


МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра интеллектуальных информационных радиофизических систем

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета


(подпись)

И.С. Огнев

«23» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Антенные системы в радиотехнике»

Направление подготовки
«11.03.01 Радиотехника»

Направленность (профиль)
«00 Радиотехника»

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от «25» апреля 2023 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Антенные системы в радиотехнике» являются: ознакомление слушателей с основными направлениями развития современной антенной техники, перспективными технологиями изготовления и эксплуатации антенных устройств; формирование представлений о возможностях применения антенн в телекоммуникациях, особенностях их эксплуатации.

Основная задача курса – способствовать созданию у студентов представления о методах планирования и проведения эксперимента, обработки результатов, знания типов погрешностей и путей их уменьшения, навыков в области планирования и постановки эксперимента в соответствии с целями исследования, умения грамотно производить экспериментальные исследования.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений обязательной части Блока 1 и является дисциплиной по выбору (Б1.В.ДВ.04.01). Освоение дисциплины требует знаний, полученных при изучении дисциплин «Математический анализ», «Основы теории цепей», «Электричество и магнетизм», «Теория вероятностей и математическая статистика». Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины, используются при изучении других специальных дисциплин и в НИРС.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-1 Способен осуществлять сбор и обработку исходных данных для решения поставленных профессиональных задач в области радиотехники, осуществлять поиск, анализ и выбор методов их решения	ИД_ПК-1.2 Проводит анализ и обоснованный выбор методов решения профессиональных задач в области радиотехники.	Знать: <ul style="list-style-type: none">– принципы функционирования устройств СВЧ и антенн, аналитические и численные методы их расчета. Уметь: <ul style="list-style-type: none">– рассчитывать характеристики базовых модельных антенных элементов (элементарных излучателей) Владеть навыками: <ul style="list-style-type: none">– экспериментального определения характеристик антенных элементов: диаграммы направленности, коэффициента усиления, диапазона рабочих частот, ширины диаграммы направленности по различным уровням

4. Объём, структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет **3** зачёт. ед., **108** акад. час.

Очная форма обучения

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоёмкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам) Формы ЭО и ДОТ (при наличии)
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
1	Антенные элементы для современных радиотехнических систем	8		8		1		10	Домашняя работа №1
2	Антенные системы для современных радиотехнических систем	8		8		1		16	Домашняя работа №2
3	Адаптивные антенные системы	8		8		1		19	Фронтальный опрос
4	Моделирование и методы расчёта антенных систем	8		10		1		17	
	Всего			40		4		62	
	Промежуточная аттестация						0,3	1,7	Зачёт
	ИТОГО	8		40		4	0,3	63,7	108
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>								

Содержание разделов дисциплины

1. Антенные элементы для современных телекоммуникационных систем

Требования, предъявляемые к антенным устройствам в современных технологиях беспроводной связи. Классификация и физика работы антенных устройств, применяемых в современной технике. Основные характеристики антенных элементов. Широкополосные и сверхширокополосные антенные элементы. Спиральные антенны. Фрактальные антенны: виды, физика работы, характеристики. Многодиапазонные антенные элементы. Микрополосковые излучатели. Излучатель Вивальди: виды, физика работы, характеристики.

2. Антенные системы для современных телекоммуникационных систем

Требования, предъявляемые к антенным системам в современных технологиях беспроводной связи. Понятие антенной решётки (АР) Математическая модель антенных решёток изотропных излучателей: физика работы, типы антенных решеток и их классификация, множитель комбинирования. Применение в различных областях техники. Характеристики направленности АР. Расчёт диаграмм направленности АР. Фазированные

антенные решетки (ФАР). Активная ФАР (АФАР). Цифровая ФАР (ЦАР). Интеллектуальные антенные системы (SMART-антенны).

3. Интеллектуальные и адаптивные антенные системы

Когнитивные беспроводные сети связи: общий обзор характеристик, требования к антенным устройствам/системам. SMART-антенны. Адаптивные антенные системы: принципы, критерии и методы адаптации. Методы пространственной селекции сигналов с подавлением помех. Алгоритмы адаптивного диаграммообразования. Сверхразрешение.

4. Моделирование и расчёт антенных систем

Обзор коммерческих и открытых программных продуктов для моделирования и расчёта характеристик антенных устройств/систем. Знакомство с открытыми программными продуктами. Знакомство со студенческой версией коммерческого пакета CST Microwave Studio. Примеры моделирования и расчёта антенных устройств различного назначения.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения проводятся лекции, практические и лабораторные занятия, в ходе которых используются следующие типы занятий и образовательные технологии.

Вводная лекция - ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

Лабораторное занятие – это проведение студентами по заданию преподавателя опытов с использованием приборов, инструментов и других технических приспособлений, то есть это изучение каких-либо явлений с помощью специального оборудования. Лабораторные занятия, являясь одной формой учебных занятий, дают возможность наглядно сформировать представление об изучаемых явлениях и процессах, помогают овладеть техникой эксперимента, а также решать практические задачи путем постановки опыта.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Антенные системы в радиотехнике» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлены тексты лекций по отдельным темам дисциплины;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов. / Г. А. Ерохин, О. В. Чернов, Н. Д. Козырев, В. Г. Кочержевский; под ред. Г. А. Ерохина; М-во связи РФ - 3-е изд. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 491 с.
http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1059825&cat_cd=YARSU
2. Артемова Т. К. Антенны: учеб. пособие для вузов. / Т. К. Артемова, Н. И. Фомичев; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та - [2-е изд., испр. и доп.]. - Ярославль: ЯрГУ, 2010. - 107 с.
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20100701.pdf>
3. Нефедов Е. И. Устройство СВЧ и антенны: учеб. пособие для вузов. / Е. И. Нефедов; Гос. образовательное учреждение высшего проф. образования Моск. техн. ун-т связи и информатики - М.: Академия, 2009. - 376 с.
http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=606764&cat_cd=YARSU

б) дополнительная литература:

1. Марков Г. Т. Антенны: учебник для вузов. / Г. Т. Марков, Д. М. Сазонов; М-во высш. и сред. спец. образования СССР - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1975. - 528 с.
http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=692921&cat_cd=YARSU
2. Лавров А.С., Резников Г.Б. Антенно-фидерные устройства: учеб. пособие для вузов, М., Советское радио, 1974, 367с
http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=742436&cat_cd=YARSU
3. Кочержевский Г. Н., Антенно-фидерные устройства : учебник для вузов, М., Радио и связь, 1989, 350с
http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=786228&cat_cd=YARSU
4. Артемова Т. К. Антенны: учеб. пособие для вузов. / Т. К. Артемова, Н. И. Фомичев; Науч.-метод. совет ун-та ; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова - Ярославль: ЯрГУ, 2007. - 126 с.
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20070702.pdf>

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа и практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, хранящиеся на электронных носителях и обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие рабочим программам дисциплин.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся (группа обучающихся делится на две подгруппы).

Учебно-методическое обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав:

Автор:

Доцент кафедры инфокоммуникаций
и радиопизики, к. ф.-м. н.

(подпись)

А.С. Гвоздарёв

**Приложение № 1 к рабочей программе дисциплины
«Антенные системы в радиотехнике»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущей аттестации**

Задания для самостоятельной работы

Задания по теме № 1 «Антенные элементы для современных телекоммуникационных систем» – Домашнее задание №1

1. Амплитуда переменного тока частоты 100 МГц в элементарном электрическом диполе длины 1 см равна 1 мА. Определите величины напряжённостей электрической и магнитной составляющей электромагнитного поля диполя на расстоянии 1 км от диполя в направлении максимального излучения.
2. Элементарный электрический излучатель длины 1 см с амплитудой тока 1 мА создаёт на расстоянии 1 км магнитное поле напряжённости 10^{-8} А/м. Определите рабочую длину волны.
3. Определите мощность излучения элементарного электрического диполя с $l/\lambda=0,1$, создающего в воздухе на расстоянии 10 км в направлении максимального излучения напряжённость электрического поля 10 мВ/м.
4. Определите мощность излучения для электрического диполя длины 5 см с переменным током 1 А при длине волны 3 м.
5. Диаметр элементарного рамочного излучателя 1 см, амплитуда переменного тока на частоте 100 МГц составляет 1 мА. Определите величины напряжённостей электрического и магнитного полей рамки в направлении максимального излучения. Сравните их с величинами напряжённостей ЭМП, создаваемого элементарным электрическим диполем.
6. Сравните значение сопротивления излучения рамочной антенны, имеющей диаметр d и амплитуду переменного тока \dot{I} на частоте f , с сопротивлением излучения элементарного электрического излучателя.
7. Сравните сопротивление излучения элементарной щели длины l , питаемой переменным напряжением амплитуды \dot{U} на частоте f , с сопротивлением излучения элементарного электрического излучателя.
8. Симметричный вибратор длины $2l$ имеет синусоидальное распределение амплитуды переменного тока частоты f по длине: $I(z) = I_0 \sin(k(l - |z|))$. Определите напряжённости электрического и магнитного полей, создаваемых вибратором в произвольной точке в дальней зоне.
9. Определите диаграмму направленности симметричного вибратора из задачи 8 при длине вибратора, равной а) половине, б) одной, в) двум длинам волны.

10. Определите ширину ДН диполя Герца и рамки с током: а) по уровню 0,5; б) по первым нулям.
11. Определите ширину ДН линейной проволочной антенны с равномерным распределением амплитуды тока по длине: а) по уровню 0,5; б) по первым нулям.
12. Определите ширину ДН симметричного полуволнового вибратора: а) по уровню 0,5; б) по первым нулям.

Задания по теме № 2 «Антенные системы для современных телекоммуникационных систем» – Домашнее задание №2

1. На поле излучения элементарного электрического излучателя длиной 0,1 м накладывается условие: на расстояниях, превышающих 10 м, оно должно быть безопасным для человека. При работе на частоте 100 МГц предельно допустимый уровень напряжённости электрического поля составляет 3 В/м. Определите пределы изменения подводимой мощности. КПД антенно-фидерного устройства 70 %. Рассмотреть направление максимального излучения.
2. Чувствительность приёмного устройства -140 дБ/В, динамический диапазон 120 дБ. Амплитуда тока в элементарном электрическом излучателе длины 10 см на частоте 100 МГц составляет 1 мкА. Определите границы допустимых перемещений приёмника, регистрирующего сигнал такого излучателя. Рассмотреть направление максимального излучения.
3. Элементарный электрический излучатель длины 5 см с переменным током 1 мА работает на частоте 450 МГц. Предельно допустимая для человека плотность потока мощности в этом диапазоне составляет 10 мкВт/см². Определите, на каком расстоянии в дальней зоне по направлению максимального излучения может находиться человек от такого излучателя.
4. Определите границы дальней и ближней зон для следующих антенн: а) линейной антенны длиной 1 м, работающей на частоте 450 МГц; б) электрического диполя длиной 0,1 м, работающего на частоте 100 МГц; в) зеркальной параболической антенны с диаметром зеркала, равным длине волны, на частоте 5 ГГц; г) рупорной антенны с раскрывом 0,1×0,1 м для длины волны 5 см.
5. Определите диапазон линейных размеров антенн, для которых на частоте 900 МГц дальняя зона начинается с расстояния 5 м.
6. Элементарный электрический излучатель длины l , имеющий амплитуду переменного тока \dot{I} на частоте f , расположен вертикально на высоте h над идеально проводящей подстилающей поверхностью. Определите величины напряжённостей электрического и магнитного полей излучателя в дальней зоне.

Задания по теме № 3 «Адаптивные антенные системы» – Задания для фронтального опроса:

1. Оптимальная обработка сигналов в антенных решётках узкополосных систем:
 - 1.1. Общие характеристики оптимальных критериев обработки сигналов в антенных решётках.
 - 1.2. Критерий средней квадратической ошибки.
 - 1.3. Критерий отношения сигнал/шум.
 - 1.4. Критерий максимума правдоподобия.
 - 1.5. Критерий минимума дисперсии шума.
 - 1.6. Взаимосвязь оптимальных решений.
2. Адаптивные алгоритмы:
 - 2.1. Общие характеристики адаптивных алгоритмов.
 - 2.2. Градиентные алгоритмы.
 - 2.3. Адаптивный процессор Хауэлса-Аппельбаума.
 - 2.4. Непосредственное обращение выборочной ковариационной матрицы.

- 2.5. Рекуррентные методы обработки сигналов в антенных решётках.
- 2.6. Каскадные предпроцессоры.
- 2.7. Алгоритмы случайного поиска.
- 2.8. Сравнение характеристик адаптивных алгоритмов.

1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов к зачёту:

1. Классификация антенных устройств.
2. Характеристики антенных систем.
3. Коллинеарные и апертурные антенны. Особенности и физические принципы функционирования.
4. Понятие фрактала. Фрактальные антенные структуры. Их характеристики. Перспективы использования.
5. Основные факторы, влияющие на диаграммообразование. Задача определения поля в ближней зоне антенны.
6. Типы антенных решеток и их классификация. Области применения и предъявляемые требования. Технические характеристики.
7. Фазированные антенные решетки. Типы излучателей. Расчёт диаграммы направленности.
8. Антенны электронного сканирования. Коммутационное сканирование. Скачки луча коммутационной решетки.
9. Численные методы исследования характеристик ФАР. Математическая модель ФАР. Обзор программного обеспечения и его возможностей.
10. Методы пространственной селекции сигналов с подавлением помех. Пример расчёта с обеспечением требуемых защитных соотношений.
11. Алгоритмы диаграммообразования. Адаптивное диаграммообразование. Критерии оптимизации.
12. Принципы построения и обработка сигналов в ММО системах.
13. Алгоритмы сверхразрешения. Пространственно-временное кодирование.
14. Поляризация и принципы поляризационного разделения.
15. Антенны с обработкой сигналов.
16. Гибридные антенны. Многолучевые антенные решетки.

Правила выставления оценки на зачёте

Изучение дисциплины заканчивается зачётом. Во время подготовки к зачёту предусмотрена групповая консультация.

Билет зачёта состоит из одного теоретического вопроса и одной задачи по материалам курса.

1. Теоретический вопрос в билете оценивается в 3 балла:
 - 3 балла, если вопрос раскрыт более чем на 90% от требуемого объёма. При этом студент демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом электродинамики; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Даёт развернутые, полные и чёткие ответы на вопрос билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует терминологию электродинамики.
 - 2 балла, если вопрос раскрыт более чем на 70%, но менее чем на 90% от требуемого объёма. При этом ответ в целом соответствует указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой. В

ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим студентом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

- 1 балл, если вопрос раскрыт более чем на 50%, но менее чем на 70% от требуемого объёма. При этом студент демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагаются в терминах технической электродинамики, но допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или даёт неверные ответы.

Итоговая оценка высчитывается исходя из суммарного балла

В результате, для получения оценки «зачтено» необходимо, чтобы суммарный балл был не ниже 4.

Приложение № 2 к рабочей программе дисциплины «Антенные системы в радиотехнике»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой занятий по дисциплине «Антенные системы в радиотехнике» являются практические занятия.

На практических занятиях излагается необходимый минимум теоретических сведений, ставятся вопросы, на которые надо найти ответ самостоятельно, даются рекомендации по подбору литературы, даются отсылки к нормативной базе. Теоретический материал представляет собой компиляцию из огромного количества источников, поэтому материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома ещё раз прорабатывать и дополнять информацией, полученной из учебной и научной литературы. Отрабатываются полученные знания, разбираются практические ситуации, приобретаются практические знания по работе с реальным оборудованием.

Для успешного освоения дисциплины обязательно выполнение всех домашних заданий, они являются формой текущей аттестации. В качестве заданий для самостоятельной работы дома предлагаются задания, аналогичные разобранным на практических занятиях или немного более сложные, которые являются результатом объединения нескольких базовых заданий. Некоторые задания относятся к категории заданий повышенной сложности, они подразумевают применение вычислительной техники с математическими пакетами, например, Matematica, MathCad, MATLAB, R, Stetistica или их бесплатных, свободно распространяемых аналогов, например, Octave, SciLAB, FreeMat и других или онлайн-вычислений (пользуйтесь любым удобным Вам способом). По окончании практического курса проводится контрольная работа, включающая в себя задания, интегрирующие множество мелких освоенных задач в один расчётный проект.