

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

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Основы теории антенн

---

Уровень высшего образования

Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.04 Основы теории антенн относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные 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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	ПК-1.1: Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры ПК-1.2: Осваивает новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	ПК-1.1: Знать: основные положения теории антенн  Уметь: применять основные положения теории антенн для решения стандартных задач профессиональной деятельности в области радиофизики, радиоастрономии, радиосвязи и телекоммуникаций  ПК-1.2: Владеть: навыками решения стандартных задач теории антенн	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Анализирует полученные данные,	ПК-2.1: Знать: основные радиофизические методы измерения характеристик антенн  ПК-2.2: Знать: основные радиофизические методы измерения характеристик антенн  ПК-2.3: Знать: основные радиофизические методы измерения характеристик антенн	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

	формулирует выводы и рекомендации.в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики			
--	---	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>0</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>32</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование 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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	Ф	Ф	Ф	Ф	Ф
Ведение	4		2	2	2
Основы теории антенн	46		22	22	24
Методы измерения радиотехнических характеристик антенн	21		8	8	13
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	0	32	33	39

#### Содержание разделов и тем дисциплины

## Раздел 1. Введение.

1.1. Краткая историческая справка. Типы антенн, используемых в современных системах радиосвязи.

1.2. Принципы классификации антенных устройств. Внешняя и внутренняя задачи в теории антенн.

## Раздел 2. Основы теории антенн.

2.1. Уравнения Максвелла. Потенциалы электромагнитного поля. Электромагнитные поля заданных источников. Понятие дальней промежуточной и ближней зон. Электромагнитные поля системы токов в дальней зоне.

2.2. Основные радиотехнические характеристики антенн: диаграмма направленности, коэффициент направленного действия, коэффициент усиления, эффективная площадь, шумовая температура, сопротивление излучения, полоса частот

2.3. Элементарные излучатели и их основные характеристики: электрический и магнитный диполи Герца, элементарная электрическая рамка, элемент Гюйгенса, элементарный турникетный излучатель.

2.4. Вибраторные антенны. Тонкий электрический вибратор. Постановка задачи и вывод интегрального уравнения Галлена. Приближенные методы решения интегрального уравнения Галлена. Распределение тока и заряда вдоль вибратора. Характеристики симметричного вибратора в режиме излучения (диаграмма направленности, излучаемая мощность, сопротивление излучения, коэффициент направленного действия). Численные методы решения интегрального уравнения Галлена. Электромагнитное поле вблизи вибратора. Метод наводимых ЭДС. Поле излучения пары симметричных вибраторов. Теорема перемножения. Диаграммы направленности систем из двух вибраторов. Собственные и взаимные импедансы вибраторов.

2.5. Линейные излучающие системы. Поле излучения непрерывных и дискретных линейных антенн. Идеальный линейный излучатель. Режимы излучения и основные характеристики (диаграмма направленности, коэффициент направленного действия). Влияние неравномерности амплитудного распределения на характеристики линейного излучателя. Влияние детерминированных фазовых искажений на параметры линейной антенны (линейные, квадратичные и кубические фазовые искажения). Характеристики направленности равномерной линейной антенной решетки.

2.5. Апертурные антенны. Плоские излучающие раскрывы. Связь диаграммы направленности и распределения поля в раскрыве (апертуре) антенны. Характеристики направленности плоских прямоугольных и круглых синфазных раскрывов. Метод эквивалентного линейного излучателя в анализе характеристик плоского раскрыва. Рупорные антенны. Излучение электромагнитных волн из открытого конца прямоугольного волновода. Электромагнитное поле Е- секториальных, Н- секториальных и пирамидальных рупоров.

2.6. Зеркальные антенны. Основные типы зеркальных антенн. Зеркальные параболические антенны. Основные параметры и типы конструкций. Апертурный и токовый методы расчета полей зеркальных антенн. Распределение тока на поверхности параболического зеркала. Распределение поля в апертуре зеркальной антенны. Факторы, влияющие на усиление зеркальной антенны.

## Раздел 3. Методы измерения радиотехнических характеристик антенн.

3.1. Сравнительный анализ возможностей и областей применения методов измерений в дальней, промежуточной и ближней зонах антенны.

3.2. Методы измерения в дальней зоне. Особенности применения метода вышки. Схемы измерения амплитудных и фазовых диаграмм направленности. Способы измерения коэффициента усиления антенн.

3.3. Радиоастрономические методы антенных измерений. Методики измерений диаграммы направленности по мощности, коэффициента усиления, шумовой температуры. Возможности корреляционного радиоастрономического способа. Радиоголографический метод измерения характеристик зеркальных антенн.

3.4. Методы и схемы измерений в ближней зоне. Основные соотношения, используемые при обработке результатов.

3.5. Специальные методы измерений, направленные на повышение точности определения характеристик антенн.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Подготовка по контрольным вопросам промежуточной аттестации

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

**5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

Совпадают с контрольными вопросами промежуточной аттестации

**5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

Совпадают с контрольными вопросами промежуточной аттестации

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

#### **5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации**

##### **Шкала оценивания сформированности компетенций**

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	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 ошибок	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. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	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 и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. 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

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Ближняя, промежуточная и дальняя зона антенны. Основные свойства поля в дальней зоне.
2. Основные радиотехнические характеристики антенн – диаграмма направленности (по полю и по мощности), основные параметры ДН, способы представления.
3. Основные радиотехнические характеристики антенн – КНД, КУ, КР, КПД,  $S_{эфф}$ ,  $T_{ш}$ ,  $R_{изл}$
4. Основные характеристики. (ДН, сопротивление излучения, КНД) элементарных излучателей – электрического и магнитного диполей, электрической рамки.
5. Основные характеристик (ДН, сопротивление излучения, КНД) простейших комбинаций элементарных излучателей – однонаправленный излучатель, турникетный излучатель.
6. Тонкий электрический вибратор. Интегральное уравнение Галена и его решение в первом приближении.
7. Характеристики тонкого электрического вибратора - распределение тока и заряда вдоль вибраторных антенн различной длины,
8. Характеристики тонкого электрического вибратора - ДН, КНД, сопротивление излучения симметричных вибраторных антенн различной длины.
9. Численные методы решения уравнения Галена.
10. Поле вблизи поверхности симметричной вибраторной антенны с синусоидальным распределением тока.
11. Способы измерения распределений тока и заряда вдоль вибраторной антенны.

12. Расчет мощности излучения вибраторной антенны методом наводимых ЭДС.
13. Поле в дальней зоне системы из двух вибраторов. Теорема перемножения.
14. ДН системы из двух вибраторных антенн, возможности управления ДН такой системы.
15. Собственные и взаимные импедансы в системе из двух вибраторных антенн, их расчет и применение.
16. Характеристики (ДН, КНД) идеального линейного излучателя при разных режимах излучения.

### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2**

1. Влияние неравномерности амплитудного распределения и фазовых искажений на характеристики линейной антенны.
2. Характеристики направленности эквидистантной линейной антенной решетки. Способы подавления побочных максимумов ДН.
3. Определение понятия апертуры (раскрыва) антенны. Применение теоремы эквивалентности к расчету излучения апертурных антенн. ДН плоского излучающего раскрыва.
4. Характеристики направленности плоского синфазного раскрыва, возбуждаемого линейно поляризованной волной.
5. Характеристики направленности (ДН, КНД) плоских синфазных раскрывов прямоугольной и круглой формы.
6. Метод эквивалентного линейного излучателя в анализе характеристик плоского раскрыва.
7. Характеристики излучения (ДН, КНД) рупорных антенн различных типов и размеров.
8. Зеркальная параболическая антенна, конструкция и принцип работы. Апертурный и токовый способы расчета характеристик.
9. Основные факторы, влияющие на усиление зеркальной антенны (парциальные КИП).
10. Офсетные зеркальные антенны, их преимущества и недостатки.
11. Сферические зеркальные антенны, конструкция и принцип работы.
12. Основные методы антенных измерений, сравнение их возможностей и областей применения.
13. Основные методы измерения КУ антенн.
14. Радиоастрономический метод антенных измерений (традиционный). Измеряемые характеристики антенн и параметры сигналов радиоисточников.
15. Методики и алгоритмы измерения ДН, КУ и Тш радиоастрономическим способом.
16. Корреляционный радиоастрономический метод антенных измерений. Схема реализации и его основные преимущества.
17. Радиоголографический метод измерения характеристик антенн по сигналам внеземных радиоисточников. Назначение, алгоритм реализации, основные требования к проведению измерений.
18. Методы измерения характеристик антенн в ближней зоне. Измеряемые характеристики, алгоритмы измерений, сравнение различных кинематических схем сканирования.



19. Способы уменьшения влияния переотражений на результаты измерения параметров антенн.  
Импульсные методы антенных измерений, варианты реализации.

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

### **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

Основная литература:

1. Марков Григорий Тимофеевич. Антенны : [учеб. для радиотехн. специальностей вузов]. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Энергия, 1975. - 528 с. : ил. - 1.18., 3 экз.
2. Методы измерения характеристик антенн СВЧ / под ред. Н. М. Цейтлина. - М. : Радио и связь, 1985. - 368 с. : ил. - 1.70., 1 экз.
3. Гавриленко Владимир Георгиевич. Методы измерения характеристик антенн по сигналам внеземных радиоисточников : учебно-методическое пособие / В. Г. Гавриленко, А. В. Калинин ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 58 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=851281&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Проблемы антенной техники / под ред. Л. Д. Бахраха, Д. И. Воскресенского. - М. : Радио и связь, 1989. - 368 с. : ил. - 2.70., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

-

### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Калинин Андрей Владимирович, доктор технических наук, старший научный сотрудник.

Рецензент(ы): Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Калинин Андрей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 г., протокол № 09/23.