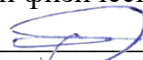


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова**

Кафедра радиотехнических систем

**УТВЕРЖДАЮ**

Декан физического факультета

  
(подпись)

И.С. Огнев

«21» мая 2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Системы передачи на основе сигналов высокой размерности»**

Направление подготовки  
03.04.03 Радиофизика

Направленность (профиль)  
Информационные процессы и системы

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры  
от «18» апреля 2024 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол № 5 от «30» апреля 2024 года

Ярославль

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины 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 относится к дисциплинам по выбору Блока 1 части, формируемой участниками образовательных отношений. Дисциплина закладывает у учащихся основные понятия и умения в области систем передачи информации на основе сигналов высокой размерности, требует знаний, умений и навыков в объёме бакалаврской программы направлений 03.03.03, 11.03.01, 11.03.02 и родственных, Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины будут использованы студентами 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
<b>Профессиональные компетенции</b>		
ПК-2 Способен к организации и самостоятельному выполнению фундаментальных и (или) прикладных исследований поискового, теоретического и (или) экспериментального характера включая моделирование с использованием программных средств общего и специального назначения	ИД_ПК-2.1 Составляет план проведения исследований и при необходимости корректирует его с учетом текущих результатов исследования	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– основы теории сигналов высокой размерности и построения систем передачи с их применением;</li><li>– основы помехоустойчивого кодирования в системах передачи на основе технологии с ортогональным частотным и пространственным разделением,</li><li>– основные принципы организации синхронизации в системах передачи на основе технологии с ортогональным частотным и пространственным разделением,</li><li>– особенности построения существующих цифровых систем на основе технологии OFDM, MIMO-OFDM.</li></ul>
	ИД_ПК-2.2 Самостоятельно выполняет исследования теоретического и (или)	<b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– формировать идеализированное представление об объекте и отбрасывать несущественные его свойства;</li></ul>

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
	экспериментального характера в соответствии с планом	<ul style="list-style-type: none"> <li>– строить математические модели сигналов и радиоканалов с частотно-временным рассеянием на основе сделанных идеализаций и допущений;</li> <li>– исследовать характеристики каналов и систем передачи численными или аналитическими средствами;</li> <li>– делать содержательные технические или физические выводы о свойствах цифровых систем передачи.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами и приемами анализа систем передачи информации на основе сигналов высокой размерности.</li> </ul>

#### 4. Объём, структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачёт. ед., 108 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		2				2,7	устный опрос
2	Математическое описание сигналов и каналов передачи на основе сигналов СВР	3		2		0,5		14	устный опрос
3	Математические основы построения систем передачи на основе сигналов СВР	3		2		0,5		14	устный опрос
4	Помехоустойчивое кодирования в системах передачи на основе технологии OFDM	3		3		0,5		14	устный опрос
5	Синхронизации в системах передачи на основе технологии OFDM.	3		3		0,5		14	устный опрос

6	Цифровые системы передачи на основе технологии OFDM.	3		3		0,5		14	
7	Цифровые системы передачи на основе технологии MIMO-OFDM.	3		3		0,5		14	устный опрос
	Приём зачёта	3					0,3		Зачёт
	<b>Всего за 3 семестр 108 часов</b>			<b>18</b>		<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>86,7</b>	
	<b>ИТОГО</b>			<b>18</b>		<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>86,7</b>	

### 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. Расчёт 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, свёрточное 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.

6. **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.

7. **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 решеток.

## **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 приёмы анализа и расчёта радиотехнических устройств (генераторов различного типа).

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

## **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.

## **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](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. Бакулин, М. Г. Технология ММО : принципы и алгоритмы / Бакулин М. Г. , Варукина Л. А. , Крейнделин В. Б. - Москва : Горячая линия - Телеком, 2014. - 244 с. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991204576.html>

### **б) дополнительная литература**

1. Федосов, В. П. Сети связи для многопользовательских систем в условиях канала с перекрестными помехами на основе OFDM-MIMO-принципов : монография / В. П. Федосов, В. В. Воронин, С. В. Кучерявенко и др. - Ростов н/Д : ЮФУ, 2019. - 165 с. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927533732.html>
2. Вишневский, В. М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / Вишневский В. М. , Портной С. Л. , Шахнович И. В. - Москва : Техносфера, 2009. - 472 с. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948362236.html>

### **в) ресурсы сети «Интернет»**

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)).
2. Стандарты Европейского института ЕТСЭ [etsi.org](http://etsi.org)
3. Нормативно-технические документы МСЭ <https://www.itu.int/ru/Pages/default.aspx>

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

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

- учебные аудитории для проведения 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.

Автор:

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»**

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

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

**Устный опрос**

Устный опрос проводится по вопросам из списка вопросов к зачету.

**Критерии оценивания ответов на вопросы опроса**

<b>Критерий</b>	<b>Пороговый уровень</b>	<b>Продвинутый уровень</b>	<b>Высокий уровень</b>
<b>Соответствие ответа вопросу</b>	Хотя бы частичное ( <i>не относящееся к вопросу не подлежит проверке</i> )	Полное	Полное
<b>Полнота ответа</b>	Вопрос раскрыт на 50 и более %	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Ответ полный и без ошибок

**2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации**

**Вопросы к зачету**

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.
6. Временная и битовая структура цикла. Расчет скорости передачи данных.
7. Синхронизации в системах передачи на основе технологии OFDM. Синхронизация несущей, тактовая синхронизация, временная синхронизация.
8. Модели и характеристики устройств синхронизации. Применение цепей Маркова для моделирования устройств тактовой и временной синхронизации.
9. Межсимвольная интерференция в OFDM-канале. Причины возникновения. Способы борьбы с межсимвольной интерференцией.

10. Межканальная интерференция. В OFDM-канале. Причины возникновения. Способы компенсации межканальной интерференции. Системы компенсации на основе пилот-поднесущих без обратной связи.
11. Системы компенсации межканальной интерференции на основе информационных-поднесущих с обратной связью и без обратной связи.
12. Помехоустойчивое кодирования в системах передачи на основе технологии OFDM. Блочное кодирование. Сверточное кодирование. Каскадное кодирование. Перемежение. Основные характеристики.
13. Общая схема цифрового приемника OFDM-сигналов. Последовательная процедура демодуляции, детектирования и декодирования. Оптимальная демодуляция. Оптимальное детектирование.
14. Общие принципы построения декодирующих устройств цифрового OFDM-приемника. Особенности применения алгоритма Витерби.
15. Беспроводные локальные сети на основе IEEE 802.11a,g. Временная и битовая структура пакета. Основные характеристики. Расчет скорости передачи, спектральной эффективности. Область применения.
16. Беспроводные сети на основе технологии IEEE 802.16. Временная и битовая структура пакета. Основные характеристики. Расчет скорости передачи, спектральной эффективности. Область применения.
17. 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.
18. Система цифрового радиовещания DRM. Схема преобразования сигналов и данных в передатчике и приемнике. Временная и битовая структура пакета. Основные характеристики. Расчет скорости передачи, спектральной эффективности.
19. 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.
20. 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.
21. Основные характеристики стандарта IEEE 802.11n. Схема преобразования сигналов и данных. Временная и битовая структура пакета. Основные характеристики.
22. Реализация систем передачи MIMO-OFDM на основе интеллектуальных антенн - цифровых фазированных решеток.

#### Критерии оценивания ответов на вопросы билета

Критерий	Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (на «хорошо»)	Высокий уровень (на «отлично»)
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное ( <i>не относящееся к вопросу не подлежит проверке</i> )	Полное	Полное
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем



<b>Критерий</b>	<b>Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)</b>	<b>Продвинутый уровень (на «хорошо»)</b>	<b>Высокий уровень (на «отлично»)</b>
			утверждениям
<b>Содержание ответа</b>	Понятийные вопросы изложены с классификациями, проблемные с постановкой проблемы и изложением различных точек зрения. Имеются ошибки или пробелы.	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Исчерпывающий полный ответ

### **3. Описание процедуры выставления оценки**

В зависимости от уровня сформированности каждой компетенции по окончании освоения дисциплины студенту выставляется оценка.

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.

## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Системы передачи на основе сигналов высокой размерности»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине являются практические занятия. Объем изучаемого материала в рамках дисциплины достаточно большой, вместе с тем учебный план предполагает всего одно аудиторное занятие раз в две недели.

Вследствие этого для успешного изучения дисциплины очень студентам важно проводить большой объем самостоятельной работы. На такую работу учебным планом отводится достаточно большое количество часов.

Проверка и контроль усвоения теоретического и практического материала осуществляется на каждом практическом занятии. Проводится устный опрос.

В конце семестра изучения дисциплины студенты сдают зачет. Оценка «зачтено» выставляется, если уровень сформированности компетенций, обеспечиваемых дисциплиной, не ниже порогового. Уровень сформированности компетенций оценивается по совокупности параметров, в том числе: ответов на вопросы устного опроса и ответов на вопросы билета в соответствии с критериями, приведёнными в рабочей программе.

Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины «Системы передачи на основе сигналов высокой размерности» самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала и большим объемом курса. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым. Без упорных и регулярных занятий в течение семестра сдать зачет по итогам изучения дисциплины студенту практически невозможно.

### **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине**

**1. Для самостоятельной работы** рекомендуется использовать учебную литературу, указанную в рабочей программе, и электронно-библиотечные системы, подписка на которые предоставлена через ЯрГУ, список и инструкцию по использованию которых можно найти по адресу: [http://www.lib.uniyar.ac.ru/content/resource/net\\_res\(1\).php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/content/resource/net_res(1).php).

Полезными для изучения являются также:

1. стандарты Европейского института ЕСЭ,
2. нормативно-технические документы МСЭ.