

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Наименование образовательной программы: Радиоэлектронные системы и комплексы

Уровень образования: высшее образование - специалитет

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН**


<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.02</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>5 семестр - 5;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>180 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>5 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>5 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>5 семестр - 16 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>5 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>5 семестр - 113,5 часов;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> Коллоквиум Контрольная работа Тестирование Расчетно-графическая работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>5 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2023**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Комаров А.А.
	Идентификатор	R8495daf1-KomarovAIA-eada3f0e

(подпись)

А.А. Комаров

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сизякова А.Ю.
	Идентификатор	R4eb30863-SiziakovaAY-83831ea7

(подпись)

А.Ю. Сизякова

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Куликов Р.С.
	Идентификатор	R7ef0b374-KulikovRS-e851162c

(подпись)

Р.С. Куликов

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение условий распространения радиоволн в различных средах и основных методов расчета радиолиний

### Задачи дисциплины

- формирование представления о параметрах естественных сред распространения радиоволн;
- изучение особенностей распространения радиоволн в различных средах;
- изучение основных методов расчета радиолиний;
- приобретение навыков по применению методов расчета для типичных радиолиний.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы подсистем радиоэлектронных систем и комплексов, в том числе с использованием математического моделирования алгоритмов формирования, передачи, приема и обработки радиосигналов	ИД-1ПК-1 Знает методы выполнения расчетов основных технических характеристик схем подсистем радиоэлектронных систем и комплексов	знать: - основные уравнения электромагнитного поля и методы их использования при расчетах простейших структур для изучения электромагнитных волн, условия распространения электромагнитных волн в различных средах.
ПК-1 Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы подсистем радиоэлектронных систем и комплексов, в том числе с использованием математического моделирования алгоритмов формирования, передачи, приема и обработки радиосигналов	ИД-2ПК-1 Умеет использовать методы математических расчетов характеристик радиотехнических устройств, систем и процессов для анализа и оптимизации их параметров	уметь: - применять методы математического моделирования радиолиний различных видов по типовым методикам.
ПК-3 Способен выполнять физическое моделирование процессов формирования, передачи, приема и обработки радиосигналов в подсистемах	ИД-2ПК-3 Умеет выполнять физическое моделирование (проведение эксперимента), обрабатывать результаты эксперимента, оценивать погрешности экспериментальных данных	уметь: - обрабатывать экспериментальные данные с использованием современных технологий.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
радиоэлектронных систем и комплексов		

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Радиоэлектронные системы и комплексы (далее – ОПОП), направления подготовки 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, уровень образования: высшее образование - специалитет.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Общие вопросы распространения радиоволн	28	5	6	4	4	-	-	-	-	-	14	-	<p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Общие вопросы распространения радиоволн" материалу.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 265-270 [2], стр. 8-22, 30-35, 75-80</p>
1.1	Общие вопросы распространения радиоволн	28		6	4	4	-	-	-	-	-	14	-	
2	Распространение радиоволн вблизи поверхности Земли	30		6	4	4	-	-	-	-	-	16	-	
2.1	Распространение радиоволн вблизи поверхности Земли	30		6	4	4	-	-	-	-	-	16	-	
3	Структура атмосферы Земли. Ионосфера и ее влияние на распространение радиоволн	36		8	8	4	-	-	-	-	-	16	-	

3.1	Структура атмосферы Земли. Ионосфера и ее влияние на распространение радиоволн	36		8	8	4	-	-	-	-	-	16	-	обработки результатов по изученному в разделе "Структура атмосферы Земли. Ионосфера и ее влияние на распространение радиоволн" материалу. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 306-320 [2], стр. 106-159
4	Тропосфера и ее влияние на распространение радиоволн	26		6	-	4	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Тропосфера и ее влияние на распространение радиоволн"
4.1	Тропосфера и ее влияние на распространение радиоволн	26		6	-	4	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Тропосфера и ее влияние на распространение радиоволн". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 291-302 [2], стр. 81-105
5	Спутниковые линии связи	24		6	-	-	-	-	-	-	-	18	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Спутниковые линии связи".
5.1	Спутниковые линии связи	24		6	-	-	-	-	-	-	-	18	-	Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу

														"Спутниковые линии связи" <i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [2], стр. 164-183
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>		<b>32</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>80</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>		<b>32</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>113.5</b>			

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Общие вопросы распространения радиоволн

#### 1.1. Общие вопросы распространения радиоволн

Общие вопросы распространения радиоволн. Поле излучателя в свободном пространстве. Уравнение идеальной радиопередачи. Напряженность электрического поля в свободном пространстве. Область пространства, существенная для распространения радиоволн, зоны Френеля. Дифракция радиоволн на плоских экранах..

### 2. Распространение радиоволн вблизи поверхности Земли

#### 2.1. Распространение радиоволн вблизи поверхности Земли

Параметры реальных сред, образующих поверхность Земли. Влияние земной поверхности на распространение радиоволн. Расстояние прямой видимости. Классификация моделей радиотрасс, проходящих вблизи поверхности Земли для антенн, поднятых над поверхностью Земли. Поле излучателя, поднятого над плоской Землей, интерференционный множитель. Анализ зависимости напряженности электрического поля от угла наблюдения, высот антенн и протяженности радиолинии. Формула Введенского. Учет сферичности Земли. Приведенные высоты. Рассеяние радиоволн шероховатыми поверхностями. Поле электрического вибратора, расположенного вблизи поверхности Земли. О расчете поля в зонах полу тени и тени. Поле в непосредственной близости от поверхности Земли и в Земле. Расчет радиолиний вблизи поверхности Земли. Учет отражения от земной поверхности..

### 3. Структура атмосферы Земли. Ионосфера и ее влияние на распространение радиоволн

#### 3.1. Структура атмосферы Земли. Ионосфера и ее влияние на распространение радиоволн

Строение ионосферы и источники ионизации. Понятие простого слоя. Диэлектрическая проницаемость ионосферы без учета влияния магнитного поля Земли. Поглощения радиоволн в ионосфере. Фазовая и групповая скорости в ионосфере. Отражение и преломление радиоволн в ионосфере. Условие отражения от ионосферы. Определение траектории волны. Вертикальное и наклонное падение радиоволн на ионосферу, закон секанса. Скачковый способ распространения радиоволн. Данные экспериментальных исследований ионосферы. Метод вертикального зондирования. Расчет линий коротковолнового диапазона. Замирания сигнала в точке приема. Принципы планирования коротковолновой связи. Влияние магнитного поля Земли на электродинамические параметры ионосферы. Тензор диэлектрической проницаемости. Продольное и поперечное распространение радиоволн ионосфере. Эффект Фарадея, обыкновенные и необыкновенные радиоволны..

### 4. Тропосфера и ее влияние на распространение радиоволн

#### 4.1. Тропосфера и ее влияние на распространение радиоволн

Влияние тропосферы на распространение радиоволн. Строение тропосферы. Диэлектрическая проницаемость. Понятие нормальной тропосферы. Рефракция радиоволн в тропосфере. Эквивалентный радиус Земли. Рассеяние радиоволн на неоднородностях тропосферы. Поглощение радиоволн в тропосфере. Влияние гидрометеоров на распространение радиоволн. Особенности распространения оптического излучения. Расчет радиолиний вблизи поверхности Земли с учетом рефракции и поглощения в тропосфере.

### 5. Спутниковые линии связи

#### 5.1. Спутниковые линии связи



Особенности РРВ на космических радиоперелиниях. Выбор частотного диапазона. Характеристики межпланетной среды в Солнечной системе. Влияние тропосферы и ионосферы на работу космических радиоперелиний.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Виды космических радиоперелиний. Расчет распространения радиоволн на космических линиях связи;
2. Распространение радиоволн в свободном пространстве. Параметры антенн;
3. Влияние поверхности Земли на распространение радиоволн;
4. Формула Введенского. Критерий Рэлея. Учет сферичности поверхности Земли;
5. Ионосфера и ее электро-физические параметры;
6. Слоистая структура ионосферы;
7. Влияние тропосферы на распространение радиоволн;
8. Расчет линий в свободном пространстве и при наличии препятствий.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Определение основных характеристик ионосферных слоёв по ионограммам;
2. Моделирование линий радиосвязи декаметрового диапазона волн;
3. Исследование поля излучателя, расположенного вблизи поверхности Земли;
4. Исследование зон Френеля и дифракции радиоволн на препятствии.

### **3.5 Консультации**

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)					Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	
<b>Знать:</b>							
основные уравнения электромагнитного поля и методы их использования при расчетах простейших структур для изучения электромагнитных волн, условия распространения электромагнитных волн в различных средах	ИД-1ПК-1	+	+				Коллоквиум/Защита лабораторной работы №1 Коллоквиум/Защита лабораторной работы №2
<b>Уметь:</b>							
применять методы математического моделирования радиолиний различных видов по типовым методикам	ИД-2ПК-1			+	+	+	Расчетно-графическая работа/Защита расчётного задания Контрольная работа/Контрольная работа «Распространение радиоволн в тропосфере» Тестирование/Тест «Особенности РРВ на космических радиолиниях»
обрабатывать экспериментальные данные с использованием современных технологий	ИД-2ПК-3			+			Коллоквиум/Защита лабораторной работы №3

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **5 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа «Распространение радиоволн в тропосфере» (Контрольная работа)
2. Тест «Особенности РРВ на космических радиоперелиниях» (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Защита расчётного задания (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторной работы №1 (Коллоквиум)
2. Защита лабораторной работы №2 (Коллоквиум)
3. Защита лабораторной работы №3 (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

#### *Экзамен (Семестр №5)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 5 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Муромцев Д. Ю., Зырянов Ю. Т., Федюнин П. А., Белоусов О. А.- "Электродинамика и распространение радиоволн", (2-е изд., доп.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2014 - (448 с.)

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=50680](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=50680);

2. Распространение радиоволн : учебное пособие по курсу "Электродинамика и распространение радиоволн" для всех специальностей радиотехнического факультета по направлению "Радиотехника" / В. А. Пермяков, В. В. Солодухов, В. В. Бодров, М. В. Исаков, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 192 с. - ISBN 978-5-383-00173-8 ..

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Acrobat Reader;
5. Python.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-400, Учебная аудитория "А"	парта, стул, доска меловая, экран интерактивный, колонки звуковые, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-800/1, Учебная лаборатория антенных систем и распространения радиоволн	парта, парта со скамьей, стол преподавателя, стол, стул, шкаф для документов, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, стенд лабораторный
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Е-800/1, Учебная лаборатория антенных систем и распространения радиоволн	парта, парта со скамьей, стол преподавателя, стол, стул, шкаф для документов, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, стенд лабораторный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-800/1, Учебная лаборатория антенных систем и распространения радиоволн	парта, парта со скамьей, стол преподавателя, стол, стул, шкаф для документов, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, стенд лабораторный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Е-800/6, Кабинет сотрудников каф. "РТП и АС"	кресло рабочее, стол компьютерный, стул, шкаф для документов, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-800/7, Архив каф. "РТП и АС"	стол, стул, шкаф для документов, вешалка для одежды, холодильник

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Распространение радиоволн

(название дисциплины)

#### 5 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Защита лабораторной работы №1 (Коллоквиум)
- КМ-2 Защита лабораторной работы №2 (Коллоквиум)
- КМ-3 Защита лабораторной работы №3 (Коллоквиум)
- КМ-4 Контрольная работа «Распространение радиоволн в тропосфере» (Контрольная работа)
- КМ-5 Тест «Особенности РРВ на космических радиоприемах» (Тестирование)
- КМ-6 Защита расчётного задания (Расчетно-графическая работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	8	12	14	15	6
1	Общие вопросы распространения радиоволн							
1.1	Общие вопросы распространения радиоволн		+	+				
2	Распространение радиоволн вблизи поверхности Земли							
2.1	Распространение радиоволн вблизи поверхности Земли		+	+				
3	Структура атмосферы Земли. Ионосфера и ее влияние на распространение радиоволн							
3.1	Структура атмосферы Земли. Ионосфера и ее влияние на распространение радиоволн				+	+	+	+
4	Тропосфера и ее влияние на распространение радиоволн							
4.1	Тропосфера и ее влияние на распространение радиоволн					+	+	+
5	Спутниковые линии связи							
5.1	Спутниковые линии связи					+	+	+
Вес КМ, %:			16	16	16	16	16	20