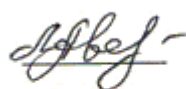


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий базовой кафедрой
системы телекоммуникаций и
радиоэлектронной борьбы



Аверина Л.И.

20.05.2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.04 Теория цифровой связи

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

03.04.03 Радиофизика

2. Профиль подготовки/специализация:

Системы телекоммуникаций и радиоэлектронной борьбы

3. Квалификация выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: *базовая кафедра системы телекоммуникаций и радиоэлектронной борьбы*

6. Составители программы:

Аверина Л. И., доктор физико-математических наук, профессор

7. Рекомендована:

НМС физического факультета 20.05.2025, № протокола: 5

8. Учебный год: *2025/2026*

Семестр(ы): *1,2*

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цели и задачи курса заключаются в изложении теоретических и практических основ современной цифровой радиосвязи, подготовке студентов к применению полученных знаний для проектирования модемов различных систем связи

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина является основной в части, формируемой участниками образовательных отношений. Для успешного освоения её теоретической части студенты должны знать теоретические основы радиотехники и статистической радиофизики, владеть аппаратом цифровой обработки сигналов. Для освоения практических методов дисциплины студенты должны уметь использовать математические пакеты прикладных программ и пакеты системного радиоэлектронного проектирования.

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен принимать участие в разработке и научных исследованиях систем связи и телекоммуникаций	ПК-1.1 ПК-1.3 ПК-1.4 ПК-1.5	Владеет фундаментальными знаниями в области систем связи и телекоммуникаций. Проводит анализ известных технических решений отдельных блоков систем связи, телекоммуникаций и радионавигации. Планирует и проводит лабораторное или компьютерное экспериментальное исследование отдельных блоков систем связи, телекоммуникаций и радионавигации. Разрабатывает новые технические решения блоков систем связи и телекоммуникаций под руководством более квалифицированного работника.	Знать: принципы работы современных систем цифровой связи, основные методы модуляции сигнала, кодирования, способы борьбы с замираниями, нелинейными искажениями сигнала Уметь: проводить моделирование работы системы цифровой связи и рассчитывать её основные характеристики помехоустойчивости Владеть: методологическим аппаратом проведения экспериментальных измерений основных параметров и характеристик систем цифровой связи

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 7/252.

Форма промежуточной аттестации: *зачёт, экзамен.*

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		1	2	...
Аудиторные занятия	74	38	36	

в том числе:	лекции	50	26	24	
	практические	24	12	12	
	лабораторные				
Самостоятельная работа		142	70	72	
в том числе: курсовая работа (проект)					
Форма промежуточной аттестации (экзамен – час.)		36		36	
Итого:		252	108	144	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Радиосигналы цифровой связи	Сигналы с высоким и низким соотношением бит/Гц. Классические и современные виды модуляции. Модуляторы и демодуляторы: классические схемы и алгоритмы цифровой обработки.
1.2	Радиоканалы ДКМВ, МВ, ДМВ, СВЧ диапазона	Типы каналов связи. Особенности распространения радиоволн в различных каналах. Дальность связи, пропускная способность канала. Области применения радиоволн различных частотных диапазонов.
1.3	Основные факторы, мешающие прохождению радиосигнала	Замирания быстрые и медленные. Математические модели радиоканалов.
1.4	Принципы построения систем связи в ДКМВ, МВ, ДМВ, СВЧ диапазонах	Системы связи «точка-точка», «точка-группа», mesh-сеть, сеть с базовой станцией. Особенности построения радиосистем специального назначения.
1.5	Вопросы теории и практики построения передающих и приёмных устройств с ЦОС	Помехоустойчивое кодирование. Теоретические аспекты аналогово-цифрового преобразования. Искажения сигналов в приёмо-передающих трактах и методы их компенсаций.
1.6	Многоканальные системы и системы со многими несущими	Многоканальная цифровая связь в каналах с АБГШ. Связь со многими несущими
1.7	Связь в ограниченных по полосе линейных фильтровых каналах	Линейное выравнивание. Выравнивание с обратной связью по решению. Адаптивные эквалайзеры
1.8	Особенности практического построения передающих и приёмных устройств с ЦОС	Вопросы синхронизации по времени и частоте. Вокодер. Тракт цифрового интерполятора и дециматора.
2. Практические занятия		
2.1	Радиосигналы цифровой связи	Программная реализация различных алгоритмов цифровой модуляции и демодуляции сигнала
2.2	Радиоканалы ДКМВ, МВ, ДМВ, СВЧ диапазона	Программная реализация и расчёт характеристик помехоустойчивости систем цифровой связи с различными типами модуляции при прохождении через канал с аддитивным белым гауссовским шумом
2.3	Основные факторы, мешающие прохождению радиосигнала	Программная реализация и расчёт характеристик помехоустойчивости систем цифровой связи с различными типами модуляции при прохождении через канал с частотно-селективными замираниями
2.4	Помехоустойчивое кодирование	Программная реализация различных алгоритмов кодирования и декодирования сигналов
2.5	Искажения сигналов в приёмо-передающих трактах	Программная реализация и расчёт характеристик помехоустойчивости систем цифровой связи с различными типами внутрисистемных искажений
2.6	Адаптивные эквалайзеры	Программная реализация и расчёт характеристик помехоустойчивости систем цифровой связи с различными типами адаптивных эквалайзеров при прохождении через канал с частотно-селективными замираниями

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Радиосигналы цифровой связи	8	6		24	38
2	Радиоканалы ДКМВ, МВ, ДМВ, СВЧ диапазона	6	3		16	25
3	Основные факторы, мешающие прохождению радиосигнала	6	3		16	25
4	Принципы построения систем связи в ДКМВ, МВ, ДМВ, СВЧ диапазонах	6			20	26
5	Вопросы теории и практики построения передающих и приёмных устройств с ЦОС	6	8		18	32
6	Многоканальные системы и системы со многими несущими	6			16	22
7	Связь в ограниченных по полосе линейных фильтровых каналах	6	4		16	26
8	Особенности практического построения передающих и приёмных устройств с ЦОС	6			16	22
	Итого:	50	24		142	216

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.

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 усвоения 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.	Скляр, Бернард. <i>Цифровая связь : Теоретические основы и практическое применение</i> / Б. Скляр ; Пер. с англ. Е.Г. Грозы и др.; Под ред. А.В. Назаренко. — 2-е изд. — М. : Вильямс, 2003. — 1099 с.
2.	Прокис, Джон. <i>Цифровая связь</i> / Дж. Прокис ; Пер. с англ. Под ред. Д.Д. Кловского. — М.: Радио и связь, 2000. — 800с.
3.	<i>Системы цифровой связи: учебное пособие</i> / Л. И. Аверина. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2016. — 48с. <URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m16-71.pdf >.
4.	Сергиенко А.Б. <i>Цифровая обработка сигналов : Учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению подгот. дипломир. специалистов "Информатика и вычисл. техника"</i> / А.Б. Сергиенко. — СПб. : Питер, 2003. — 603 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5.	Феер К. <i>Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра</i> / К. Феер ; Пер. с англ. Под ред. В.И.Журавлёва — М.: Радио и связь, 2000. — 520с.
6.	<i>Широкополосные беспроводные сети передачи информации</i> / В.М. Вишневецкий [и др.] ; Рос. акад. наук, Ин-т проблем передачи информации. — М. : Техносфера, 2005. — 591 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
7.	<i>Электронная библиотека Зональной научной библиотеки Воронежского госуниверситета : электронно-библиотечная система.</i> — URL : https://lib.vsu.ru/zgate?Init+elib.xml,simple_elib.xml+rus
8.	<i>Электронно-библиотечная система «ЮРАЙТ» : электронно-библиотечная система.</i> — URL :

	https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1457
9.	Электронно-библиотечная система "Издательство "Лань" : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1308
10.	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online" : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1307
11.	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.	Системы цифровой связи: учебное пособие / Л. И. Аверина .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2016 .— 48с. <URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m16-71.pdf >.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

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 RAMEC МТЛ5-6400/8GB/500GB – 20 шт.

Коммутатор HPJ9981A – 1 шт.

Комплекс для проведения лекций, семинаров и презентаций – 1 шт.

Проектор Optoma W402 – 1шт.

Экран Cactus Wallscreen – 1 шт.

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Радиосигналы цифровой связи	ПК-1.1-ПК-1.5	Владеет фундаментальными знаниями в области систем связи и телекоммуникаций.	Практические задания
2.	Радиоканалы ДКМВ, МВ, ДМВ, СВЧ диапазона	ПК-1.1-ПК-1.5	Проводит анализ известных технических решений отдельных блоков систем связи, телекоммуникаций и радионавигации	Практические задания
3	Основные факторы, мешающие прохождению радиосигнала	ПК-1.1-ПК-1.5	Планирует и проводит лабораторное или компьютерное экспериментальное исследование	Практические задания

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
			отдельных блоков систем связи, телекоммуникаций и радионавигации.	
4	Принципы построения систем связи в ДКМВ, МВ, ДМВ, СВЧ диапазонах	ПК-1.1-ПК-1.5	Разрабатывает новые технические решения блоков систем связи и телекоммуникаций под руководством более квалифицированного работника	Реферат
5	Вопросы теории и практики построения передающих и приёмных устройств с ЦОС	ПК-1.1-ПК-1.5	Владеет фундаментальными знаниями в области систем связи и телекоммуникаций	Практические задания
6	Многоканальные системы и системы со многими несущими	ПК-1.1-ПК-1.5	Проводит анализ известных технических решений отдельных блоков систем связи, телекоммуникаций и радионавигации	Реферат
7	Связь в ограниченных по полосе линейных фильтровых каналах	ПК-1.1-ПК-1.5	Планирует и проводит лабораторное или компьютерное экспериментальное исследование отдельных блоков систем связи, телекоммуникаций и радионавигации.	Практические задания
8	Особенности практического построения передающих и приёмных устройств с ЦОС	ПК-1.1-ПК-1.5	Разрабатывает новые технические решения блоков систем связи и телекоммуникаций под руководством более квалифицированного работника	
Промежуточная аттестация форма контроля – зачёт, экзамен				Перечень вопросов к зачёту Перечень вопросов к экзамену

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: практические задания, рефераты.

Перечень практических заданий:

1. Смоделировать работу модулятора/демодулятора последовательного модема с созвездиями: BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64.
2. Смоделировать работу модулятора/демодулятора OFDM-модема с созвездиями: BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64.
3. Рассчитать характеристики помехоустойчивости работы последовательного модема с созвездиями BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64 в канале с белым гауссовским шумов.
4. Рассчитать характеристики помехоустойчивости работы OFDM-модема с созвездиями BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64 в канале с белым гауссовским шумов
5. Рассчитать характеристики помехоустойчивости работы последовательного модема с созвездиями BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64 в релейском и райсовском каналах.
6. Рассчитать характеристики помехоустойчивости работы OFDM-модема с созвездиями BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64 в релейском и райсовском каналах.
7. Рассчитать характеристики помехоустойчивости работы последовательного модема с созвездиями BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64 в канале с белым гауссовским шумов при применении различных алгоритмов кодирования и декодирования
8. Рассчитать характеристики помехоустойчивости работы OFDM-модема с созвездиями BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64 в канале с белым гауссовским шумов при применении различных алгоритмов кодирования и декодирования
9. Рассчитать характеристики помехоустойчивости работы последовательного модема с созвездиями BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64 в релейском канале с применением адаптивного эквалайзера
10. Рассчитать характеристики помехоустойчивости работы OFDM-модема с созвездиями BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64 в релейском канале с применением частотного эквалайзера
11. Смоделировать и проанализировать влияние нелинейности усилителя мощности на спектр излучаемого сигнала и характеристику помехоустойчивости системы
12. Смоделировать и проанализировать влияние дисбаланса в квадратурном модуляторе на спектр излучаемого сигнала и характеристику помехоустойчивости системы

Темы рефератов:

1. Обзор основных стандартов современных систем цифровой связи
2. Особенности применения радиоволн различных диапазонов для передачи информации

информации

3. Обзор основных типов канального кодирования, применяемых в современных системах цифровой связи

4. . Методы выравнивания частотно-селективного канала связи

5. Спектрально эффективные сигналы

6. Методы линеаризации передающего тракта систем цифровой связи

Практические задания выполняются студентами как в аудиториях, так и самостоятельно. Результаты предоставляются преподавателю. Переход к выполнению следующего практического задания возможен только при условии успешной сдачи предыдущей.

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 проектирования системы связи, расчёт её основных характеристик, дать физическое объяснения полученным результатам и внести в программу модификации по требованию преподавателя.

20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: вопросы к зачёту, вопросы к экзамену.

Перечень вопросов к зачёту:

1. Основные параметры цифровой системы связи
2. Основные параметры и характеристики сигналов с цифровой модуляцией
3. Алгоритмы модуляции и демодуляции для сигналов с амплитудной модуляцией
4. Алгоритмы модуляции и демодуляции для сигналов с частотной модуляцией
5. Алгоритмы модуляции и демодуляции для сигналов с фазовой модуляцией
6. Алгоритмы модуляции и демодуляции для сигналов с квадратурной модуляцией
7. Типы каналов связи
8. Особенности распространения радиоволн в различных каналах
9. Области применения радиоволн различных частотных диапазонов
10. Быстрые и медленные замирания
11. Математические модели радиоканалов

Перечень вопросов к экзамену:

1. Функциональная схема цифровой системы связи и основные преобразования
2. Линейные блочные коды
3. Сверточные коды
4. Турбокоды и LDPC-коды
5. Оптимальный приемник для канала с МСИ и АБГШ. Линейное выравнивание
6. Выравнивание с обратной связью по решению. Адаптивные эквалайзеры
7. Многоканальная цифровая связь в каналах с АБГШ
8. Системы связи со многими несущими
9. Искажения сигналов в приёмо-передающих трактах
10. Вокодер

Зачёт и экзамен проводятся в виде устного ответа на вопросы, заданные преподавателем из списка вопросов к зачёту (экзамену).

Для оценивания результатов обучения на зачете используются следующие показатели:

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом теории цифровой связи;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований.

Для оценивания результатов обучения на зачете используется 2-балльная шкала: «зачет», «незачет».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся владеет теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, частично умеет применять теоретические знания для решения практических задач	Пороговый уровень	Зачет
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, не умеет применять теоретические знания для решения практических задач	—	Незачет

Для оценивания результатов обучения на экзамене 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.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
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 проектирования систем связи	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, допускает ошибки при решении практических задач в области проектирования систем связи.	Базовый уровень	Хорошо
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, не умеет применять теоретические знания для решения практических задач в области проектирования систем связи	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, не умеет применять теоретические знания для решения практических задач в области проектирования систем связи	—	Неудовлетворительно