

ЕЛЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И.А. БУНИНА



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.О.04.07 Электродинамика и распространение радиоволн**

**Направление подготовки:** 11.03.01 Радиотехника

**Направленность (профиль):** Системы радиосвязи, мобильной связи и радиодоступа

**Квалификация (степень):** бакалавр

**Форма обучения:** очная, очно-заочная

**Институт:** математики, естествознания и техники

**Кафедра:** физики, радиотехники и электроники

	очная форма	очно-заочная форма	заочная форма
Курс	2	3	-
Семестр/триместр	4	7-8	-

Лекции	36	12	-
Лабораторные занятия	36	8	-
Практические (семинарские) занятия	-	-	-
в т.ч. практическая подготовка	-		
Консультации	-	-	-
Форма(ы) промежуточной аттестации	зачет с оценкой	зачет с оценкой	-
Контроль	-	-	-
Иные формы работы	-	-	-
Самостоятельная работа	72	124	-

**Всего часов:** 144

**Трудоемкость:** 4 зачетные единицы.

Разработчик(и) рабочей программы:

кандидат физико-математических, доцент \_\_\_\_\_ Кузнецов Д.В.

## I. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

**Цель изучения дисциплины:** изучение основ теории макроскопической электродинамики и ее применение для анализа электромагнитных явлений и расчета распространения радиоволн различных диапазонов.

**Задачи изучения дисциплины:**

- усвоение студентами основных положений макроскопической электродинамики
- формирование практических умений и навыков решения задач в области теории электромагнитного поля и особенностей взаимодействия электромагнитных волн с различными физическими средами.

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** Дисциплина Б1.О.04.07 Электродинамика и распространение радиоволн реализуется в рамках модуля 4 «Предметно-содержательный» обязательной части ОПОП.

**Планируемые результаты обучения по дисциплине:**

Код компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<b>УК-1</b> Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	<b>Знать:</b> - методы поиска информации и работы с ней; - сущность системного подхода;	<b>Знает:</b> - принцип действия изучаемых приборов и понимать сущность физических процессов и явлений, происходящих в них - основные электромагнитные явления и закономерности при распространении, отражении, дифракции и интерференции радиоволн
	<b>Уметь:</b> - анализировать задачу, выделять этапы ее решения, осуществлять действия по решению; - находить различные варианты решения задачи, оценивать их преимущества и риски;	<b>Умеет:</b> - рассчитывать основные характеристики и параметры простых излучателей; линий передачи, объемных резонаторов, моделей радиолиний (диаграммы направленности, напряженность поля, поляризацию излучения, типы возбуждаемых волн и т.д.).
	<b>Владеть:</b> - навыками оценивания практических последствий возможных вариантов решения задачи; - навыками грамотного, логичного, аргументированного формулирования собственных суж-	<b>Владеет:</b> - навыками расчета излучающих устройств, направляющих и резонирующих систем, моделей земных и спутниковых радиолиний.

	дений и оценок	
<b>ОПК-1</b> Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	<b>Знать:</b> - определения основных понятий; - связи между различными математическими, информационными объектами; - основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой; - методы решения математических задач, методах анализа и оценки полученного решения;	<b>Знает:</b> - основные положения макроскопической электродинамики,
	<b>Уметь:</b> - применять базовые понятия естественных наук, математики и информатики в научно-исследовательской деятельности; - строить модель решения задачи; может аргументировать выбор метода решения задачи; - оценивать достоверность полученного решения задачи; критически осмысливать полученные знания; - найти несколько методов решения задачи, выбрать из них оптимальный; применять методы решения задач в незнакомых ситуациях	<b>Умеет:</b> - применять навыки решения задач в области теории электромагнитного поля и особенностей взаимодействия электромагнитных волн с различными физическими средами.
	<b>Владеть:</b> - терминологией предметной области знания; навыками поиска, интерпретации и анализа полученной информации; - пониманием границ применения математических методов, методов анализа и оценки современных научных достижений в области математики и информатики	<b>Владеет:</b> - методами анализа электромагнитных явлений и расчета распространения радиоволн различных диапазонов.

## II. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу

### Очная форма обучения

1	Наименование разделов и тем	Всего	Аудиторные занятия			Сам. раб.
			ЛК	ПЗ	ЛБ	
	<b>Раздел 1. « Основные уравнения и законы электродинамики »</b>	<b>64</b>	<b>16</b>		<b>16</b>	<b>32</b>
1.	Тема 1. « Векторные характеристики электромагнитного поля. Закон полного тока. Первое уравнение Максвелла »	16	4		4	8
2.	Тема 2. «Закон электромагнитной индукции. Второе уравнение Максвелла. Теорема Гаусса. Третье и четвертое уравнения Максвелла.»	16	4		4	8
3.	Тема 3. «Система уравнений электродинамики. Уравнения Максвелла в комплексной форме»	16	4		4	8
4.	Тема 4. «Граничные условия на поверхности раздела сред. Энергия электромагнитного поля»	16	4		4	8
	<b>Раздел 2. «Электромагнитные волны их излучение и распространение »</b>	<b>80</b>	<b>20</b>		<b>20</b>	<b>40</b>
5.	Тема 5. «Излучение электромагнитных волн»	16	4		4	8
6.	Тема 6. «Волновые уравнения Гельмгольца. Общее уравнение плоской электромагнитной волны»	16	4		4	8
7.	Тема 7. «Плоская электромагнитная волна в среде без потерь и в реальной среде»	16	4		4	8
8.	Тема 8. «Волновые явления на границе раздела двух сред»	16	4		4	8
9.	Тема 9. «Направляемые электромагнитные волны. Объемные резонаторы»	16	4		4	8
	<i>зачет с оценкой</i>					

	<i>Итого за 4 семестр</i>	144	36		36	72
	<b>ИТОГО:</b>	144	36		36	72

### Очно-заочная форма обучения

1	Наименование разделов и тем	Всего	Аудиторные занятия			Сам. раб.
			ЛК	ПЗ	ЛБ	
	<b>Раздел 1. « Основные уравнения и законы электродинамики »</b>	<b>72</b>	<b>6</b>		<b>4</b>	<b>62</b>
1.	Тема 1. « Векторные характеристики электромагнитного поля. Закон полного тока. Первое уравнение Максвелла »	18	1,5		1	15,5
2.	Тема 2. «Закон электромагнитной индукции. Второе уравнение Максвелла. Теорема Гаусса. Третье и четвертое уравнения Максвелла.»	18	1,5		1	15,5
3.	Тема 3. «Система уравнений электродинамики. Уравнения Максвелла в комплексной форме»	18	1,5		1	15,5
4.	Тема 4. «Граничные условия на поверхности раздела сред. Энергия электромагнитного поля»	18	1,5		1	15,5
	<b>Раздел 2. «Электромагнитные волны их излучение и распространение »</b>	<b>72</b>	<b>6</b>		<b>4</b>	<b>62</b>
5.	Тема 5. «Излучение электромагнитных волн» Тема 6. «Волновые уравнения Гельмгольца. Общее уравнение плоской электромагнитной волны»	18	1,5		1	15,5
6.	Тема 7. «Плоская электромагнитная волна в среде без потерь и в реальной среде»	18	1,5		1	15,5
7.	Тема 8. «Волновые явления на границе разде-	18	1,5		1	15,5

	ла двух сред»					
8.	Тема 9. «Направляемые электромагнитные волны. Объемные резонаторы»	18	1,5		1	15,5
	зачет с оценкой					
	Итого за 4 семестр	144	12		8	124
	ИТОГО:	144	12		8	124

**Заочная форма обучения** (не реализуется)

### **III. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Текущая аттестация проводится в форме контрольной работы.

#### **Типовой вариант контрольной работы**

1. Найти вектор напряженности электрического поля в центре шара радиуса  $R$ , объемная плотность заряда которого  $\rho = ar$ , где  $a$  — постоянный вектор,  $r$  — радиус-вектор, проведенный из центра шара.
2. Показать, что на границе диэлектрика с проводником поверхностная плотность связанного заряда диэлектрика  $\sigma' = -\sigma(\epsilon - 1)/\epsilon$ , где  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость,  $\sigma$  — поверхностная плотность заряда на проводнике.
3. Однослойная катушка (соленоид) имеет длину  $l$  и радиус сечения  $R$ . Число витков на единицу длины  $n$ . Найти индукцию магнитного поля в центре катушки при пропускании через нее тока  $I$ .
4. Длинный сплошной алюминиевый цилиндр радиуса  $a = 5,0$  см вращают вокруг его оси в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 10$  мТ. Угловая скорость вращения  $\omega = 45$  рад/с, причем  $\omega \uparrow \uparrow B$ . Пренебрегая магнитным полем возникающих зарядов, найти их объемную и поверхностную плотности.
5. По бесконечному цилиндрическому проводнику радиусом  $a$  протекает постоянный ток  $I_0$ . Определить напряженность магнитного поля внутри и вне проводника.
6. В пространстве с декартовой системой координат полупространство  $z > 0$  заполнено воздухом, а полупространство  $z < 0$  — проводящим веществом с параметром  $\sigma = 2 \cdot 10^7$  См/м. В воздушной среде создано постоянное и однородное электрическое поле, вектор напряженности которого  $E_1 = 10^{-4}$  В/м. Определите: а) модуль вектора плотности тока проводимости в веществе; б) удельную плотность мощности тепловых потерь.
7. Плоская электромагнитная волна с перпендикулярной поляризацией падает из воздуха под углом  $\varphi = 60^\circ$  на границу раздела с диэлектриком, имеющим параметры  $\epsilon = 3,8$ ,  $\mu = 1$ . Амплитуда вектора напряженности электрического поля падающей

волны  $E_{\text{тпад}} = 0.4 \text{ В/м}$ . Найти амплитуды векторов напряженности магнитного поля отраженной и преломленной волн.

Промежуточная аттестация обучающихся осуществляется в форме экзамена с использованием следующих оценочных материалов:

### **Вопросы к экзамену 4 семестр, очная**

1. Векторные характеристики электромагнитного поля
2. Электромагнитные параметры среды
3. Закон полного тока. Первое уравнение Максвелла
4. Закон электромагнитной индукции. Второе уравнение Максвелла
5. Теорема Гаусса. Третье и четвертое уравнения Максвелла
6. Закон сохранения заряда. Уравнение непрерывности
7. Полная система уравнений электродинамики. Уравнения Максвелла в комплексной форме
8. Граничные условия для нормальных составляющих векторов электромагнитного поля
9. Граничные условия для касательных составляющих векторов электромагнитного поля
10. Баланс энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга
11. Вектор Пойнтинга для гармонических полей
12. Электродинамические потенциалы. Калибровка потенциалов
13. Элементарный электрический излучатель. Диполь Герца
14. Волновые уравнения Гельмгольца. Общее уравнение плоской электромагнитной волны
15. Поляризация плоских электромагнитных волн
16. Плоская электромагнитная волна в среде без потерь
17. Плоская электромагнитная волна в реальной среде
18. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе диэлектрик–диэлектрик
19. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе диэлектрик–проводник. Скин–эффект
20. Уравнения Максвелла в прямоугольном волноводе. Е–волны в прямоугольном волноводе
21. Н–волны в прямоугольном волноводе
22. Круглый волновод
23. Использование круглых волноводов в качестве линии передачи
24. Общие свойства объемных резонаторов
25. Прямоугольный объемный резонатор. Условие резонанса

### **IV. ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### 4.1. Основная литература

1. Боков, Л. А. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие / Л. А. Боков, В. А. Замотринский, А. Е. Мандель ; Томский Государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013. – 410 с. : ил.,табл., схем. [Электронный ресурс] URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208611> (Дата обращения 01.09.2021).
2. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие / Д. Ю. Мухомцев, Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин [и др.] ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2012. – 200 с. : граф., схем., ил. [Электронный ресурс] URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=437090> (Дата обращения 01.09.2021).

#### 4.2. Дополнительная литература

1. Боков, Л. А. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие : в 2 частях / Л. А. Боков, В. А. Замотринский, А. Е. Мандель ; Томский Государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). – Томск : ТУСУР, 2013. – Часть 2. Макроэкономика. – 410 с. : ил.,табл., схем. [Электронный ресурс] URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480507> (Дата обращения 01.09.2021).

### У. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№ пп	Ссылка на информационный ресурс	Наименование разработки в электронной форме	Доступность
1.	<a href="https://infourok.ru/">https://infourok.ru/</a>	<b>Инфоурок:</b> образовательный интернет-проект России. Включает: конспекты уроков, презентации, тесты, видеоуроки и другие материалы по предметам школьной программы.	Свободный доступ
2.	<a href="http://edu.ru/">http://edu.ru/</a>	<b>Российское образование: Федеральный портал.</b> Включает ссылки на порталы и сайты образовательных учреждений; государственные образовательные стандарты; нормативные документы; каталог экскурсий и обучающих программ.	Свободный доступ
3.			

### У. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

1.	<a href="http://www.biblioclub.ru">http://www.biblioclub.ru</a>	Электронно-библиотечная система (ЭБС)	Регистрация через любой университетский компь-
----	---	---------------------------------------	--



		Университетская библиотека онлайн	ютер. В дальнейшем предоставляется неограниченный индивидуальный доступ из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет
2.	<a href="http://www.elibrary.ru">www.elibrary.ru</a>	Российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования	Свободный доступ

## **VII. ЛИЦЕНЗИОННОЕ И СВОБОДНО РАСПРОСТРАНЯЕМОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

При реализации учебной дисциплины применяется следующее лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Windows;
- Microsoft Office;
- LibreOffice и др.

## **VIII. ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Учебные занятия проводятся в аудиториях, укомплектованных специализированной мебелью, в том числе стационарными или переносными техническими средствами обучения (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

Лабораторные занятия проводятся в лаборатории, оснащенной следующим оборудованием:

Источник ЭДС; Миллиамперметры; Вольтметры; Амперметры; Набор электродов; Сосуд с электродами; Реостаты; Секундомер; Ключи; Магазин сопротивления; Гальванометры; Реохорды; Катушки; Сопротивления; ВУП-2М; ИПД-1; магазины сопротивлений; Магазины емкостей, модуль ФПЭ-11 осциллографы универсальные С1-71, осциллографы универсальные С1-73, Измеритель (ампервольтметр).

Самостоятельная работа проводится в кабинетах, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.