

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского»

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДАЮ:

Декан радиофизического факультета \_\_\_\_\_ Матросов В.В.

« 29 » \_\_\_\_\_ июня 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Б1.В.05 Электродинамика

---

Уровень высшего образования  
специалитет

---

Направление подготовки / специальность  
10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем»

---

Направленность образовательной программы  
Системы подвижной цифровой защищенной связи

---

Квалификация (степень)  
специалист

---

Форма обучения  
очная

---

Нижний Новгород

2018

## 1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Электродинамика» относится к дисциплинам вариативной части основной профессиональной образовательной программы по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», преподается в 5 и 6 семестрах.

Программа лекционного курса опирается на знания, которые студенты должны иметь в результате изучения дисциплины «Физика» и модуля «Математика» (дисциплин «Математический анализ», «Алгебра и геометрия», «Векторный и тензорный анализ») из базовой части математического и естественно-научного цикла.

### Цели освоения дисциплины.

Основной целью изучения дисциплины является ознакомление студентов с фундаментальными понятиями, принципами и положениями электродинамики и прикладной электродинамики, изучение основных законов теории поля, свойств различных сред, закономерностей распространения электромагнитных волн в различных средах, методов расчета полей электромагнитных волн и колебаний в средах, а также полей электромагнитных волн в линиях передач и колебаний в резонаторах.

Освоение дисциплины «Электродинамика» является необходимым базовым образованием для изучения дисциплин «Антенны и распространение радиоволн», «Квантовая и оптическая электроника».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции  (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<b>Общепрофессиональные компетенции (ОПК)</b>	
<i>ПК-4</i>  способность участвовать в разработке компонентов телекоммуникационных систем  (этап освоения - начальный)	Знать: методы анализа физических явлений и процессов для формализации и решения задач электродинамики
	Уметь: анализировать физические явления и процессы для формализации и решения задач электродинамики
	Владеть: опытом применения анализа физических явлений и процессов для формализации и решения задач электродинамики
<i>ОПК-6</i>  способность применять	Знать: способы применения научных исследований в профессиональной деятельности

методы научных исследований в профессиональной деятельности  (этап освоения – начальный, базовый)	Уметь: применять методы научных исследований в профессиональной деятельности
	Владеть: опытом применения методов научных исследований в профессиональной деятельности

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 8 зачетных единиц, всего 288 часов, из которых 147 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (80 часов занятия лекционного типа, 48 часов занятия семинарского типа, 16 часов занятия лабораторного типа, в том числе 4 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости, 3 часа – мероприятия промежуточной аттестации), 141 час составляет самостоятельная работа обучающегося.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	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	
1. Введение.	5	2	1		3	2
2. Основные уравнения макроскопической электродинамики и общие свойства электромагнитных полей.	8	2			2	6
3. Электростатика.	38	14	8		22	16
4. Постоянные токи.	15	2	1		3	12
5. Магнитостатика.	27	8	4		12	15
6. Переменные электромагнитные поля. Общее описание.	16	4			4	12
7. Электродинамика квазистационарных процессов.	18	4	4		8	10

8. Волны в однородных средах.	18	4	4		8	10
9. Волны в неоднородных изотропных средах.	19	4	5		9	10
10. Излучение заданных источников в безграничной однородной изотропной среде.	15	4	5		9	6
11. Введение в прикладную электродинамику.	4	2			2	2
12. Электромагнитные волны, в направляющих системах (линиях передачи).	50	14	8	8	30	20
13. Собственные колебания в полых резонаторах.	16	6	2	2	10	6
14. Возбуждение волноводов и резонаторов заданными источниками.	15	4	5		9	6
15. Медленные волны.	9	2	1	2	5	4
16. Антенны.	12	4		4	8	4
В т.ч. текущий контроль	4		2	2	4	
Промежуточная аттестация: <b>экзамен, зачет</b>						

Содержание разделов дисциплины:

## ЧАСТЬ I. Электродинамика.

### Раздел 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.

Раздел 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 напряженностей 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

напряженностей 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.

### Раздел 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 нее. Разложение по мультиполям. Дипольный момент.

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. 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 емкостных коэффициентов. Понятие емкости. 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 расчета обобщенных 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. Объемная плотность силы в жидком диэлектрике.

#### Раздел 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.

#### Раздел 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 нее. Магнитный дипольный момент. Поле магнитного диполя.

5.3. Скалярный потенциал магнитного поля. Аналогия между магнитостатическими и электростатическими полями как проявление принципа двойственности.

5.4. Поля, создаваемые намагниченными телами. Замена намагниченности эквивалентными электрическими токами или магнитными зарядами.

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 объемной силы и тензор натяжений магнитного поля в среде.

## Раздел 6. Переменные электромагнитные поля. Общее описание

6.1. Описание переменного электромагнитного поля в общем случае. Дифференциальные уравнения второго порядка для электромагнитных полей. Описание с помощью потенциалов. 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. Комплексная теорема Пойнтинга. Теорема единственности решения уравнений Максвелла для гармонических полей.

## Раздел 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.

## Раздел 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.

8.3. Электромагнитный волновой пучок. Представление в виде суперпозиции однородных плоских волн. Малоугловое (параксиальное) приближение (квазиоптический пучок). Зона геометрической оптики (прожекторная зона). Зона Френеля и диффузионная зона.

8.4. Изотропные среды с временной дисперсией. Связь между индукцией и напряженностью 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.

## Раздел 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 пересчета 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.

Раздел 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.

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.

10.3. Общее представление поля излучения произвольной системы заданных гармонических токов в дальней зоне. Основные характеристики направленности излучающей системы.

ЧАСТЬ II. Прикладная электродинамика.

Раздел 1. Введение.

1.1. Общая характеристика и практическое значение теории электромагнитных волновых процессов в сплошных средах. Краевые задачи электродинамики при наличии проводников и диэлектриков. Общий план построения курса.

Раздел 2. Электромагнитные волны в направляющих системах (линиях передачи).

2.1. Общее решение уравнений Максвелла для монохроматических направляемых волн. Выражение векторов поля нормальных волн в линии передачи через скалярные функции поперечных координат. Классификация направляемых волн и линий передачи; волны типов ТЕ, ТМ и ТЕМ; гибридные волны; быстрые и медленные волны; открытые и закрытые линии передачи. Двумерное уравнение Гельмгольца. Поперечное и продольное волновые числа.

2.2. Общие свойства волн в линиях передачи с идеально проводящими границами. Граничные условия для поперечных волновых функций. Формулировка и общая характеристика решений краевых задач для волн различных типов. Действительность спектра поперечных волновых чисел. Дисперсионные уравнения. Режимы распространения и запираания. Критические частоты. Длина волны, фазовая и групповая скорости. Характеристический импеданс. Мощность, переносимая волной. Соотношения ортогональности и аддитивность потоков энергии парциальных волн. Условия существования главных (ТЕМ) волн.

2.3. Линии передачи конкретного вида; прямоугольный и круглый волноводы, коаксиальный кабель, двухпроводная и полосковая линии. Спектры поперечных волновых чисел; критические частоты и длины волн. Структура поля волн низших типов. Представление полей волновых мод в виде суперпозиции плоских волн в свободном пространстве (концепция Бриллюена).

2.4. Затухание волн в неидеальной линии передачи. Потери энергии в среде, заполняющей волновод. Потери энергии в стенках волновода; скин-эффект; граничное условие Леонтовича; поверхностный импеданс стенки.



2.5. Описание главных (ТЕМ) волн в линии передачи в терминах тока и напряжения. Эквивалентные погонные параметры и волновое сопротивление линии. Телеграфные уравнения. Отражение волны от нагрузки; преобразование импедансов; согласование линии с нагрузкой.

### Раздел 3. Электромагнитные колебания в полых резонаторах.

3.1. Общая постановка задачи о собственных колебаниях в резонаторах с идеально проводящими стенками. Основные свойства полей нормальных (собственных) колебаний; действительность спектра собственных частот; равенство средних значений электрической и магнитной энергии; соотношения ортогональности.

3.2. Резонаторы, представляющие собой отрезки линий передачи. Структура поля и спектры собственных частот колебаний в прямоугольном, цилиндрическом и коаксиальном резонаторах. Квазистационарные резонаторы. Поля и собственные частоты тороидального и магнетронного резонаторов.

3.3. Затухание собственных колебаний в резонаторах. Расчет декрементов затухания, обусловленного потерями энергии в заполняющей среде и в стенках резонатора. Добротность колебаний.

### Раздел 4. Возбуждение волноводов и резонаторов заданными источниками.

4.1. Лемма Лоренца и теорема взаимности для монохроматического электромагнитного поля, создаваемого произвольными системами электрических и магнитных токов.

4.2. Поля, создаваемые в линиях передачи сторонними монохроматическими токами. Представлений полей в виде суперпозиции собственных мод. Расчет амплитуд возбуждаемых волн с помощью леммы Лоренца. Поля внутри и вне области источников. Способы возбуждения волноводов.

4.3. Вынужденные электромагнитные колебания, возбуждаемые сторонними монохроматическими токами в полых резонаторах. Вихревые и потенциальные поля. Разложение вихревых полей по собственным модам резонатора. Резонансные спектры идеального и неидеального резонаторов. Способы возбуждения резонаторов.

### Раздел 5. Медленные волны.

5.1 Линии передачи, направляющие медленные (поверхностные) волны. Классификация замедляющих систем. Волны в диэлектрическом слое и в круглом диэлектрическом стержне; волоконный световод. Поверхностная волна

### Раздел 6. Антенны.

6.1. Электродинамические основы теории антенн. Лемма Лоренца, теорема взаимности, теорема эквивалентности, принцип Гюйгенса-Френеля.

6.2. Элементы теории антенн. Назначение и классификация антенн. Параметры антенн. Вибраторные и щелевые антенны: электрический и магнитный вибратор. Основы методов эквивалентных схем и тонкой антенны. Численные методы анализа вибраторных антенн. Антенны бегущей волны. Апертурные антенны: рупорная антенна, зеркальная антенна.

Лабораторный практикум

№п/п	№ части и раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1.	I, 7	Электромагнитное экранирование
2.	I, 8	Замедляющие системы
3.	I, 10	Рупорная антенна
4.	I, 10	Спиральная волноводно-щелевая антенна с частотным качанием луча
5.	II, 2	Измерение импедансов нагрузок при помощи измерительной линии
6.	II, 2	Ферритовые устройства СВЧ диапазона
7.	II, 2,3	Измерение параметров шестиполусников
8.	II, 3,4	Исследование отражательного клистрона
9.	II, 5	Замедляющие системы типа гребенки

#### 4. Образовательные технологии

Для реализации компетентного подхода и стимулирования самостоятельной работы обучающихся предусмотрено проведение интерактивных форм занятий в виде семинаров по современным проблемам радиофизики в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

#### 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

1. Для самостоятельной работы к каждому занятию студентам предлагается выполнить домашнее задание в виде практических задач. Контроль выполнения самостоятельной работы проводится в рамках каждого практического занятия.
2. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.
3. Еженедельно текст каждой прочитанной лекции предлагается студентам для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы.

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведен в таблице.

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>ПК-4</b> <i>способность участвовать в разработке компонентов телекоммуникационных систем</i>							
Знать: методы анализа физических явлений и процессов для формализации и решения задач электродинамики	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 объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки
Уметь: анализировать физические явления и процессы для формализации и решения задач электродинамики	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Владеть: опытом применения анализа физических явлений и процессов для формализации и решения задач электродинамики	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 недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

ОПК-6 способность применять методы научных исследований в профессиональной деятельности							
Знать: способы применения научных исследований в профессиональной деятельности	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 объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки
Уметь: применять методы научных исследований в профессиональной деятельности	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Владеть: опытом применения методов научных исследований в профессиональной деятельности	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 недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

## 6.2. Описание шкал оценивания.

В соответствии с учебным планом подготовки предусмотрена процедура аттестации обучающихся в форме экзамена в конце 5-го семестра с семибалльной шкалой оценивания и зачета в конце 6-го семестра, шкала оценивания которого имеет два значения: зачет, не зачет.

*Критерии оценок для экзамена:*

Оценка	Уровень подготовки в целом
Превосходно	Превосходная подготовка с очень незначительными погрешностями.
Отлично	Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с некоторыми ошибками.

Очень хорошо	В целом хорошая подготовка с рядом заметных ошибок.
Хорошо	Хорошая подготовка, но со значительными ошибками.
Удовлетворительно	Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям.
Неудовлетворительно	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
Плохо	Подготовка совершенно недостаточная.

*Критерии оценок для зачета:*

Оценка	Уровень подготовки в целом
Зачтено	Обучающийся после подготовки с использованием конспекта лекций может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, знает основные понятия и определения из материала дисциплины.
Не зачтено	Обучающийся после подготовки с использованием конспекта лекций не может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, либо не знает основные понятия и определения из материала дисциплины.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций.

Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний и умений используется индивидуальное собеседование по теоретическим вопросам билета, в которых обучающемуся предлагается изложить части из разделов содержания дисциплины.

Для оценивания итогов обучения в виде умений и владений используются практические контрольные задания в виде краткой формулировки действий, которые следует выполнить для получения решения предложенной задачи, или описания ожидаемого результата решения предлагаемой задачи.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Список вопросов для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

#### ЧАСТЬ I.

1. Запись основных дифференциальных операций векторного анализа (градиент, дивергенция, ротор, лапласиан) с помощью оператора “набла” и в декартовых координатах.
2. Уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах.
3. Граничные условия для тангенциальных и нормальных компонент полей в общем случае.
4. Закон сохранения заряда (уравнение непрерывности) в дифференциальной и интегральной формах.
5. Закон сохранения энергии (теорема Пойнтинга) в дифференциальной и интегральной формах.
6. Уравнение Максвелла в комплексной форме; комплексная диэлектрическая проницаемость.
7. Скин-эффект; толщина скин-слоя (глубина проникновения тока и поля в проводник).
8. Запись выражений для плоской волны в векторной форме и в проекциях на оси декартовой системы координат.
9. Дисперсионное уравнение для однородной плоской волны.
10. Определение фазовой и групповой скорости.
11. Законы отражения и преломления на плоской границе раздела двух сред (законы Снелля).
12. Формулы Френеля в случае нормального падения.
13. Общее выражение для векторного потенциала заданного распределения произвольных во времени и гармонических токов.
14. Выражение для векторного потенциала заданного распределения гармонических токов в зоне Фраунгофера.
15. Диаграмма направленности излучения (по мощности).

#### ЧАСТЬ II.

1. Общие свойства электромагнитного поля в линиях передачи. Регулярные волноводы. Система уравнений Максвелла для комплексных амплитуд. Представление поперечных компонент полей через продольные (для компонент полей и в векторном виде).
2. Двумерное уравнение Гельмгольца. Поперечные и продольные волновые числа.
3. Дисперсионное уравнение для мод волновода. Критическая частота. Распространяющиеся и не распространяющиеся волны.
4. Длина волны в волноводе. Фазовая и групповая скорости волн в волноводе.
5. Граничные условия для ТЕ и ТМ волн волноводов с идеально проводящими стенками.
6. Краевая задача для ТЕ волн для волновода с идеально проводящими стенками. Компоненты полей для ТЕ волн.

7. Краевая задача для ТМ волн для волновода с идеально проводящими стенками. Компоненты полей для ТМ волн.
8. Характеристический импеданс. Мощность, переносимая волноводной волной.
9. Прямоугольный волновод. Моды прямоугольного волновода. Низшая мода прямоугольного волновода.
10. Построение картин силовых линий в волноводах.
11. Токи в стенках волновода.
12. Структура полей мод высшего типа прямоугольного волновода.
13. Мода TE<sub>10</sub> прямоугольного волновода. Особенности практического использования прямоугольного волновода.
14. Круглый волновод. Моды круглого волновода.
15. ТЕМ-волны. Волноводы, в которых распространяются ТЕМ волны. Длинные линии.
16. Погонные параметры L и C коаксиальной линии.
17. Погонные параметры L и C полосковой линии.
18. Телеграфные уравнения. Электродинамический вывод телеграфных уравнений.
19. Формула пересчета импедансов.
20. Режимы работы длинной линии.
21. Затухание волн в волноводах. Потери энергии в среде, заполняющей волновод. Потери энергии в стенках волновода. Граничное условие Леонтовича. Вывод коэффициента затухания в рамках энергетического подхода.
22. Длинные линии с потерями.
23. Замедляющие системы. Медленные волны. Однопроводная линия (металлический цилиндр в диэлектрической оболочке). Плоский диэлектрический волновод.
24. Резонаторы, образованные отрезками волноводов. Спектр собственных частот резонатора. Моды резонаторов.
25. Прямоугольный резонатор. Низшая мода прямоугольного резонатора.
26. Затухание колебаний в резонаторах. Добротность колебаний.
27. Лемма Лоренца. Теорема взаимности.
28. Возбуждение волн в волноводах.
29. Возбуждение колебаний в резонаторах.

#### 6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

1. Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД.

2. Положение «О фонде оценочных средств», утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 г. №247-ОД.

3. Болховская О.В., Горбунов А.А., Грибова Е.З., Грязнова И.Ю., Калинин А.В., Канаков О.И., Корчагин А.Б., Мануилов В.Н., Миловский Н.Д., Павлов И.С., Савикин А.П. Методические материалы по определению процедур оценивания сформированности компетенций: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. – 26 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.unn.ru/books/met\\_files/met\\_mat\\_Mil.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/met_mat_Mil.pdf).

4. Петрова И.Э., Орлов А.В. Оценка сформированности компетенций. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2016. 48 с.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Электродинамика».**

### **а) основная литература:**

1. Никольский В. В., Никольская Т. И. - Электродинамика и распространение радиоволн: [учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов]. - М.: Наука, 1989. - 543 с.
2. Вайнштейн Л. А. - Электромагнитные волны. - М.: Радио и связь, 1988. - 440 с.
3. Баскаков С. И. - Основы электродинамики: [учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов]. - М.: Советское радио, 1973. - 248 с.
4. Гольдштейн Л. Д., Зернов Н. В. - Электромагнитные поля и волны. - М.: Советское радио, 1971. - 662 с.
5. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т.8 Электродинамика сплошных сред. [Электронный ресурс] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2005. — 656 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2234> — Загл. с экрана.
6. Тамм, И.Е. Основы теории электричества. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2003. — 616 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2333> — Загл. с экрана.
7. Гильденбург, В.Б. Сборник задач по электродинамике. [Электронный ресурс] / В.Б. Гильденбург, М.А. Миллер. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2001. — 163 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/48209> — Загл. с экрана.
8. Батыгин, В.В. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности. [Электронный ресурс] / В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2010. — 480 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/544> — Загл. с экрана.

### **б) дополнительная литература:**

1. Джексон Д. - Классическая электродинамика. - М.: Мир, 1965. - 702 с.
2. Терлецкий Я. П., Рыбаков Ю. П. - Электродинамика: [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов]. - М.: Высшая школа, 1980. - 335 с.



## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудиторный фонд ННГУ, учебное и учебно-научное лабораторное оборудование в соответствии с программой лабораторного практикума для выполнения обучающимися лабораторных занятий.

Программа составлена в соответствии с Федеральным Государственным Образовательным Стандартом Высшего Профессионального Образования с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», квалификация - специалист.

Авторы программы \_\_\_\_\_ Юрасова Н.В.

\_\_\_\_\_ Умнов А.Л.

Рецензент \_\_\_\_\_ Гавриленко В.Г.

Заведующий кафедрой, проф. \_\_\_\_\_ Кудрин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» июня 2020 года, протокол № 03/20.