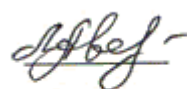


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий базовой кафедрой
системы телекоммуникаций и
радиоэлектронной борьбы

Аверина Л.И.



31.01.2024г.

**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 30.08.2021, № протокола: 8

8. Учебный год: 2024/2025

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.xsl+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 шумом.
4. Рассчитать характеристики помехоустойчивости работы OFDM-модема с созвездиями BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64 в канале с белым гауссовским шумом
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 шумом 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 шумом 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 приёмно-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
<i>Обучающийся владеет теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, частично умеет применять теоретические знания для решения практических задач</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Зачет</i>
<i>Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, не умеет применять теоретические знания для решения практических задач</i>	–	<i>Незачет</i>

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
<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 проектирования систем связи</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>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.</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>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</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, не умеет применять теоретические знания для решения практических задач в области проектирования систем связи</i>	<i>–</i>	<i>Неудовлетворительно</i>