

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 ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.ДВ2 «Основы теории антенн»

Уровень высшего образования
бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.03 Радиофизика

Профиль
Радиофизика и электроника

Квалификация (степень)
бакалавр

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

2023

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

Дисциплина «Основы теории антенн» относится к дисциплинам по выбору вариативной части профессионального цикла образовательной программы по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика» профилю «Радиофизика и электроника».

Дисциплина изучается в 7 семестре. Программа лекционного курса опирается на знания, которые студенты должны иметь в результате изучения модулей «Общая физика» (дисциплин «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Колебания и волны, оптика») и «Математика» (дисциплин «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Аналитическая геометрия», «Векторный и тензорный анализ»), модуля «Методы математической физики» из базовой части математического и естественно-научного цикла, а также дисциплин «Электродинамика», «Прикладная электродинамика» из базовой части профессионального цикла модуля «Теоретическая физика».

Целями освоения дисциплины «Основы теории антенн» являются:

- а) формирование у студентов представления о физических принципах излучения и приема электромагнитных волн антеннами различных типов;
- б) формирование у студентов представления о методах расчета и экспериментального исследования основных радиотехнических характеристик наиболее распространенных типов антенн;

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

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 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	Знать: основные положения теории антенн Уметь: применять основные положения теории антенн для решения стандартных задач профессиональной деятельности в области радиофизики, радиоастрономии, радиосвязи и телекоммуникаций Владеть: навыками решения стандартных задач теории антенн	Задача, собеседование
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	Знать: основные радиофизические методы измерения характеристик антенн	Задача, собеседование

	аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи. ПК-2.3. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики.		
--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины «Основы теории антенн»

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа – занятия семинарского типа, 1 час – мероприятия промежуточной аттестации), 39 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)		В том числе												
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы								Самостоятельная работа обучающегося, часы				
	из них														
	Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа		Занятия лабораторного типа		Консультации		Всего						
Очная	Заочная	Очная	Заочная	Очная	Заочная	Очная	Заочная	Очная	Заочная	Очная	Заочная	Очная	Заочная		
Ведение	4				2							2		2	
Основы теории антенн	46				22							22		24	
Методы измерения радиотехнических характеристик антенн	21				8							8		13	
Промежуточная аттестация - зачет															

Содержание разделов 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 раскрыты. Связь диаграммы направленности и распределения поля в раскрытии (апертуре) антенны. Характеристики направленности плоских прямоугольных и круглых синфазных раскрытий. Метод эквивалентного линейного излучателя в анализе характеристик плоского раскрытия. 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.

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. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.

2. Список вопросов для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

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, $S_{эф}$, $T_{ш}$, $R_{изл}$
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.
17. Влияние неравномерности амплитудного распределения и фазовых искажений на характеристики линейной антенны.
18. Характеристики направленности эквидистантной линейной антенной решетки. Способы подавления побочных максимумов ДН.
19. Определение понятия апертуры (раскрыва) антенны. Применение теоремы эквивалентности к расчету излучения апертурных антенн. ДН плоского излучающего раскрыва.
20. Характеристики направленности плоского синфазного раскрыва, возбуждаемого линейно поляризованной волной.
21. Характеристики направленности (ДН, КНД) плоских синфазных раскрывов прямоугольной и круглой формы.
22. Метод эквивалентного линейного излучателя в анализе характеристик плоского раскрыва.
23. Характеристики излучения (ДН, КНД) рупорных антенн различных типов и размеров.
24. Зеркальная параболическая антенна, конструкция и принцип работы. Апертурный и токовый способы расчета характеристик.
25. Основные факторы, влияющие на усиление зеркальной антенны (парциальные КИП).
26. Офсетные зеркальные антенны, их преимущества и недостатки.
27. Сферические зеркальные антенны, конструкция и принцип работы.
28. Основные методы антенных измерений, сравнение их возможностей и областей применения.
29. Основные методы измерения КУ антенн.
30. Радиоастрономический метод антенных измерений (традиционный). Измеряемые характеристики антенн и параметры сигналов радиоисточников.
31. Методики и алгоритмы измерения ДН, КУ и Тш радиоастрономическим способом.
32. Корреляционный радиоастрономический метод антенных измерений. Схема реализации и его основные преимущества.

33. Радиоголографический метод измерения характеристик антенн по сигналам внеземных радиоисточников. Назначение, алгоритм реализации, основные требования к проведению измерений.

34. Методы измерения характеристик антенн в ближней зоне. Измеряемые характеристики, алгоритмы измерений, сравнение различных кинематических схем сканирования.

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

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

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:

ПК-1: способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности (этап освоения – базовый);

ПК-2: способность использовать основные методы радиофизических измерений (этап освоения – базовый).

6.2. В соответствии с учебным планом подготовки предусмотрена процедура аттестации обучающихся в форме зачета в конце 7 семестра. При проведении зачета шкала оценивания имеет два значения: зачет, не зачет.

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

Для оценивания результатов обучения в виде знаний, умений и навыков используется индивидуальное собеседование, в котором обучающемуся предлагается изложить теоретический вопрос по части одного из разделов содержания дисциплины, а также решить одну стандартную задачу..

Критерии оценок при проведении зачета

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Оценка	
	не зачтено	зачтено

Знание основных положений теории антенн	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущены некоторые погрешности
Умение применять основные положения теории антенн для решения стандартных задач профессиональной деятельности в области радиофизики, радиоастрономии, радиосвязи и телекоммуникаций	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с некоторыми погрешностями. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами
Владение навыками решения стандартных задач теории антенн	Отсутствие навыков решения стандартных задач. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы навыки решения стандартных задач.
Знание: основные радиофизических методов измерения характеристик антенн	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущены некоторые погрешности

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

Пример билета к зачету:

Вопрос 1. Основные факторы, влияющие на усиление зеркальной антенны (парциальные КИП).

Задача. Оценить ширину главного лепестка диаграммы направленности (по уровню половинной мощности) семиметровой зеркальной антенны на частоте 3 ГГц.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

1. 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, 2023. – 26 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.unn.ru/books/met_files/met_mat_Mil.pdf.

2. 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 «Антенны и распространение радиоволн».

а) основная литература:

1. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. М.: Энергия, 1975. —528с.
2. Захарьев Л.Н., Леманский А.А., Турчин В.И., Цейтлин Н.М., Щеглов К.С. Методы измерения характеристик антенн СВЧ. /Под ред. Н.М.Цейтлина. – М. Радио и связь, 1985.–368с.
3. Гавриленко В.Г., Калинин А.В. Методы измерения характеристик антенн по сигналам внеземных радиоисточников. Электронное учебно-методическое пособие, Нижний Новгород, Нижегородский госуниверситет, 2012-58с.

б) дополнительная литература:

1. [Проблемы антенной техники./Бахрах Л. Д., Бей Н. А., Братчиков А. Н., \[и др. - М.: Радио и связь, 1989. - 368 с.](#)

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудиторный фонд ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика».

Автор программы:_____Калинин А.В.

Рецензент _____Бакунов М.И.

Заведующий кафедрой, проф. _____Гавриленко В.Г.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.