

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра радиотехнических систем

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С. Огнев

«23» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины

«Системы передачи на основе сигналов высокой размерности»

Направление подготовки

«11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Магистерская программа

«Сети, системы и устройства телекоммуникаций»

Форма обучения

очная

Программа рассмотрена
на заседании кафедры
от «18» 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 «Системы передачи на основе сигналов высокой размерности» являются: овладение основами передачи информации на основе сигналов высокой размерности (сигналов с ортогональным пространственным, частотным, временным разделением) в условиях каналов с частотно-временным рассеянием, формирование основ научного мировоззрения.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Системы передачи на основе сигналов высокой размерности» относится к дисциплинам по выбору Блока 1 части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.ДВ.02.02). Дисциплина закладывает у учащихся основные понятия и умения в области систем передачи информации на основе сигналов высокой размерности, использует знания, полученные при изучении дисциплин математического и естественнонаучного, а также профессионального циклов: "Математический анализ", "Теория вероятности", "Линейная алгебра", "Радиоэлектроника" и др. Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины будут использованы студентами при изучении дисциплин базовой и вариативной частей профессионального блока учебного плана направления, а также при написании магистерской диссертации.

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

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ООП 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-2 Способен к организации и самостоятельному выполнению фундаментальных и (или) прикладных исследований теоретического и (или) экспериментального характера	ИД_ПК-2.1 Составляет план проведения исследований и при необходимости корректирует его с учётом текущих результатов исследования ИД_ПК-2.2 Самостоятельно выполняет исследования теоретического и (или) экспериментального характера в соответствии с планом	Знать: основы теории сигналов высокой размерности и построения систем передачи с их применением; основы помехоустойчивого кодирования в системах передачи на основе технологии с ортогональным частотным и пространственным разделением, основные принципы организации синхронизации в системах передачи на основе технологии с ортогональным частотным и пространственным разделением, особенности построения существующих цифровых систем на основе технологии OFDM, MIMO-OFDM. Уметь: формировать идеализированное представление об объекте и отбрасывать несущественные его свойства; строить математические модели сигналов и радиоканалов с частотно-временным рассеянием на основе сделанных идеализаций и допущений; исследовать характеристики каналов и систем передачи численными или аналитическими средствами; делать содержательные технические или физические выводы о свойствах цифровых систем передачи. Владеть: методами и приемами анализа систем передачи информации на основе сигналов высокой размерности.

4. Объём, структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет **2** зачёт. ед., **72** акад. час.

№ 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	Введение в дисциплину. История развития систем передачи на основе сигналов высокой размерности (СВР)			3				5,7	устный опрос
2	Математическое описание сигналов и каналов передачи на основе сигналов СВР			3				9	устный опрос
3	Математические основы построения систем передачи на основе сигналов СВР			3				9	устный опрос
4	Помехоустойчивое кодирования в системах передачи на основе технологии OFDM			3				9	устный опрос
5	Синхронизации в системах передачи на основе технологии OFDM. Цифровые системы передачи на основе технологии OFDM.			3				9	устный опрос
6	Цифровые системы передачи на основе технологии MIMO-OFDM.			3				9	устный опрос
	Консультации по дисциплине					3			
	Приём зачёта						0,3		Зачёт
	ИТОГО	3		18		3	0,3	50,7	72
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>								

Содержание разделов (тем) дисциплины:

1. Введение в дисциплину. История развития систем передачи на основе технологии мультиплексирования с применением сигналов высокой размерности (СВР).
2. Математическое описание сигналов и каналов передачи с ортогональным частотным и пространственным разделением (MIMO -OFDM). Векторная модель сигналов. Временная структура сигналов СВР, основные свойства и характеристики. Модель сигналов на выходе

канала с аддитивным широкополосным гауссовым шумом. Модели каналов с частотно-временным рассеянием. Модель сигналов на выходе канала с частотным рассеянием. Причины нарушения ортогональности.

3. Математические основы построения систем передачи на основе технологии мультиплексирования с ортогональным частотным и пространственным разделением. Обоснование возможности повышения спектральной и энергетической эффективности ЦСП с OFDM по сравнению с одноканальными системами. Применение процедуры ДПФ для реализации ортогонального частотного разделения. Типовая функциональная схема ЦСП с OFDM. Матричное представление сигналов в различных точках схемы. Понятие QAM-символа. Временная и битовая структура цикла. Расчет скорости передачи данных. Причины возникновения фазовой нестабильности на выходе канала. Фазовые шумы генераторов передающих и приемных устройств. Межсимвольная и межканальная интерференция.

4. Помехоустойчивое кодирования в системах передачи на основе технологии OFDM. Виды помехоустойчивого кодирования: блочное кодирование, сверточное кодирование, каскадное кодирование, рондомизация, перемежение. Основные характеристики. Построение декодирующих устройств. Декодер Витерби.

5. Синхронизации в системах передачи на основе технологии OFDM. Синхронизация несущей, тактовая синхронизация, цикловая синхронизация. Функциональные схемы устройств синхронизации. Модели и характеристики устройств синхронизации. Применение цепей Маркова для моделирования устройств тактовой и цикловой синхронизации. Цифровые системы передачи на основе технологии OFDM. Беспроводные локальные сети на основе технологии OFDM. Стандарты IEEE 802.11a,g, IEEE 802.16, DVB-T (EN 300 744), DRM. Схемы преобразования сигналов и данных. Временная и битовая структура пакетов. Основные характеристики. Виды помехоустойчивого кодирования. Синхронизация. Расчет скорости передачи данных, спектральной эффективности. Область применения.

6. Цифровые системы передачи на основе технологии MIMO- OFDM. Цифровые системы передачи со многими антеннами на «входе и выходе». Принцип ортогонального частотного и пространственного разделения. Условия организации независимых каналов. Расчет скорости передачи данных, спектральной эффективности. Особенности стандарта IEEE 802.11n. Схема преобразования сигналов и данных. Временная и битовая структура пакета. Основные характеристики. Реализация технологии MIMO OFDM на основе интеллектуальных антенн - цифровых фазированных решёток.

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

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков. Практическое занятие строится на материале академической лекции. В ходе занятия отрабатываются практические приемы анализа и расчета радиотехнических устройств (генераторов различного типа).

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

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- для формирования текстов материалов к промежуточной и текущей аттестации – программы Microsoft Office, издательская система LaTeX;
- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ –

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

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», рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л. и др. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. М.: Техносфера, 2005. 592 с.
2. Сердюков П.Н., Бельчиков А.В., Дронов А.Е. и др. Защищенные радиосистемы цифровой передачи информации: Учебное пособие для вузов. М.: АСТ, 2006. 403 с.

б) дополнительная литература

1. Сухман С.М., Бернов А.В., Шевкопляс Б.В. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений. М.: Эко-Трендз, 2002. 272 с.
2. Брени С. Синхронизация цифровых сетей связи: Пер. с англ. М.: Мир, 2003. 456.
3. Стандарты Европейского института ЕСЭ.

4. Нормативно-технические документы МСЭ.в) ресурсы сети «Интернет»

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ
(http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).

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

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ
(http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).

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

- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- 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.

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 аудитории для практических занятий (семинаров) равно списочному составу группы обучающихся.

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

а) Профессиональные базы данных:

1. Портал научной электронной библиотеки - <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Федеральная университетская компьютерная сеть России - <http://www.runnet.ru/>

б) Информационные справочные правовые системы:

1. СПС «Консультант-плюс» - <http://www.consultant.ru/>
2. СПС «Гарант» - <http://www.garant.ru/>

Автор(ы):

зав. кафедрой

радиотехнических систем, д. т. н.

должность, учёная степень

подпись

Л. Н. Казаков

И.О. Фамилия

Приложение № 1 к рабочей программе дисциплины
«Системы передачи на основе сигналов высокой размерности»
наименование дисциплины

Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине

Самостоятельная работа включает:

- информационно-аналитический поиск по теме;
- выполнение домашних заданий;
- выполнение творческих заданий;
- выполнение индивидуальных контрольных заданий в конце занятия;
- написание реферата на заданную тему.

Текущий контроль успеваемости производится на основании оценки ответов студентов в ходе устных опросов на практических занятиях, оценки за выполнение домашних и творческих заданий, оценки за выполнение индивидуальных контрольных заданий.

В конце семестра предусмотрен зачёт.

Вопросы к зачёту по курсу «Системы передачи на основе сигналов высокой размерности»:

1. Сигналы высокой размерности. Основные понятия, свойства и характеристики.
2. Векторная модель сигналов. Спектральная эффективность.
3. Модель сигналов на выходе канала с частотным рассеянием. Причины нарушения ортогональности.
4. Обоснование возможности повышения спектральной и энергетической эффективности ЦСП с OFDM по сравнению с одноканальными системами.
5. Применение процедуры ДПФ для реализации ортогонального частотного разделения.
6. Обобщенная функциональная схема ЦСП с OFDM. Матричное представление сигналов в различных точках схемы.
7. Временная и битовая структура цикла. Расчет скорости передачи данных.
8. Синхронизации в системах передачи на основе технологии OFDM. Синхронизация несущей, тактовая синхронизация, временная синхронизация.
9. Модели и характеристики устройств синхронизации. Применение цепей Маркова для моделирования устройств тактовой и временной синхронизации.
10. Межсимвольная интерференция в OFDM-канале. Причины возникновения. Способы борьбы с межсимвольной интерференцией.
11. Межканальная интерференция. В OFDM-канале. Причины возникновения. Способы компенсации межканальной интерференции. Системы компенсации на основе пилот-поднесущих без обратной связи.
12. Системы компенсации межканальной интерференции на основе информационных-поднесущих с обратной связью и без обратной связи.
13. Помехоустойчивое кодирования в системах передачи на основе технологии OFDM. Блочное кодирование. Сверточное кодирование. Каскадное кодирование. Перемежение. Основные характеристики.

14. Общая схема цифрового приёмника OFDM-сигналов. Последовательная процедура демодуляции, детектирования и декодирования. Оптимальная демодуляция. Оптимальное детектирование.
15. Общие принципы построения декодирующих устройств цифрового OFDM-приемника. Особенности применения алгоритма Витерби.
16. Беспроводные локальные сети на основе IEEE 802.11a,g. Временная и битовая структура пакета. Основные характеристики. Расчет скорости передачи, спектральной эффективности. Область применения.
17. Беспроводные сети на основе технологии IEEE 802.16. Временная и битовая структура пакета. Основные характеристики. Расчет скорости передачи, спектральной эффективности. Область применения.
18. Система цифрового телевидения DVB-T на основе EN 300 744. Схема преобразования сигналов и данных в передатчике и приемнике. Временная и битовая структура пакета. Основные характеристики. Расчет скорости передачи, спектральной эффективности.
19. Система цифрового радиовещания DRM. Схема преобразования сигналов и данных в передатчике и приёмнике. Временная и битовая структура пакета. Основные характеристики. Расчет скорости передачи, спектральной эффективности.
20. Системы высокоскоростного проводного доступа на основе технологии ADSL. Схема преобразования сигналов и данных в передатчике и приемнике. Временная и битовая структура пакета. Основные характеристики. Расчет скорости передачи данных, спектральной эффективности.
21. Цифровые системы передачи со многими антеннами на «входе и выходе» (MIMO-OFDM). Принцип ортогонального частотного и пространственного разделения. Условия организации независимых каналов. Расчет скорости передачи данных, спектральной эффективности.
22. Основные характеристики стандарта IEEE 802.11n. Схема преобразования сигналов и данных. Временная и битовая структура пакета. Основные характеристики.
23. Реализация систем передачи MIMO-OFDM на основе интеллектуальных антенн - цифровых фазированных решёток.

Оценивание уровня сформированности компетенций в процессе освоения дисциплины осуществляется по следующей трёхуровневой шкале:

Пороговый уровень - предполагает отражение тех ожидаемых результатов, которые определяют минимальный набор знаний и (или) умений и (или) навыков, полученных студентом в результате освоения дисциплины. Пороговый уровень является обязательным уровнем для студента к моменту завершения им освоения данной дисциплины.

Продвинутый уровень - предполагает способность студента использовать знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности, полученные при освоении дисциплины, для решения профессиональных задач. Продвинутый уровень превосходит пороговый уровень по нескольким существенным признакам.

Высокий уровень - предполагает способность студента использовать потенциал интегрированных знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, полученных при освоении дисциплины, для творческого решения профессиональных задач и самостоятельного поиска новых подходов в их решении путем комбинирования и использования известных способов решения применительно к конкретным условиям. Высокий уровень превосходит пороговый уровень по всем существенным признакам.

Целью процедуры оценивания является определение степени овладения студентом ожидаемыми результатами обучения (знаниями, умениями, навыками и (или) опытом деятельности).

Процедура оценивания степени овладения студентом ожидаемыми результатами обучения осуществляется с помощью методических материалов, представленных в разделе «Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций»

Критерии оценивания степени овладения знаниями, умениями, навыками и (или) опытом деятельности, определяющие уровни сформированности компетенций

Пороговый уровень (общие характеристики):

- ☐ владение основным объёмом знаний по программе дисциплины;
- ☐ знание основной терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы без существенных ошибок;
- ☐ владение инструментарием дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- ☐ способность самостоятельно применять типовые решения в рамках рабочей программы дисциплины;
- ☐ усвоение основной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- ☐ знание базовых теорий, концепций и направлений по изучаемой дисциплине;
- ☐ самостоятельная работа на практических и лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, достаточный уровень культуры исполнения заданий.

Продвинутый уровень (общие характеристики):

- ☐ достаточно полные и систематизированные знания в объёме программы дисциплины;
- ☐ использование основной терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- ☐ владение инструментарием дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- ☐ способность самостоятельно решать сложные задачи (проблемы) в рамках рабочей программы дисциплины;
- ☐ усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- ☐ умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- ☐ самостоятельная работа на практических и лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

Высокий уровень (общие характеристики):

- ☐ систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам дисциплины;
- ☐ точное использование терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- ☐ безупречное владение инструментарием дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- ☐ способность самостоятельно и творчески решать сложные задачи (проблемы) в рамках рабочей программы дисциплины;
- ☐ полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;

- ☐ умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- ☐ активная самостоятельная работа на практических и лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

Правила выставления оценки на зачёте

Зачёт может проводиться в устной (письменной) форме или по результатам текущей аттестации. При проведении в устной форме в билет включается два теоретических вопроса. На подготовку к ответу даётся не менее 0,5 часа. По итогам зачета выставляется одна из оценок: «зачтено» или «незачтено».

Оценка «Зачтено» выставляется студенту, который даёт достаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагаются в терминах учебной дисциплины, при этом допускаются отдельные ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или даёт неверные ответы.

Оценка «Незачтено» выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; даёт неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или даёт неверные ответы.

Приложение № 2 к рабочей программе дисциплины

«Системы передачи на основе сигналов высокой размерности»

наименование дисциплины

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой усвоения учебного материала по дисциплине является самостоятельная работа студента, причём в достаточно большом объёме. По всем темам предусмотрены задания самостоятельной работы, на которых происходит закрепление изученного материала и отработка навыков анализа и проектирование радиотехнических систем передачи информации.

Освоить вопросы дисциплины самостоятельно студенту достаточно сложно. Посещение всех предусмотренных практических занятий является совершенно необходимым. Без упорных и регулярных самостоятельных занятий в течение семестра сдать экзамен практически невозможно.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

1. Для самостоятельной работы рекомендуется использовать учебную литературу, указанную в разделе № 8 данной рабочей программы.

2. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» (www.biblioclub.ru) - электронная библиотека, обеспечивающая доступ к наиболее востребованным материалам-первоисточникам, учебной, научной и художественной литературе ведущих издательств (*регистрация в электронной библиотеке – только в сети университета. После регистрации работа с системой возможна с любой точки доступа в Internet.).

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

1. Личный кабинет (http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_login.php) дает возможность получения on-line доступа к списку выданной в автоматизированном режиме литературы, просмотра и копирования электронных версий изданий сотрудников университета (учеб. и метод. пособия, тексты лекций и т.д.) Для работы в «Личном кабинете» необходимо зайти на сайт Научной библиотеки ЯрГУ с любой точки, имеющей доступ в Internet, в пункт меню «Электронный каталог»; пройти процедуру авторизации, выбрав вкладку «Авторизация», и заполнить представленные поля информации.

2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ (http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php) содержит более 2500 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете. Доступ в сети университета, либо по логину/паролю.

3. Электронная картотека «Книгообеспеченность» (http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_bookreq_find.php) раскрывает учебный фонд научной библиотеки ЯрГУ, предоставляет оперативную информацию о состоянии книгообеспеченности дисциплин основной и дополнительной литературой, а также цикла дисциплин и специальностей. Электронная картотека «Книгообеспеченность» доступна в сети университета и через Личный кабинет.

4. Материалы сайта <http://matlab.exponenta.ru/index.php>, посвященного вопросам моделирования цифровых цепей и сигналов.