

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
электроники



Усков Г.К.

20.05.2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.04.01 Системы связи на основе цифровых антенных решеток

1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:

03.04.03 Радиофизика

2. Профиль подготовки/специализация:

Системы телекоммуникаций и радиоэлектронной борьбы

3. Квалификация (степень) выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: электроники

6. Составители программы:

Шапошникова Ж.В., кандидат физико-математических наук

7. Рекомендована:

НМС физического факультета 20.05.2025, № протокола: 5

8. Учебный год: 2026/2027

Семестр(ы): 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цели и задачи курса заключаются в изложении теоретических и практических основ построения систем связи на основе антенных решеток, в том числе цифровых, подготовке студентов к применению полученных знаний для моделирования характеристик систем связи в условиях действия помех.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к профессиональному циклу и является обязательной дисциплиной вариативной части. Для успешного освоения её теоретической части студенты должны знать основы радиоэлектроники, владеть теорией распространения электромагнитных волн, теорией матричного исчисления. Для освоения практических методов дисциплины студенты должны уметь использовать математические пакеты прикладных программ.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-3	способностью к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач	Студент должен знать принципы построения и функционирования систем связи передачи информации (антенная система, модем, канал связи). Студент должен знать принципы работы антенной системы на основе антенных решеток, в том числе цифровой, и методы расчета основных характеристик.
ПК-1	способностью использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики и радиофизики	Студент должен уметь рассчитывать основные параметры и характеристики систем радиосвязи, владеть методологическим аппаратом проведения экспериментальных измерений основных параметров и характеристик систем связи передачи информации.
ПК-3	способностью применять на практике навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей	Студент должен уметь систематизировать свои знания в области проектирования систем связи на основе ЦАР, делать обзор современного состояния проблемы.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 2/72.

Форма промежуточной аттестации зачет.

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		3 семестр		...
Аудиторные занятия	38	38		
в том числе: лекции	26	26		
практические	12	12		
лабораторные				
Самостоятельная работа	34	34		
Форма промежуточной аттестации (зачет – 0 час. / экзамен – ____ час.)				
Итого:	72	72		

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Структура системы связи передачи информации	Структура системы связи: антенная система, канал связи, модем.
1.2	Основные характеристики системы связи.	Эквивалентная излучаемая мощность, ДН, УБЛ, напряженность поля в точке приема, потери в канале связи, скорость передачи информации
1.3	Энергопотенциал линии связи	Бюджет канала связи. Дальность связи, в том числе в условиях помех.
1.4	Построение активной фазированной антенной решетки	Приемопередающий модуль АФАР. Активные приборы, используемые в модулях. Особенности расчета характеристик АФАР.
1.5	Цифровая интеллектуальная ФАР.	Структура ЦИФАР и ее основные алгоритмы обработки сигналов. Параметры и конструкция типичных ППМ для систем с ЦАР.(АЦП И ЦАП).
1.6	Алгоритмы цифрового формирования диаграммы направленности	Двумерное сканирование лучом в плоской АР. Кольцевые эквидистантные АР. Методы, используемые для корректного построения теории
1.7	Адаптивные цифровые АР	Пространственная селекция и подавление помех. Пониженный уровень боковых лепестков. МIMO- системы на базе ЦАР.
2. Практические занятия		
2.1	Расчет дальности связи	Расчет дальности связи на основе двухлучевой модели распространения сигнала, с использованием моделей Окумура-Хата, Эгли, формула Введенского
2.2	Построение ДН	Построение ДН для линейной, круговой и двумерной плоской решеток.
2.3	Расчет дальности связи в условиях помех	Расчет дальности связи в условиях действия помех с пониженным уровнем боковых лепестков и в условиях дестабилизирующих факторов.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лаборат.	Самостоятельная работа	Всего
1	Структура системы связи передачи информации	4	0	0	4	8
2	Основные характеристики системы связи.	2	0	0	5	7
3	Энергопотенциал линии связи	4	0	4	5	13
4	Построение активной фазированной антенной решетки	4	0	0	5	9
5	Цифровая интеллектуальная ФАР.	4	0	0	5	9
6	Алгоритмы цифрового формирования диаграммы направленности	4	0	4	5	13
7	Адаптивные цифровые АР	4	0	4	5	13

Итого: 26 0 12 34 72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины необходима регулярная и планомерная работа с конспектом лекций и литературой, выполнение практических и лабораторных работ.

Лекции представляет собой систематическое, последовательное изложение учебного материала. На лекциях от студента требуется не просто внимание, но и самостоятельное оформление конспекта. Качественный конспект должен легко восприниматься зрительно, в его тексте следует соблюдать абзацы, выделять заголовки, пронумеровать формулы, подчеркнуть термины. Рекомендуется записывать не каждое слово лектора, а постараться записать его основную мысль, используя понятные сокращения.

После окончания лекции нужно просматривать конспект для определения материала, вызывающего затруднения для понимания. После этого следует обратиться к рекомендуемой в настоящей программе литературе с целью углубленного изучения проблемного вопроса. В общем случае работа лишь с одним литературным источником часто является недостаточной для полного понимания, поэтому необходимо просматривать несколько источников для выбора того, который наиболее полно и доступно освещает изучаемый материал. В случае если проблемы с пониманием остались, необходимо обратиться к преподавателю на ближайшей лекции с заранее сформулированными вопросами.

Для успешного освоения лекционного курса рекомендуется регулярно повторять изученный материал, и проверять свои знания отвечая на контрольные вопросы в рекомендуемых учебных пособиях.

Лабораторные и практические занятия позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности практических занятий для подготовки к ним необходимо разобрать лекцию по соответствующей теме и ознакомиться с соответствующим разделом литературы. При выполнении лабораторных и практических работ необходимо обращать внимание на особенности функционирования исследуемых устройств. Подготовка к защите работ должна включать повторение лекционного материала и работу с предлагаемой учебной литературой. Перечень контрольных вопросов к защите приводится в методических указаниях к лабораторной работе. При оформлении пояснительной записки следует придерживаться правил ЕСКД.

Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:

- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;
- выполнение домашних заданий;
- работа над темами для самостоятельного изучения;
- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;
- подготовка к практическим и лабораторным работам, зачетам и экзаменам.

Кроме литературы из основного списка рекомендуется самостоятельно использовать дополнительную. Независимо от вида учебника, работа с ним должна происходить в течение всего семестра. Эффективнее работать с учебником не после, а перед лекцией.

В процессе самостоятельной работы следует занимать активную позицию и пользоваться не только рекомендованной литературой, но и самостоятельно найденными источниками. Для проверки знания по изученной теме необходимо ответить на контрольные вопросы, выдаваемые преподавателем на лекциях в конце изучения соответствующего раздела. При изучении дисциплины рекомендуется использовать возможности сети интернет для получения дополнительной информации по рассматриваемой теме.

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей, вовремя подключаться к онлайн-занятиям, ответственно подходить к выполнению заданий для самостоятельной работы.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	В.М. Вишневецкий Широкополосные беспроводные сети передачи информации/В.М Вишневецкий и др.-М. Техносфера,2005.-579с.
2.	Воскресенский Д.И.Активные фазированные антенные решетки/Воскресенский Д.И. и А.И.Канащенкова.-М.:Радиотехника,2004.-488с.
3.	Григорьев Л.Н.Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках/Григорьев Л.И.-М.радиотехника,2010-144с.
4.	Ермолаев В.Т., Флакман А.Г. Методы оценивания параметров источников сигналов и помех, принимаемых антенной решеткой. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Новые подходы к проблемам генерации, обработки, передачи, хранения, защиты информации и их применение». Нижний Новгород, 2007, 98 с..
5.	Аверина Л.И. Прогнозирование бюджета канала связи для цифровых систем: учебное пособие / Л.И. Аверина, Ж.В. Шапошникова; Воронежский государственный университет. - Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2020. - 63 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
6.	Рекомендация МСЭ-R Р.1546-4 (10/2009) Метод прогнозирования для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц
7.	Долуханов М.П. Распространение радиоволн/М.П.Долуханов.-М.:Связь,1972-с.336

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
8.	Электронная библиотека Зональной научной библиотеки Воронежского госуниверситета : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/zgate?Init+elib.xml,simple_elib.xml+rus
9.	Электронно-библиотечная система «ЮРАЙТ» : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1457
10.	Электронно-библиотечная система "Издательство "Лань" : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1308
11.	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online" : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1307
12.	Электронно-библиотечная система "Консультант студента" : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1306

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	Ермолаев В.Т., Флакман А.Г. Методы оценивания параметров источников сигналов и помех, принимаемых антенной решеткой. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Новые подходы к проблемам генерации, обработки, передачи, хранения, защиты информации и их применение». Нижний Новгород, 2007, 98 с..
2.	Аверина Л.И. Прогнозирование бюджета канала связи для цифровых систем: учебное пособие / Л.И. Аверина, Ж.В. Шапошникова; Воронежский государственный университет. - Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2020. - 63 с.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы

При реализации дисциплины могут использоваться технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии на базе образовательного портала "Электронный университет ВГУ" по адресу edu.vsu.ru, а также другие доступные ресурсы сети Интернет.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Компьютер HP ProDeck 40065 DM/Монитор ЖК 22 Beng BL 2283 – 14 шт.

19. Фонд оценочных средств:**19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения**

Код и содержание компетенции (или ее)	Планируемые результаты обучения (показатели)	Этапы формирования	ФОС
---------------------------------------	--	--------------------	-----

части)	достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	(средства оценивания)
ОПК-3 способностью к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач	Студент должен знать принципы построения и функционирования систем связи передачи информации (антенная система, модем, канал связи). Студент должен знать принципы работы антенной системы на основе антенных решеток, в том числе цифровой, и методы расчета основных характеристик.	Структура системы связи: антенная система, канал связи, модем. Бюджет канала связи. Дальность связи, в том числе в условиях помех. Приемопередающий модуль АФАР. Особенности расчета характеристик АФАР. Структура ЦИФАР и ее основные алгоритмы обработки сигналов. Пространственная селекция и подавление помех. Пониженный уровень боковых лепестков. МIMO- системы на базе ЦАР.	Рефераты
ПК-1 способностью использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики и радиофизики	Студент должен уметь рассчитывать основные параметры и характеристики систем радиосвязи, владеть методологическим аппаратом проведения экспериментальных измерений основных параметров и характеристик систем связи передачи информации.	Расчет дальности связи системы с ЦАР в условиях действия помех с пониженным уровнем боковых лепестков и в условиях дестабилизирующих факторов.	Лабораторные задания
ПК-3 способностью применять на практике навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей	Студент должен уметь систематизировать свои знания в области проектирования систем связи на основе ЦАР, делать обзор современного состояния проблемы.	Структура системы связи: антенная система, канал связи, модем. Бюджет канала связи. Дальность связи, в том числе в условиях помех. Приемопередающий модуль АФАР. Особенности расчета характеристик АФАР. Структура ЦИФАР и ее основные алгоритмы обработки сигналов. Пространственная селекция и подавление помех. Пониженный уровень боковых лепестков. МIMO- системы на базе ЦАР.	Рефераты
Промежуточная аттестация			КИМ

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на зачёте используются следующие показатели:

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом курса;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) владение навыками расчёта основных характеристик помехоустойчивости систем цифровой связи

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области средств связи на основе ЦАР</i>	<i>Повышенный или базовый уровень</i>	<i>Зачтено</i>
<i>Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, не умеет применять теоретические знания для решения практических задач в области ЦАР для систем связи</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Не зачтено</i>

За реферат студент получает оценку «зачтено», если в нём полностью раскрыта тема и студент в состоянии ответить на дополнительные вопросы и объяснить связь теории, изложенной в реферате, с практическим применением.

За практическую работу студент получает оценку «зачтено», если может продемонстрировать процесс формирования цифровой ДН, расчёт основных параметров и характеристик, дать физическое объяснение полученным результатам и внести в программу модификации по требованию преподавателя.

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1.Перечень вопросов к зачёту

1. Структура системы передачи информации.
2. Эквивалентная излучаемая мощность, напряженность поля в точке приема, потери в канале радиосвязи.
3. Бюджет канала радиосвязи .
4. Формула Введенского для расчета напряжённости поля.
5. Формулы Окамура-Хата, Эгли
6. Алгоритмы цифрового формирования диаграммы направленности.
7. Двумерная прямоугольная антенная решетка. Кольцевая АР.
8. Соотношение сигнал/шум для системы связи с ЦАР.
9. Способы уменьшения боковых лепестков в системах связи с ЦАР.
10. Архитектура системы связи с ЦАР. Построение приемо-передающих модулей (ППМ).
11. Влияние характеристик ППМ на формирование ДН.

19.3.2.Перечень лабораторных заданий

1. Расчет дальности связи на основе двухлучевой модели
2. Расчёт дальности связи на основе эмпирических моделей :Окамура-Хата.Эгли
3. Построение ДН для линейной , круговой и двумерной плоской решеток.
4. Построение ДН с пониженными боковыми лепестками.
5. Построение ДН в условиях воздействия дестабилизирующих факторов.

6. Расчёт дальности в условиях воздействия помех для ДН с пониженными боковыми лепестками.
7. Расчёт дальности связи при отказах, возникающих в приемо-передающих модулях ЦАР.

19.3.3. Темы рефератов

1. Обзор методов «сверхразрешения» в радиолокации.
2. Обзор фазированных антенных решеток. Развитие современных средств связи на ЦАР.

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: *письменных работ (выполнение практико-ориентированных заданий и лабораторных работ, написание рефератов)*. Критерии оценивания приведены выше.

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе промежуточной аттестаций.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.