородных средах	7	2	1		3	4
9. Волны в неоднородных изотропных средах	10	2	2		4	6
10.Излучение заданных источников в безграничной однородной изотропной среде	8	2	1		3	5
Часть II	*108*					
1.Введение	4	1			1	3
2.Канал связи	8	3	1		4	4
3.Электромагнитные волны в средах	8	3	1		4	4

4.Распространение радиоволн вдоль земной поверхности	12	3	3		6	6
5.Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера	12	2	3		5	7
6.Распространение радиоволн в ионосфере	12	2	3		5	7
7.Распространение радиоволн в тропосфере	12	2	3		5	7
КСР	4				4	
Промежуточная аттестация – два экзамена.	72					
Итого	252	36	34		74	106

Часть I

1. Введение

1.1. Основные этапы развития теории электромагнитного поля. Общий характер построения читаемого курса.

1.2. Элементы векторного и тензорного исчисления (краткая сводка основных формул и понятий). Скалярные, векторные и тензорные величины. Дифференциальные операции первого и второго порядков. Дифференциально-векторные тождества. Интегральные теоремы. Криволинейные системы координат.

2. Основные уравнения макроскопической электродинамики и общие свойства электромагнитных полей

2.1. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной формах для полей, зарядов и токов в вакууме. Понятие напряжённостей электрического и магнитного полей, плотностей тока и заряда. Постулаты, связывающие электромагнитные явления с механическими (выражения для плотности энергии поля и силы Лоренца). Пределы применимости уравнений классической электродинамики.

2.2. Макроскопические уравнения Максвелла (в дифференциальной и интегральной формах) для поля в материальной среде как результат усреднения микроскопических уравнений классической электронной теории. Понятие векторов средних макроскопических напряжённостей электрического и магнитного полей, электрической и магнитной поляризации и индукции.

2.3. Материальные уравнения для различных сред. Диэлектрическая и магнитная проницаемости, проводимость. Сторонние источники. Понятие временной и пространственной дисперсии. Ток и поляризация как результат воздействия полей на среду и как источник этих полей.

2.4. Граничные условия для тангенциальных и нормальных компонент векторов поля на произвольной поверхности. Понятие поверхностных зарядов и токов.

2.5. Важнейшие общие свойства уравнений Максвелла и их решений. Скаляры, векторы и псевдовекторы в уравнениях Максвелла. Линейность уравнений и принцип суперпозиции решений. Обратимость уравнений во времени. Принцип перестановочной двойственности и магнитные источники.

2.6. Законы сохранения, следующие из уравнений Максвелла. Закон сохранения заряда (уравнение непрерывности). Закон сохранения энергии (теорема Пойнтинга). Вектор Пойнтинга и понятие потока электромагнитной энергии. Плотность электромагнитной энергии в среде без дисперсии. Джоулевы потери. Закон сохранения импульса. Понятие плотности электромагнитного импульса и тензора натяжений для поля в вакууме.

2.7. Теорема единственности решения уравнений Максвелла при заданных начальных и граничных условиях.

2.8. Классификация основных типов электромагнитных явлений: электростатика, токостатика, магнитостатика, квазистационарные процессы, быстропеременные (волновые) поля.

3. Электростатика

3.1. Уравнения электростатического поля. Скалярный потенциал. Уравнения Пуассона и Лапласа. Граничные условия для потенциала на поверхностях проводников и диэлектриков.

3.2. Некоторые общие теоремы электростатики. Теорема единственности решения. Теорема о минимуме и максимуме потенциала. Теорема Ирншоу. Теорема взаимности. Классификация задач электростатики, прямые и обратные задачи.

3.3. Прямая задача электростатики для безграничной однородной среды. Функция Грина. Общее решение уравнения Пуассона. Потенциал простого и двойного слоя. Поле произвольной системы зарядов на большом расстоянии от неё. Разложение по мультиполям. Дипольный момент. Тензор квадрупольного момента.

3.4. Методы решения прямой задачи при наличии проводников и неоднородных диэлектриков (краевые задачи).

а) Конструктивные методы: металлизация эквипотенциальных поверхностей; метод изображений; метод заполнения диэлектриком.

б) Метод разделения переменных. Разделение переменных в уравнении Лапласа в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат. Задача о диэлектрическом шаре в однородном внешнем поле.

в) Понятие о методе инверсии, методе конформных преобразований, методе возмущений.

3.5. Обратная задача электростатики.

3.6. Дискретное описание электростатических систем. Линейные соотношения между зарядами и потенциалами проводников. Свойства потенциальных и ёмкостных коэффициентов. Понятие ёмкости. Электростатические цепи.

3.7. Энергия электростатического поля. Представление в виде интеграла по области источников. Собственная и взаимная энергия различных подсистем. Энергия взаимодействия внешнего поля с точечным зарядом и точечным диполем. Энергия системы проводников. Теорема Томсона о минимуме электростатической энергии.

3.8. Силы в электростатическом поле. Энергетический метод расчёта обобщённых сил. Связь между вариацией энергии и работой сторонних сил в системе проводников с постоянными зарядами или постоянными потенциалами. Силы, действующие на заряд и диполь во внешнем поле; момент сил, действующих на диполь. Плотность силы, действующей на поверхность проводника.

4. Постоянные токи

Уравнения теории постоянных токов в проводящей среде. Граничные условия для плотности тока. Понятие идеального электрода и идеального изолятора. Формальная аналогия с электростатикой; примеры ее использования для решения токовых задач. Понятие сопротивления. Закон Джоуля-Ленца. Токи в квазилинейных проводниках. Законы Кирхгофа.

5. Магнитостатика

5.1. Уравнения, описывающие магнитное поле постоянных токов. Векторный потенциал. Уравнение для векторного потенциала в однородной среде и его решение. Закон Био-Савара.

5.2. Поле произвольной системы токов на большом расстоянии от неё. Магнитный дипольный момент. Поле магнитного диполя.

5.3. Скалярный потенциал магнитного поля. Магнитный листок как эквивалент линейного контура с током. Аналогия между магнитостатическими и электростатическими полями как проявление принципа двойственности. Конструктивные и прямые методы решения краевых задач магнитостатики, аналогичные электростатическим.

5.4. Поля, создаваемые намагниченными телами. Замена намагниченности эквивалентными электрическими токами или магнитными зарядами. Магнитные цепи. Понятие магнитного сопротивления. Законы Кирхгофа для магнитных цепей.

5.5. Энергия и силы в магнитном поле. Представление энергии в виде интеграла по области источников. Энергия системы квазилинейных токов. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции. Сила, действующая на элемент квазилинейного контура с током. Сила и

вращающий момент, действующие на магнитный диполь. Плотность объёмной силы и тензор натяжений магнитного поля в среде.

6. Переменные электромагнитные поля. Общее описание

6.1. Постановка задачи и различные приближения. Описание переменного электромагнитного поля в общем случае. Дифференциальные уравнения второго порядка для электромагнитных полей. Описание с помощью потенциалов. Градиентная инвариантность. Условие калибровки Лоренца. Волновые уравнения для потенциалов. Вектор Герца. Магнитные потенциалы.

6.2. Гармонические процессы. Комплексная запись полей и уравнений Максвелла. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Связь комплексных полей с потенциалами. Возможность оперирования с произведением комплексных векторов. Комплексная теорема Пойнтинга. Теорема единственности решения уравнений Максвелла для гармонических полей.

7. Электродинамика квазистационарных процессов

7.1. Квазистационарные процессы в проводящих средах. Распределение переменных полей и токов в проводящем полупространстве. Скин-эффект. Граничные условия Леонтовича. Энергетические соотношения при скин-эффекте.

7.2. Квазистационарные процессы в квазилинейных цепях с сосредоточенными параметрами. Возможность пренебрежения запаздыванием передачи взаимодействия и выделение зоны квазистатики. Законы Кирхгофа для цепей с переменными токами.

8. Волны в однородных средах

8.1. Однородные и неоднородные плоские волны в непоглощающей изотропной среде. Ориентация векторов электрического и магнитного поля. Дисперсионное соотношение. Поляризация волны, длина волны, фазовая скорость, характеристический импеданс (волновое сопротивление). Плотность потока энергии в плоской волне. Плоские волны в поглощающей среде.

8.2. Неоднородная плоская волна как суперпозиция двух однородных плоских волн. Поляризация поля в такой волне, длина волны, фазовая скорость, поперечный волновой импеданс, плотность потока энергии. Конструирование поля в волноводе и колебаний в резонаторе из однородных плоских волн. Пример: волна типа TE10 в прямоугольном волноводе.

8.3. Изотропные среды с временной дисперсией. Связь между индукцией и напряжённостью поля. Квазимонохроматические процессы. Энергия монохроматического поля в среде с временной дисперсией. Распространение импульсного сигнала в среде с временной дисперсией. Групповая скорость и скорость энергии. Диффузионное уравнение для огибающей импульса. Расплывание импульса. Пример: колоколообразный импульс, описываемый функцией Гаусса.

9. Волны в неоднородных изотропных средах

9.1. Отражение и преломление плоских волн на плоской границе раздела двух сред (формулы Френеля). Нормальное падение. Выражение коэффициента отражения через поперечные волновые импедансы. Формула пересчёта импеданса. Использование ее для отыскания коэффициента отражения от плоскопараллельной пластинки. Наклонное падение. Угол Брюстера. Полное внутреннее отражение. Возникновение неоднородных плоских волн при полном отражении. Отражение от хорошо проводящей поверхности и условие Леонтовича.

10. Излучение заданных источников в безграничной однородной изотропной среде

10.1. Функция Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения. Представление потенциалов в виде интегралов по области источников. Условие излучения. Выбор целесообразного и оптимального решения.

10.2. Простейшая излучающая система – элементарный электрический вибратор (диполь Герца). Общее выражение для поля излучения, структура поля в квазистатической и волновой зонах. Диаграмма направленности; сопротивление излучения. Поле магнитного диполя (с использованием принципа двойственности).

10.3. Общее представление поля излучения произвольной системы заданных гармонических токов в дальней зоне. Вектор излучения как пространственная Фурье-гармоника плотно-

сти тока. Основные характеристики направленности излучающей системы. Выбор целесообразного и оптимального решения.

Часть II

1. Введение

1.1. Диапазоны частот.

1.2. Электрические свойства земной поверхности.

1.3. Структура атмосферы и ионосферы Земли.

1.4. Геометрические свойства земной поверхности. Радиогоризонт.

2. Канал связи

2.1. Бюджет канала связи.

2.2. Характеристики канала.

2.3. Замирания в каналах связи.

2.4. Дистанционное уравнение.

3. Электромагнитные волны в средах

3.1. Уравнения Максвелла.

3.2. Потенциалы электромагнитного поля.

3.3. Плоские, цилиндрические и сферические волны.

3.4. Электромагнитные волны в проводящей среде.

3.5. Импедансы: характеристический, нормальный приведённый поверхностный.

3.6. Коэффициенты отражения Френеля.

4. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности

4.1. Задача Зоммерфельда. Строгая постановка задачи об излучении вертикального электрического диполя, расположенного вблизи плоской поверхности Земли.

4.2. Отражательные формулы. Области, существенные для отражения радиоволн. Выбор целесообразного и оптимального решения.

4.3. Формула Введенского.

4.4. Диаграмма направленности элементарного диполя, расположенного вблизи земной поверхности.

4.5. Численное расстояние. Функция ослабления. Функция ослабления для малых и больших численных расстояний.

4.6. Интегральное уравнение для функции ослабления. Распространение радиоволн вдоль неоднородной трассы. Береговая рефракция.

4.7. Влияние рельефа местности на распространение радиоволн. Отражение радиоволн от шероховатой поверхности. Критерий Релея.

4.8. Дифракция радиоволн на одиночном препятствии. Дифракция на крае плоского экрана. Усиление препятствием. Приближение Кирхгофа. Выбор целесообразного и оптимального решения.

4.9. Основы геометрической теории дифракции.

5. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера

5.1. Модель плоского волновода. Решение задачи об излучении элементарного вертикального электрического диполя в плоском волноводе в интегральной форме.

5.2. Поле в дальней зоне волновода. Разложение по нормальным волнам плоского волновода. Уравнение полюсов. Фазовые скорости и коэффициенты затухания нормальных волн.

5.3. Поле в ближней зоне волновода. Разложение по лучам.

6. Распространение радиоволн в ионосфере

6.1. Поперечные электромагнитные волны в однородной изотропной плазме.

6.2. Нормальные волны в однородной магнитоактивной плазме.

6.3. Приближение геометрической оптики для слоистой изотропной плазмы. Уравнение эйконала. Траектории волн. Уравнение переноса.

6.4. Распространение поперечных электромагнитных волн в трёхмерно-неоднородной изотропной среде. Уравнения траекторий. Уравнение переноса.

6.5. Распространение нормальных волн в неоднородной магнитоактивной плазме. Уравнение эйконала. Уравнения траекторий. Поляризация нормальных волн. Уравнение переноса.

6.6. Вертикальное зондирование ионосферы. Действующая высота отражения. Ионограмма. Наклонное зондирование ионосферы. Максимальные и минимальные наблюдаемые частоты. Выбор целесообразного и оптимального решения.

7. Распространение радиоволн в тропосфере

7.1. Рефракция радиоволн. Приведённый показатель преломления и индекс рефракции. Эквивалентный радиус Земли. Рассеяние радиоволн неоднородностями тропосферы. Дальнее тропосферное распространение радиоволн.

7.2. Поглощение и рассеяние радиоволн гидрометеорами. Молекулярное поглощение радиоволн. Общие вопросы молекулярного поглощения. Вращательные спектры молекул. Коэффициент молекулярного поглощения. Форма спектральной линии, обусловленная молекулярными соударениями. Доплеровское уширение линий.

7.3. Методики расчётов ослабления радиоволн на вертикальных и наклонных трассах (большие и малые углы места). Астрономическая рефракция радиоволн. Модельные расчёты рефракции. Выбор целесообразного и оптимального решения. Цели и методы анализа, проектирования и оптимизации электрорадиотехнических систем.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций.

Промежуточная аттестация: очная форма – зачет, экзамен; очно-заочная форма – экзамен.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Подготовка к практическим и лекционным занятиям. Подготовка к прохождению и прохождение испытаний промежуточной аттестации (экзамены).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	**Шкала оценивания сформированности компетенций**						
	плохо	**Неудовлетворительно**	**Удовлетворительно**	**хорошо**	**очень хорошо**	**отлично**	**превосходно**
	Не зачтено		**Зачтено**				
Знания	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объёме, превышающем программу подготовки.
Умения	Отсутствие	При решении	Продемонстри-	Продемонстри-	Продемонстри-	Продемонстри-	Продемонстри-

	минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	рованы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объёме.	рованы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объёме, но некоторые с недочётами.	рованы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объёме, но некоторые с недочётами.	рованы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочётами, выполнены все задания в полном объёме.	рованы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объёме без недочётов
Навыки	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочётами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочётами.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочётов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочётов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
Не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1. Вопросы к экзаменам

Вопросы	Код формируемой компетенции
1) Описание переменного электромагнитного поля в общем случае. Дифференциальные уравнения второго порядка для электрического и магнитного полей.	ПК-1
2) Описание переменного электромагнитного поля с помощью скалярного и векторного потенциалов. Градиентная инвариантность. Условие калибровки Лоренца.	ПК-1
3) Волновые уравнения для потенциалов. Вектор Герца. Магнитные потенциалы.	ПК-1
4) Гармонические процессы. Комплексная запись полей и уравнений Максвелла. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Связь комплексных полей с потенциалами.	ПК-1
5) Комплексная теорема Пойнтинга.	ПК-1
6) Теорема единственности решения уравнений Максвелла для гармонических полей.	ПК-1
7) Квазистационарные процессы в проводящих средах. Распределение переменных полей и токов в проводящем полупространстве. Скин-эффект.	ПК-1
8) Граничные условия Леонтовича. Энергетические соотношения при скин-эффекте.	ПК-1
9) Квазистационарные процессы в квазилинейных цепях с сосредоточенными параметрами. Возможность пренебрежения запаздыванием передачи взаимодействия и выделение зоны квазистатики.	ПК-1
10) Законы Кирхгофа для цепей с переменными токами.	ПК-1
11) Однородные плоские волны в непоглощающей изотропной среде. Дисперсионное соотношение. Поляризация волны, длина волны, фазовая скорость, характеристический импеданс, плотность потока энергии.	ПК-1
12) Неоднородные плоские волны в непоглощающей изотропной среде (волны с комплексным волновым вектором). Дисперсионное соотношение. Поляризация волны, длина волны, фазовая скорость, поперечный характеристический импеданс, плотность потока энергии.	ПК-1
13) Плоские волны в поглощающей изотропной среде. Выражение для комплексного волнового числа при наличии поглощения.	ПК-1
14) Неоднородная плоская волна как суперпозиция двух однородных плоских волн. Поляризация поля, длина волны, фазовая скорость, поперечный характеристический импеданс, плотность потока энергии.	ПК-1
15) Конструирование поля в волноводе из однородных плоских волн (на примере волн типа ТЕ прямоугольного волновода).	ПК-1
16) Изотропные среды с временной дисперсией. Связь между индукцией и напряженностью поля. Мощность джоулевых потерь в среде с временной дисперсией.	ПК-1
17) Квазимонохроматические процессы. Энергия поля в среде с временной дисперсией.	ПК-1
18) Распространение импульсного сигнала в среде с временной дисперсией. Групповая скорость.	ПК-1

19) Диффузионное уравнение для огибающей импульса в среде с временной дисперсией. Расплывание импульса при распространении.	ПК-1
20) Нормальное падение плоской волны на плоскую границу раздела двух сред. Выражения для коэффициентов отражения и прохождения.	ПК-1
21) Формула пересчета импеданса. Коэффициент отражения от плоскопараллельной пластины.	ПК-1
22) Законы отражения и преломления плоских волн на плоской границе раздела двух однородных сред (закон Снелля).	ПК-1
23) Наклонное падение плоских волн на плоскую границу раздела двух сред. Выражения коэффициентов отражения и прохождения через поперечные волновые импедансы (формулы Френеля).	ПК-1
24) Эффект Брюстера. Угол Брюстера.	ПК-1
25) Полное внутреннее отражение. Возникновение неоднородных плоских волн при полном отражении.	ПК-1
26) Функция Грина неоднородного волнового уравнения при произвольной зависимости от времени.	ПК-1
27) Функция Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения при гармонической зависимости от времени. Представление векторного потенциала в виде интеграла по области источников. Условие излучения.	ПК-1
28) Общее решение неоднородного волнового уравнения при произвольной зависимости от времени. Представление потенциалов в виде интегралов по области источников.	ПК-1
29) Элементарный электрический вибратор (диполь Герца). Общее выражение для поля излучения. Структура поля в квазистатической и волновой зонах.	ПК-1
30) Диаграмма направленности излучения по мощности. Сопротивление излучения. Выражения для диаграммы направленности, полной мощности излучения и сопротивления излучения элементарного электрического вибратора.	ПК-1
31) Элементарный магнитный диполь. Структура поля в волновой зоне, диаграмма направленности и полная мощность излучения. Сопротивление излучения кругового витка малых электрических размеров.	ПК-1
32) Общее представление поля излучения произвольной системы заданных гармонических токов в дальней зоне. Вектор излучения.	ПК-1
33) Основные характеристики направленности излучающей системы (диаграмма направленности, коэффициент направленного действия). Общее выражение для диаграммы направленности излучения произвольной системы гармонических токов.	ПК-1
1) Электрические свойства почвы. Комплексная диэлектрическая проницаемость.	ПК-1
2) Характеристический импеданс. Приведенный поверхностный импеданс.	ПК-1
3) Коэффициенты отражения Френеля для ТМ- и ТЕ-волн.	ПК-1
4) Излучение вертикального электрического диполя, расположенного вблизи плоской поверхности Земли. Постановка задачи и решение в интегральной форме.	ПК-1
5) Области, существенные для распространения и отражения радиоволн.	ПК-1
6) Отражательные формулы.	ПК-1
7) Формула Введенского.	ПК-1
8) Функция ослабления (определение, интегральное уравнение для функции ослабления).	ПК-1
9) Численное расстояние. Функция ослабления для малых и больших численных расстояний.	ПК-1

10) Отражение радиоволн от шероховатой поверхности. Критерий Релея.	ПК-1
11) Дифракция радиоволн на крае плоского экрана. Приближение Кирхгофа.	ПК-1
12) Дифракция радиоволн на одиночном препятствии. Усиление препятствием.	ПК-1
13) Основы геометрической теории дифракции.	ПК-1
14) Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Постановка задачи. Решение в интегральной форме.	ПК-1
15) Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в дальней зоне.	ПК-1
16) Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в ближней зоне.	ПК-1
17) Дисперсионное уравнение для поперечных волн в холодной изотропной плазме.	ПК-1
18) Характеристики нормальных волн в однородной магнитоактивной плазме.	ПК-1
19) Приближение геометрической оптики для поперечных электромагнитных волн в неоднородной изотропной плазме. Уравнение эйконала. Уравнения лучей.	ПК-1
20) Приближение геометрической оптики для поперечных электромагнитных волн в неоднородной изотропной плазме. Уравнение переноса.	ПК-1
21) Лучевое приближение для нормальных волн в неоднородной магнитоактивной плазме. Уравнение эйконала. Уравнения лучей. Поляризация нормальных волн.	ПК-1
22) Лучевое приближение для нормальных волн в неоднородной магнитоактивной плазме. Уравнение переноса.	ПК-1
23) Линейная трансформация нормальных волн.	ПК-1
24) Рефракция радиоволн в тропосфере. Приведенный показатель преломления и индекс рефракции.	ПК-1
25) Рассеяние радиоволн неоднородностями в тропосфере.	ПК-1
26) Поглощение и рассеяние радиоволн гидрометеорами.	ПК-1
27) Молекулярное поглощение радиоволн.	ПК-1
28) Цели и методы анализа, проектирования и оптимизации электрорадиотехнических систем. Выбор целесообразного и оптимального решения.	ПК-1

5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки компетенции ПК-1

В каждом из предлагаемых ниже заданий выберите один (правильный по Вашему мнению) ответ из четырех предлагаемых Вам вариантов:

1. Материальные уравнения для линейной изотропной среды без дисперсии записываются в виде	а) $\boldsymbol{D} = \varepsilon \boldsymbol{E},\ \boldsymbol{B} = \mu \boldsymbol{H}$ б) $\boldsymbol{D} = \mu \boldsymbol{E},\ \boldsymbol{B} = \varepsilon \boldsymbol{H}$	в) $\boldsymbol{E} = \varepsilon \boldsymbol{D},\ \boldsymbol{B} = \mu \boldsymbol{H}$ г) $\boldsymbol{D} = \varepsilon \boldsymbol{E},\ \boldsymbol{H} = \mu \boldsymbol{B}$
2. Связь скалярного потенциала с напряженностью электростатического поля имеет вид	а) $\boldsymbol{E} = \varepsilon \nabla \varphi$ б) $\boldsymbol{E} = -\varepsilon \nabla \varphi$	в) $\boldsymbol{E} = \nabla \varphi$ г) $\boldsymbol{E} = -\nabla \varphi$
3. Уравнение непрерывности в дифференциальной форме записывается в виде	а) $\operatorname{div} \boldsymbol{D} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ б) $\operatorname{div} \boldsymbol{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$	в) $\operatorname{div} \boldsymbol{j} - \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ г) $\operatorname{div} \boldsymbol{D} - \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$
4. Связь векторного потенциала с индукцией магнитного поля имеет вид	а) $\boldsymbol{B} = \mu \operatorname{rot} \boldsymbol{A}$	в) $\boldsymbol{B} = \operatorname{rot} \boldsymbol{A}$

	б) $\boldsymbol{B} = -\mathrm{rot}\,\boldsymbol{A}$	г) $\boldsymbol{B} = -\mu\mathrm{rot}\,\boldsymbol{A}$
5. Дисперсионное уравнение для однородной плоской волны записывается в виде	а) $k = \frac{\omega}{c\sqrt{\varepsilon\mu}}$ б) $k = \frac{c}{\omega\sqrt{\varepsilon\mu}}$	в) $k = \frac{c}{\omega}\sqrt{\varepsilon\mu}$ г) $k = \frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon\mu}$
6. Фазовая скорость однородной плоской волны имеет вид	а) $V_ф = \frac{\omega}{k\sqrt{\varepsilon\mu}}$ б) $V_ф = \frac{\omega}{k}$	в) $V_ф = \frac{k}{\omega}$ г) $V_ф = \frac{k}{\omega\sqrt{\varepsilon\mu}}$
7. Толщина скин-слоя определяется формулой	а) $\delta = \frac{c}{\sqrt{2\pi\sigma\mu\omega}}$ б) $\delta = \sqrt{2\pi\sigma\mu\omega}$	в) $\delta = \frac{\sqrt{2\pi\sigma\mu\omega}}{c}$ г) $\delta = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma\mu\omega}}$

В каждом из предлагаемых ниже заданий выберите один (правильный по Вашему мнению) ответ из трёх предлагаемых Вам вариантов:

1. Потери в канале связи	А) $L = P_R / P_T$; Б) $L = P_T / P_R$; В) $L = 10\lg(P_R / P_T)$;
2. Дистанционное уравнение в свободном пространстве	А) $P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda}{(4\pi r)^2}$; Б) $P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi r)^4}$; В) $P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi r)^2}$;
3. Мощность сигнала на больших расстояниях от источника при распространении вдоль земной поверхности	А) $P_R = P_T \frac{G_T G_R h_1^2 h_2^2}{r^4}$; Б) $P_R = P_T \frac{G_T G_R h_1^2 h_2^2}{r^2}$; В) $P_R = P_T \frac{G_T G_R h_1 h_2}{r}$;
4. Функция ослабления при малых численных расстояниях	А) $w = \left(1 + 2i\sqrt{\pi s r}\right)$; Б) $w = 2\left(1 + i\sqrt{\pi s r}\right)$; В) $w = 2(1 + 2i\pi s r)$;
5. Функция ослабления при больших численных расстояниях	А) $w = 1/sr$; Б) $w = -1/sr$; В) $w = -2/sr$;
6. Зависимость амплитуды нормальной волны в волноводе Земля-ионосфера от расстояния	А) $r^{-1/2}$; Б) r^{-1}; В) r^{-2};
7. Показатель преломления электромагнитной волны в холодной изотропной бесстолкновительной плазме	А) $n = \sqrt{1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}}$; Б) $n = \sqrt{1 - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\nu)}}$

	В) $n=\sqrt{1-\frac{\omega_p^2}{(\omega+i\nu)^2}}$;

5.2.3. Вопросы практических занятий для оценки компетенции ПК-1

1) Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Уравнение непрерывности. Материальные уравнения.

2) Принцип суперпозиции решения уравнений Максвелла. Принцип двойственности. Закон сохранения заряда.

3) Постулаты, связывающие электромагнитные явления с механическими (плотность энергии или сила Лоренца).

4) Граничные условия для полей (вывод из уравнений Максвелла). Понятие поверхностных зарядов и токов.

5) Теорема Пойнтинга. Энергия электромагнитного поля. Плотность потока энергии. Джоулевы потери.

6) Теорема единственности решения уравнений Максвелла при заданных начальных и граничных условиях.

7) Уравнения, описывающие электростатическое поле. Скалярный потенциал. Уравнения Пуассона и Лапласа. Общее уравнение для потенциала в неоднородном диэлектрике. Граничные условия для потенциала на поверхностях диэлектриков и проводников.

8) Теорема о минимуме и максимуме потенциала. Теорема Ирншоу. Теорема взаимности в электростатике.

9) Прямая задача электростатики для безграничной однородной среды. Функция Грина. Общее решение уравнения Пуассона. Поле произвольного ограниченного распределения зарядов. Потенциал двойного слоя.

10) Поле произвольной системы зарядов на большом расстоянии от нее. Разложение по мультиполям. Понятие дипольного момента.

11) Методы решения прямой задачи при наличии проводников и диэлектриков. Конструктивные методы: металлизация эквипотенциальных поверхностей; метод изображений.

12) Метод заполнения при решении прямой задачи электростатики.

13) Задача о диэлектрическом шаре в однородном внешнем электрическом поле. Дипольные моменты диэлектрического и идеально проводящего шаров.

14) Линейные соотношения между зарядами и потенциалами проводников. Потенциальные и емкостные коэффициенты.

15) Энергия электростатического поля. Представление энергии в виде интеграла по области источников. Собственная энергия различных подсистем и энергия их взаимодействия.

16) Энергия системы проводников. Энергия взаимодействия внешнего поля с точечным зарядом или точечным диполем. Теорема Томсона (без доказательства).

17) Силы в электростатическом поле. Энергетический метод расчёта обобщенных сил. Выражение для силы в системе проводников с постоянными зарядами или постоянными потенциалами.

18) Сила, действующая на заряд и диполь во внешнем поле; момент сил, действующих на диполь.

19) Плотность силы, действующей на поверхность проводника в электростатическом поле. Объемная плотность силы в диэлектрике. Случай линейной зависимости диэлектрической проницаемости от плотности вещества.

20) Уравнения теории постоянных токов в проводящей среде. Граничные условия для плотности тока. Понятие идеального электрода и идеального изолятора. Формальная аналогия с электростатикой.

21) Уравнения, описывающие магнитное поле постоянных токов. Векторный потенциал. Уравнения для векторного потенциала в однородной среде и его решение. Закон Био-Савара.

22) Поле произвольной системы токов на большом расстоянии от нее. Разложение по мультиполям. Понятие магнитного дипольного момента. Поле магнитного диполя.

23) Скалярный потенциал магнитного поля. Магнитный листок как эквивалент линейного контура с током. Аналогия между магнитостатическими и электростатическими полями как проявление принципа двойственности.

24) Энергия и силы в магнитном поле. Представление энергии в виде интеграла по области источников. Энергия системы квазилинейных токов. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции.

25) Сила, действующая на элемент квазилинейного контура с током. Сила и вращающий момент, действующие на магнитный диполь. Плотность объёмной силы в магнитном поле.

26) Запись основных дифференциальных операций векторного анализа (градиент, дивергенция, ротор, лапласиан) с помощью оператора «набла» и в декартовых координатах.
27) Уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах.
28) Граничные условия для тангенциальных и нормальных компонент полей в общем случае.
29) Закон сохранения заряда.
30) Уравнение Максвелла в комплексной форме; комплексная диэлектрическая проницаемость.
31) Скин-эффект; толщина скин-слоя (глубина проникновения тока и поля в проводник).
32) Запись выражений для плоской волны в векторной форме и в проекциях на оси декартовой системы координат.
33) Дисперсионное уравнение для однородной плоской волны. Определение фазовой и групповой скорости.
34) Законы отражения и преломления на плоской границе раздела двух сред (законы Снелля).
35) Формулы Френеля в случае нормального падения.
36) Общее выражение для векторного потенциала заданного распределения произвольных во времени и гармонических токов.
37) Выражение для векторного потенциала заданного распределения гармонических токов в зоне Фраунгофера.
38) Поле элементарного электрического диполя.
39) Диаграмма направленности излучения (по мощности).
40) Область, существенная для распространения радиоволн.
41) Характеристический импеданс. Приведённый поверхностный импеданс.
42) Коэффициенты отражения Френеля для ТМ- и ТЕ-волн.
43) Отражательные формулы. Область, существенная для отражения волн.
44) Формула Введенского.
45) Функция ослабления (определение).
46) Численное расстояние. Функция ослабления для малых и больших численных расстояний.
47) Отражение радиоволн от шероховатой поверхности. Критерий Релея.
48) Дифракция радиоволн на крае плоского экрана. Приближение Кирхгофа.
49) Дифракция радиоволн на одиночном препятствии. Усиление препятствием.
50) Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в дальней зоне.
51) Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в ближней зоне.
52) Дисперсионное уравнение для поперечных волн в холодной изотропной плазме.
53) Характеристики нормальных волн в однородной магнитоактивной плазме.
54) Приближение геометрической оптики для поперечных электромагнитных волн в неоднородной изотропной плазме. Уравнение эйконала. Уравнения лучей.

55) Лучевое приближение для нормальных волн в неоднородной магнитоактивной плазме. Уравнение эйконала. Уравнения лучей. Поляризация нормальных волн.
56) Рефракция радиоволн в тропосфере. Приведённый показатель преломления и индекс рефракции.
57) Рассеяние радиоволн неоднородностями в тропосфере.
58) Астрономическая рефракция радиоволн.
59) Цели и методы анализа, проектирования и оптимизации электрорадиотехнических систем.

5.2.4. Задачи практических занятий для оценки компетенции ПК-1

Задача 1.

Какими источниками создается в пустоте следующее одномерное распределение потенциала φ?

$$\varphi(x)=\begin{cases}0, \text{при } x<0 \text{ и } x>x_2;\\ Cx, \text{при } 0<x<x_1;\\ Cx_1, \text{при } x_1<x<x_2,\end{cases}$$

C – константа; x – декартова координата.

Построить качественно графики зависимости потенциала φ, проекции поля E_x и объемной плотности заряда ρ от x.

Задача 2.

Каким источником создается в пустоте следующее двумерное распределение потенциала φ:

$$\varphi(x,y)=\begin{cases}C(x^2-y^2)\,при\,|x^2-y^2|<a^2;\\ Ca^2\,при\,x^2-y^2>a^2;\\ -Ca^2\,при\,y^2-x^2>a^2,\end{cases}$$

C, a – константы; x, y – декартовы координаты. Найти электрическое поле **E** и нарисовать картину силовых линий.

Задача 3.

Какими источниками создается в пустоте следующее трёхмерное распределение потенциала $\varphi(r,\theta)$? (r – модуль радиус-вектора, θ – полярный угол, образуемый радиус-вектором с осью Oz; C, α – константы):

$\varphi(r,\theta)= C\, r^{-1}\exp(-\alpha r)$.

Задача 4.

Заряд q распределен равномерно по длине окружности радиуса a, лежащей на плоскости Oxy. Центр окружности совпадает с началом координат. Найти потенциал $\varphi(z)$ и электрическое поле $E_z(z)$ на оси z. Определить, в какой точке на оси поле имеет максимум и найти значения поля и потенциала в этой точке.

Задача 5.

Поверхностный заряд распределен равномерно с плотностью Ω по площади круга радиуса a, лежащего в плоскости xy. Центр круга совпадает с началом координат. Найти потенциал и электрическое поле на оси z.

Задача 6.

Найти разность потенциалов $U = \varphi_1 - \varphi_2$ между двумя незаряженными проводящими концентрическими сферами, создаваемую точечным зарядом q, расположенным на расстоянии b от центра. Радиусы сфер r_1 и r_2. Рассмотреть случаи: 1) $b < r_1 < r_2$; 2) $r_1 < b < r_2$; 3) $r_1 < r_2 < b$.

Задача 7.

Точечный заряд q находится на расстоянии r от центра O сферической диэлектрической оболочки с проницаемостью ε; внутренний и внешний радиусы оболочки – a и b. Найти потенциал $\varphi(O)$ в центре оболочки. Рассмотреть три случая:

1) $r > b$; 2) $a < r < b$; 3) $r < a$.

Задача 8.

Найти распределение плотности заряда Ω по поверхности проводящей сферы радиуса a, внесенной во внешнее однородное поле $\mathbf{E_0}$.

Задача 9.

Двугранный угол θ_0 образован двумя заряженными идеально проводящими полуплоскостями, имеющими одинаковый потенциал $\varphi = 0$. Получить и исследовать выражения для потенциала и поля во внутренней и внешней областях угла, которые при $\theta_0 = \pi$ переходят в соответствующие выражения для равномерно заряженной плоскости.

Задача 10.

Плоский конденсатор образован двумя одинаковыми прямоугольными пластинами с размерами a и b и расстоянием между ними d. Пространство между пластинами заполнено неоднородным диэлектриком. Найти емкость конденсатора, пренебрегая краевым эффектом, для случаев, когда зависимость диэлектрической проницаемости ε от координат задана в виде:

1) $\varepsilon = \varepsilon(x)$; 2) $\varepsilon = \varepsilon(y)$ (ось x параллельна одной из сторон пластин, ось y перпендикулярна пластинам).

Задача 11.

Через границу раздела сред с различными значениями проводимости (σ_1, σ_2) и диэлектрической проницаемости (ε_1, ε_2) течёт ток с нормальной компонентой плотности j_n. Найти плотность поверхностного заряда Ω на границе.

Задача 12.

Идеальный сферический электрод радиуса a погружен наполовину в электролит с проводимостью σ. Найти сопротивление электролита между электродом и бесконечностью R и распределение тока в нем $\mathbf{j}$.

Задача 13.

Концы двух тонких проволочек касаются горизонтальной поверхности электролита, налитого в широкий и глубокий сосуд. Между ними пропущен ток силы I. Найти плотность тока $\mathbf{j}$ в электролите.

Задача 14.

Найти магнитное поле $\mathbf{H}$, создаваемое током с плотностью $\mathbf{j} = \mathbf{z}_0 j_0 \exp(-\alpha r^2)$, где r - расстояние до оси, α - константа.

Задача 15.

Найти магнитное поле $\mathbf{H}$ и векторный потенциал $\mathbf{A}$, создаваемые током, текущим с постоянной поверхностной плотностью i по поверхности бесконечного цилиндра радиуса a в направлении:

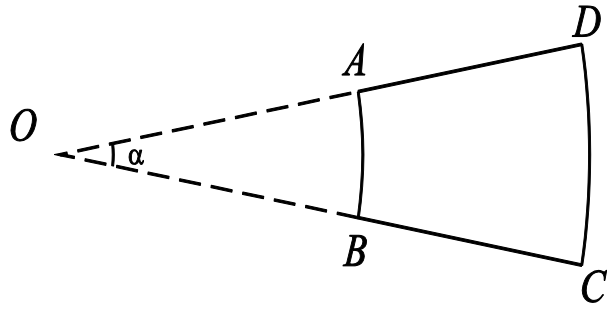
а) вдоль образующей цилиндра;

б) перпендикулярно образующей;

в) под углом α к образующей.

Задача 16.

Плоский линейный контур *ABCD* (см. рис.) образован двумя концентрическими дугами *AB* и *DC* с центром в точке *O* и радиальными отрезками *AD* и *BC*. Угловой размер дуг α, их радиусы $OA = r_1$, $OD = r_2$. По контуру течет ток силы *I*. Найти магнитное поле в точке *O* и на больших расстояниях от этой точки $r >> r_2$ в плоскости контура.



Задача 17.

Найти магнитное поле тонкого прямого провода, лежащего на плоской границе раздела сред с проницаемостями μ_1 и μ_2. Сила тока в проводе *I*.

5.2.5. Задачи для экзаменов

ЧАСТЬ I

Задача 1.

Найти распределение переменного электрического поля $\mathbf{E}(x)e^{i\omega t}$ внутри проводящего плоского слоя толщины $2a$ с проводимостью $\sigma >> \omega$ и магнитной проницаемостью μ. На границах слоя ($x=\pm a$) задана амплитуда тангенциальной компоненты поля: $E_y(-a)=E_y(a)=E_0$.

Задача 2.

Найти распределение переменного электрического поля $\mathbf{E}(x)e^{i\omega}$ внутри проводящего плоского слоя толщины $2a$ с проводимостью $\sigma >> \omega$ и магнитной проницаемостью μ. На одной границе слоя задана амплитуда тангенциальной компоненты поля $E_y(-a)=E_0$, а на другой границе лежит идеально проводящий лист.

Задача 3.

Найти распределение переменного электрического поля $\mathbf{E}(x)e^{i\omega}$ внутри проводящего плоского слоя толщины a с проводимостью $\sigma >> \omega$ и магнитной проницаемостью μ. На одной границе слоя ($x=-a$) задана амплитуда тангенциальной компоненты поля $E_y(-a)=E_0$, а на другой границе ($x=0$) задан поверхностный импеданс $\zeta_s=E_y(0)/H_z(0)=1$.

Задача 4.

Плоский конденсатор с круглыми пластинами подключен к источнику переменного напряжения $U=U_0\sin(\omega t)$. Найти магнитное поле внутри конденсатора **H** при условии $d << a << c/\omega$, где d – расстояние между пластинами, a – радиус пластин, c – скорость света.

Задача 5.

Бесконечный соленоид с числом витков в обмотке на единицу длины n питается переменным током $I=I_0\sin(\omega t)$. Найти электрическое поле **E** внутри соленоида при условии $a<<c/\omega$ (a – радиус соленоида).

Задача 6.

Найти магнитное поле **H** в ближней зоне (на расстоянии $r<<\lambda$) переменного электрического диполя с моментом $\mathbf{p}=\mathbf{p}_0 e^{i\omega t}$.

Задача 7.

Записать выражения для проекций электрического и магнитного полей в виде явных зависимостей от координат x, y, z и времени t для плоской волны $\mathbf{E} = \mathbf{E_0}e^{i(\omega t-\mathbf{kr})}$, у которой векторы $\mathbf{E_0}$ и **k** лежат в плоскости (x z), и задан угол α между $\mathbf{z_0}$ и **k**.

Задача 8.

Выразить амплитуды электрического и магнитного полей гармонической плоской однородной волны E_0 и H_0 в среде с проницаемостями ε и μ через среднюю за период плотность потока энергии S.

Задача 9.

Электромагнитное поле представляет собой суперпозицию двух гармонических плоских однородных волн с одинаковыми частотами и амплитудами. Векторы электрического поля в обеих волнах параллельны оси x. Волновые векторы $\mathbf{k_1}$ и $\mathbf{k_2}$ лежат в плоскости (y z), причем $k_{1z} = k_{2z}$, $k_{1y} = -k_{2y}$. Написать выражения для компонент суммарного поля.

Задача 10.

Найти магнитное поле **H** неоднородной плоской волны в среде с проницаемостями ε и μ, если электрическое поле волны задано в виде $\mathbf{E}= \mathbf{y_0}E_0 \exp(i(\omega t-hz)-\kappa x)$. Каким образом связаны между собой параметры ω, h, κ, ε, μ?

Задача 11.

Найти и изобразить графически зависимость переменного поля частоты ω от координаты x в вакууме, если известно, что от y поле не зависит, а его зависимость от переменных z, t представляет собой волну, бегущую с фазовой скоростью $v^{(z)}$. Рассмотреть случаи: $v^{(z)}>c$, $v^{(z)}<c$, $v^{(z)}=c$.

Задача 12.

Определить диаграмму направленности тонкой антенны длины $2l$ с током $I_0e^{i\omega t}$. Ток вдоль антенны распределен равномерно.

ЧАСТЬ II.

Задача 1.

Передающая и приемная антенны удалены друг от друга на расстояние 20 км. Вычислить ослабление сигнала на пути от передатчика до приемника на частоте 900 МГц, если обе антенны имеют единичный коэффициент усиления.

Задача 2.

Напряженность поля, создаваемая изотропной антенной на расстоянии 1 км, составляет 2 мВ/м. Вычислить, какую мощность принимает антенна с коэффициентом направленного

действия, равном 8, удаленная на расстояние 3 км от передающей антенны. Частота радиоканала 100 МГц.

Задача 3.

Сравните уровень принимаемого сигнала и коэффициент ослабления двух радиолиний длиной 2 км, если одна из них работает на частоте 160 МГц, а другая - на частоте 850 МГц. Излучаемая мощность в обоих случаях составила 1 Вт. Коэффициент усиления всех антенн одинаков и составляет 4 дБ. Каким должно быть соотношение коэффициентов усиления передающих антенн, чтобы при прежних приемных антеннах создать одинаковую мощность в приемнике?

Задача 4.

Вертикальный электрический диполь находится на высоте $h = 3\lambda/2$ над плоской границей Земли. Считая, что ток в диполе меняется во времени по гармоническому закону, вычислить напряженности электрического и магнитного полей в зоне Фраунгофера и построить диаграмму направленности. Проводимость Земли считать бесконечно большой.

Задача 5.

Определить минимальную высоту подъема передающей и приемной антенн радиорелейной линии, считая их равными, при которой влиянием земной поверхности на поле прямой волны можно пренебречь. Расстояние между антеннами – 10 км, длина волны – 10 см.

Задача 6.

Определить минимальную рабочую частоту радиорелейной линии с антеннами, поднятыми на высоту 30 м над земной поверхностью и расположенными на расстоянии 10 км одна от другой, при которой влиянием земной поверхности на поле прямой волны можно пренебречь.

Задача 7.

Поле плоской монохроматической волны, распространяющейся в холодной изотропной плазме с концентрацией электронов N, спадает в e раз на расстоянии L. Найти эффективную частоту столкновений электронов плазмы с ионами и нейтральными частицами ν при условии $\omega >> \nu$, $\omega >> \omega_p$. Здесь ω – частота волны, ω_p – ленгмюровская частота.

Задача 8.

Слой однородной плазмы, ограниченный плоскостями $z = 0$ и $z = L$, находится в постоянном однородном магнитном поле с напряженностью $\vec{H}_0 = H_0\vec{e}_z$ ($\vec{e}_z$ – единичный орт оси z). При прохождении линейно поляризованной волны по нормали через слой угол поворота плоскости поляризации составил α рад. Считая, что частота волны удовлетворяет условию $\omega >> \omega_p >> \omega_B$, где ω_p – ленгмюровская частота, ω_B – гирочастота электронов, найти концентрацию электронов в слое.

Задача 9.

Рассчитать зависимость действующей высоты отражения обыкновенной волны в ионосфере от частоты в области геомагнитного экватора в предположении, что электронная концентрация в ионосфере изменяется с высотой z по закону $N(z) = N_0(z - h_0)/L$ где h_0 – высота нижней границы ионосферы, L – характерный масштаб неоднородности.

Задача 10.

Найти зависимость дальности распространения ионосферной волны с частотой ω от угла выхода луча с земной поверхности ϑ в предположении, что электронная концентрация в

ионосфере растет с высотой по линейному закону $N(z) = N_0(z - h_0)/L$, где h_0 – высота нижней границы ионосферы, L – характерный масштаб неоднородности.

Задача 11.

Рассчитать зависимость действующей высоты отражения радиоволны в ионосфере от частоты в предположении, что электронная концентрация в ионосфере изменяется с высотой z по закону $N(z) = N_0(z - h_0)/L$ где h_0 – высота нижней границы ионосферы, L – характерный масштаб неоднородности, а частота волны удовлетворяет условию $\omega >> \omega_B$, ω_B – гирочастота электронов.

Задача 12.

Найти зависимость времени распространения ионосферной волны с частотой ω от угла выхода луча с земной поверхности ϑ в предположении, что электронная концентрация в ионосфере растет с высотой z по линейному закону $N(z) = N_0(z - h_0)/L$, где h_0 – высота нижней границы ионосферы, L – характерный масштаб неоднородности.

Задача 13.

Найти фазовую и групповую скорости электромагнитной волны с правой круговой поляризацией, распространяющейся в магнитоактивной плазме вдоль внешнего магнитного поля.

Задача 14.

Найти фазовую и групповую скорости обыкновенной волны, распространяющейся в магнитоактивной плазме поперек внешнего магнитного поля.

Задача 15.

В однородной изотропной плазме распространяется плоская линейно поляризованная волна с частотой 1 МГц. Концентрация электронов в плазме 5·105 см-3, эффективная частота столкновений электронов с другими частицами 2·102 с-1. Определить затухание волны и набег фазы при прохождении волной в плазме расстояния в 1 км.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Фомин А.Н. Общая теория радиолокации и радионавигации. Распространение радиоволн [Электронный ресурс]: учебник / Фомин А.Н., Копылов В.А. – Красноярск: СФУ, 2017. – 318 с. - ISBN 978-5-7638-3738-4 –

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785763837384.html [29.09.2019]

2. Сомов А.М. Электродинамика [Электронный ресурс]: Учебное пособие. – М.: Горячая линия - Телеком, 2011. – 198 с. - ISBN 978-5-9912-0155-1 –

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201551.html [29.09.2019]

б) дополнительная литература:

1. Каганов В.И. Колебания и волны в природе и технике. Компьютеризированный курс [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2015. – 333 с. - ISBN 978-5-9912-0534-4 –

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991205344.html [29.09.2019]

2. Судаков В.Ф. Волны и направляющие структуры в электротехнике: учеб. пособие по курсу "Теоретические основы электротехники" [Электронный ресурс]. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 29 с.

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0457.html [29.09.2019]

3. Кравченко В.Ф. Рассеяние радиоволн морем и обнаружение объектов на его фоне [Электронный ресурс] / Кравченко В.Ф., Луценко В.И., Луценко И.В. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. – 448 с. - ISBN 978-5-922-1613-8 –
Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922116138.html [29.09.2019]

в) программное обеспечение лицензионное и свободно распространяемое

– Операционная система Microsoft Windows
– Пакет прикладных программ Microsoft Office
– Правовая система «Консультант плюс»
– Браузер Google Chrome

г) Интернет-ресурсы

– Известия вузов «Радиоэлектроника», https://re.eltech.ru/jour#
– http://электротехнический-портал.рф/kniga.html
– ЭБС «Юрайт». Режим доступа: http://biblio-online.ru
– ЭБС «Консультант студента». Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru
– ЭБС «Лань». Режим доступа: http://e.lanbook.com/
– ЭБС «Znanium.com». Режим доступа: www.znanium.com

д) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

– «Техэксперт» – профессиональные справочные системы http://техэксперт.рус/ [26.10.19]
– Радиотехнический сайт https://radiotract.ru/link_sprav.html
– Радиоэлектроника http://window.edu.ru/catalog/resources?p_str=Радиоэлектроника [26.10.19]
– Список сайтов по радиоэлектронике http://radiostorage.net/page/3-spisok-sajtov-po-radioelektronike.html [26.10.19]
– Банк изобретений, технологий и научных открытий: http://www.ntpo.com [26.10.19]
– Научная электронная библиотека www.elibrary.ru [26.10.19]
– База данных ВИНИТИ РАН http://www.viniti.ru/ [26.10.19]
– База данных рецензируемой литературы Scopus https://www.scopus.com [26.10.19]
– База данных Web of Science https://apps.webofknowledge.com [26.10.19]
– ГАРАНТ. Информационно-правовой-портал http://www.garant.ru/
– Правовая система «Консультант плюс»

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения, используемые при реализации дисциплины, представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий.

Лекционные и практические занятия проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийным оборудованием (мультимедиа-проектор, экран, компьютеры).

Помещения (аудитории) для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой, подключённой к сети «Интернет» и обеспеченной доступом в электронную информационно-образовательную среду вуза.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Автор: к.ф.-м.н., доцент В.А. Яшнов

Рецензент:
д.т.н., начальник отдела АО "Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения им. И. И. Африкантова" В.А. Панов

Программа утверждена на заседании объединённой методической комиссии Института открытого образования и филиалов университета, протокол № 13 от 29.04.2019 г.