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

Кафедра цифровых технологий и машинного обучения

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
_____ И.С. Огнев
(подпись)

«17» мая 2022 г.

Рабочая программа дисциплины
«Сигналы в радиотехнических системах»

Направление подготовки
03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль)
Телекоммуникационные системы и технологии

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «28» апреля 2022 года, протокол № 9

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от «11» мая 2022 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения данной дисциплины является ознакомление студентов бакалавриата с теорией сигналов, основными подходами к синтезу сигналов, критериями оценки эффективности использования радиосигналов в различных радиотехнических системах.

Дисциплина должна обеспечивать формирование общетехнического фундамента подготовки будущих специалистов в области радиофизики, а также создавать необходимую базу для успешного овладения последующими специальными дисциплинами учебного плана. Она должна способствовать развитию творческих способностей студентов, умению формулировать и решать задачи изучаемой специальности, умению творчески применять и самостоятельно повышать свои знания. Эти цели достигаются на основе фундаментализации, интенсификации и индивидуализации процесса обучения путем внедрения и эффективного использования достижений инфокоммуникационных технологий. В результате изучения дисциплины у студентов должны сформироваться знания, умения и навыки, позволяющие проводить детальный анализ предпосылок и результатов использования конкретных типов сигналов, а также методов их формирования и приема в радиотехнических системах различного назначения.

Дисциплина взаимоувязывает знания студентов, полученные при изучении дисциплин, обеспечивающих базовую и специальную подготовку. Изучение каждого раздела дисциплины ведется одновременно на нескольких уровнях: на основе теоретических знаний демонстрируется решение конкретных практических задач с приведением численных примеров. Особое внимание уделяется рассмотрению современных тенденций, анализу экономических предпосылок развития и применения тех или иных решений, технологий и методов. Приобретаемые студентами знания и навыки необходимы как для создания новых радиотехнических устройств, так и для анализа уже существующих.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Данная дисциплина относится к дисциплинам по выбору. Она основывается на знаниях, полученных при изучении следующих дисциплин: «Математический анализ», «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Численные методы и математическое моделирование», «Векторный и тензорный анализ», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Статистическая радиофизика», «Аналоговые цепи и сигналы», «Цифровая электроника», «Цифровые цепи и сигналы».

В свою очередь данный курс, помимо самостоятельного значения, является предшествующей дисциплиной для других дисциплин: «Основы беспроводных телекоммуникаций», «Радиотехнические системы».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП бакалавриата

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП 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-1. Способен осуществлять сбор и обработку исходных данных для решения поставленных профессиональных задач в области радиофизики, осуществлять поиск, анализ и выбор методов их решения	ИД_ПК-1.2 Проводит анализ и обоснованный выбор методов решения профессиональных задач в области радиофизики	**Знать:** – Основные области применения адаптивной обработки сигналов. **Уметь:** – выбирать алгоритмы адаптивной обработки сигналов для решения профессиональных задач в области радиотехники. – подбирать гиперпараметры адаптивных алгоритмов с использованием средств компьютерного моделирования. **Владеть навыками:** – анализа адаптивных методов обработки сигналов в области радиотехники.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации *(по семестрам)*
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Введение	7	2					1	Устный опрос
2	Сигналы в системах аналоговой радиосвязи	7	1		12			2	Отчет по лабораторным работам
3	Сигнальные пары для передачи двоичных сигналов	7	3		10	1		2	Устный опрос. Контрольная работа №1. Отчет по лабораторной работе
4	Ансамбли сигналов для М-ичной передачи	7	5			1		2	Устный опрос. Контрольная работа №1.

5	Формирование ансамблей ортогональных сигналов	7	2			1		2	Устный опрос. Контрольная работа №1.
6	Преимущества широкополосных сигналов	7	2			1		2	Устный опрос
7	Сигналы для систем с многими пользователями. Особенности множественного доступа.	7	2		12	1		3	Отчет по лабораторной работе
	Всего		**17**		**34**	**5**		**14**	
							0,3	1,7	Зачет
	Всего с зачетом		**17**		**34**	**5**	**0,3**	**15,7**	

Содержание разделов дисциплины:

Тема №1. Введение.
– Назначение, задачи и структура курса.
– Базовые понятия курса. Классификация сигналов и радиотехнических систем.
– Фундаментальная граница Шеннона.

Тема №2. Сигналы в системах аналоговой радиосвязи.
– Амплитудная модуляция и ее модификации.
– Частотная и фазовая модуляции.

Тема №3. Сигнальные пары для передачи двоичных сигналов
– Гауссовский канал. Правило максимального правдоподобия. Синтез ансамблей сигналов с учетом оптимального решающего правила приемника.
– Геометрическая модель ансамбля сигналов.
– Бинарная амплитудная манипуляция.
– Бинарная частотная манипуляция.
– Бинарная фазовая манипуляция. Относительная фазовая манипуляция.
– Сравнительный анализ бинарных манипуляций.

Тема №4. Ансамбли сигналов для М-ичной передачи
– Получение аддитивной границы для вероятности ошибки.
– Постановка задачи синтеза ансамбля сигналов для М-ичной передачи.
– Объемная упаковка. Сферическая упаковка.
– Размерность сигнального пространства.
– Примеры ансамблей сигналов для М-ичной передачи. Квадратурная амплитудная манипуляция. Многопозиционная фазовая манипуляция.
– Ортогональные и симплексные сигналы.
– Комплексная огибающая. Аналитический сигнал.
– Синтез сигналов для некогерентного приема.
– Выигрыш от ортогонального кодирования и увеличение ширины полосы.

Тема №5. Формирование ансамблей ортогональных сигналов.
– Кодирование временным сдвигом.
– Кодирование частотным сдвигом.
– Ортогональное кодирование широкополосными сигналами. Матрица Адамара. Функции Уолша. Алгоритм Сильвестра.

Тема №6. Преимущества широкополосных сигналов.
– Воздействие узкополосной помехи.
– Воздействие заградительной помехи.
– Низкая вероятность обнаружения.
– Электромагнитная совместимость.

Тема №7. Сигналы для систем с многими пользователями. Особенности множественного доступа**.**
– Особенности работы систем с многими пользователями. Многопользовательский и однопользовательский алгоритмы приема.
– Методы множественного доступа. Частотное и временное разделение.
– Множественный доступ с синхронным кодовым разделением. Асинхронное кодовое разделение.
– Асинхронное кодовое разделение в сотовых сетях.

Перечень лабораторных работ

1. Синтез и спектральный анализ последовательностей периодических импульсов.
2. Изучение видов аналоговой модуляции.
3. Изучение видов манипуляции (цифровых модуляций).
4. Моделирование многоканальной системы с частотным разделением каналов.

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:

Вводная лекция – ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Лабораторное занятие – это проведение студентами по заданию преподавателя опытов с использованием приборов, инструментов и других технических приспособлений, то есть это изучение каких-либо явлений с помощью специального оборудования. Лабораторные занятия, являясь одной форм учебных занятий, дают возможность наглядно сформировать представление об изучаемых явлениях и процессах, помогают овладеть техникой эксперимента, а также решать практические задачи путем постановки опыта.

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 по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

для выполнения лабораторных работ:
- Matlab и Simulink.

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

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

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» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Ярмоленко В.И., Приоров А.Л. Сигналы в радиотехнических и телекоммуникационных системах: Учеб. пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2006. 100 с. URL: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20060715.pdf
2. Ярмоленко В.И., Приоров А.Л. Сигналы в радиотехнических и телекоммуникационных системах: Учеб. Пособие. Ч. 2. Ярославль: ЯрГУ, 2008. 140 с. URL: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20080787.pdf

б) дополнительная литература

1. Тараканов А.Н., Приоров А.Л. Сигналы в радиотехнических и телекоммуникационных системах: Лабораторный практикум. Ярославль: ЯрГУ, 2007. 108 с. URL: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20070708.pdf
2. Дубов М.А., Топников А.И. Компьютерное моделирование радиотехнических систем передачи информации: практикум / М.А. Дубов, А.И. Топников; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. - Ярославль: ЯрГУ, 2016. – 35 с. URL: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20160705.pdf
3. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. под ред. Д.Д. Кловского. - М.: Радио и связь, 2000. 800 с. URL: http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=294100&cat_cd=YARSU
4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебное пособие для вузов. М. Высшая школа, 2003. 462 с. URL: http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=305228&cat_cd=YARSU

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 занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- 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. Для проведения занятий

лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, хранящиеся на электронных носителях и обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие рабочим программам дисциплин.

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 лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока.

Авторы:
Доцент кафедры инфокоммуникаций и радиофизики, к.т.н., А.И. Топников

Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Сигналы в радиотехнических системах»

Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине

1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

1.1 Контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе текущей аттестации

Список вопросов для проведения устных опросов:

1. Базовые понятия: информация, данные, сообщение, сигнал.
2. Понятие радиотехнической системы. Классификация радиотехнических систем.
3. Широкополосность сигнала. База сигнала. Граница Шеннона.
4. Гауссовский канал. Объяснение применимости модели АБГШ с позиции центральной предельной теоремы статистики.
5. Задача приема с позиции задачи выбора сигналов. Геометрическая интерпретация. Энергия сигнала, скалярное произведение сигналов.
6. Расстояние между сигналами. Оптимальное решающее правило, основанное на правиле максимального правдоподобия.
7. Решающее правило для случая двоичной передачи. Оптимальный ансамбль сигналов.
8. Теоретическая помехоустойчивость БФМ, БЧМ, БАМ. Практические аспекты.
9. М-ичная передача. Оптимальный ансамбль сигналов.
10. Понятие сферической и объемной упаковки. Примеры двумерных созвездий.
11. Преобразование Гильберта. Огибающая сигнала, комплексная огибающая сигнала, аналитический сигнал.
12. М-ичная передача при некогерентном приеме. Особенности построения оптимального ансамбля сигналов.
13. Взаимосвязь энергетического выигрыша и ширины полосы при ортогональном кодировании.
14. Кодирование временным и частотным сдвигом. Сравнительный анализ методов.
15. Ортогональное кодирование широкополосными сигналами. Матрица Адамара. Функция Уолша.
16. Помехоустойчивость широкополосных сигналов. Влияние узкополосной и заградительной помехи.
17. Преимущества широкополосных сигналов с позиции защищенности к обнаружению передачи информации. Энергетический приемник (радиометр).

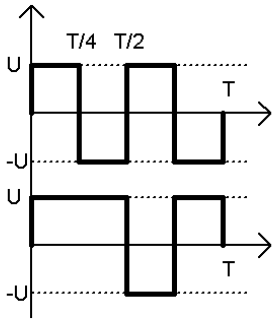
Критерии оценивания ответов на вопросы

Критерий	Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (на «хорошо»)	Высокий уровень (на «отлично»)

Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (*не относящееся к вопросу не подлежит проверке*)	Полное	Полное
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Содержание ответа	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	Исчерпывающ ий полный ответ

Пример заданий для контрольной работы:

1) Определите энергетические потери для пары сигналов (см. рис. ниже), используемых для бинарной передачи данных по АБГШ-каналу, по отношению к оптимальной паре. (2 балла)



2) В системе, передающей данные со скоростью 500 кбит/с, применение ортогонального кодирования не влечет энергетического выигрыша (по сравнению с системой без кодирования). Оцените полосу, занимаемую кодированными сигналами. (1 балл)

3) Найдите произведение матрицы Адамара размера M (H_M) и матрицы, полученной транспонированием H_M. Обобщите результат на случай произвольного значения M. (1 балл)

$$H_M = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Для получения оценки «отлично» необходимо набрать 4 балла, «хорошо» – 3 балла, «удовлетворительно» – 2 балла, «неудовлетворительно» – 1 балл и менее.

.

Перечень лабораторных работ

1. Синтез и спектральный анализ последовательностей периодических импульсов.
2. Изучение видов аналоговой модуляции.
3. Изучение видов манипуляции (цифровых модуляций).

4. Моделирование многоканальной системы с частотным разделением каналов.

Критерии оценивания ответов на вопросы при защите лабораторной работы

Показатели	На «Зачтено»	На «Не зачтено»
Формулы	Корректные, применимые в условиях данной задачи, в стандартных обозначениях или обозначения раскрыты.	В базовых выражениях допущены ошибки.
Графики	Построенная зависимость имеет верный вид, по осям указаны аргумент и имя функции со своими единицами, есть шкалы на осях, нанесены контрольные метки, соответствующие заданию.	Вид зависимостей неверный.
Схемы	Представлен правильный набор элементов или блоков в стандартных обозначениях, правильно соединённых друг с другом, указаны их номиналы (если это возможно по имеющимся данным), указаны места соединения или шины.	Неверный набор элементов или неверное их соединение, в том числе неверная полярность включения.
Объяснения (ответы на смысловые вопросы)	Даны развёрнутые, корректные ответы на все вопросы, с отсылками к наименованиям и формулировкам законов, указанием методов, аргументация логичная.	Объяснение отсутствует.

1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов к зачету:

1. Базовые понятия: информация, данные, сообщение, сигнал.
2. Понятие радиотехнической системы. Классификация радиотехнических систем.
3. Широкополосность сигнала. База сигнала. Граница Шеннона.
4. Гауссовский канал. Объяснение применимости модели АБГШ с позиции центральной предельной теоремы статистики.
5. Задача приема. Геометрическая интерпретация. Энергия сигнала, скалярное произведение сигналов.
6. Расстояние между сигналами. Оптимальное решающее правило, основанное на правиле максимального правдоподобия.
7. Решающее правило для случая двоичной передачи. Оптимальный ансамбль сигналов.
8. Теоретическая помехоустойчивость БФМ, БЧМ, БАМ. Практические аспекты.
9. М-ичная передача. Оптимальный ансамбль сигналов.
10. Понятие сферической и объемной упаковки. Примеры двумерных созвездий.
11. Преобразование Гильберта. Огибающая сигнала, комплексная огибающая сигнала, аналитический сигнал.
12. М-ичная передача при некогерентном приеме. Особенности построения оптимального ансамбля сигналов.

13. Взаимосвязь энергетического выигрыша и ширины полосы при ортогональном кодировании.
14. Кодирование временным и частотным сдвигом. Сравнительный анализ методов.
15. Ортогональное кодирование широкополосными сигналами. Матрица Адамара. Функция Уолша.
16. Помехоустойчивость широкополосных сигналов. Влияние узкополосной и заградительной помехи.
17. Преимущества широкополосных сигналов с позиции защищенности к обнаружению передачи информации. Энергетический приемник (радиометр).

Критерии оценивания ответов на вопросы

Критерий	**Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)**	**Продвинутый уровень (на «хорошо»)**	**Высокий уровень (на «отлично»)**
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (*не относящееся к вопросу не подлежит проверке*)	Полное	Полное
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Содержание ответа	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	Исчерпывающ ий полный ответ

3 Описание процедуры выставления оценки

Изучение дисциплины заканчивается зачётом.

Оценка «зачтено» выставляется, если: сданы все лабораторные работы, контрольная работа написана минимум на «удовлетворительно», студент участвовал хотя бы в одном устном опросе и ответил минимум на «удовлетворительно», ответ на вопрос билета дан не ниже чем на пороговом уровне.

Если же часть компонент имеет уровень ниже порогового, выставляется оценка «не зачтено».

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины
«Сигналы в радиотехнических системах»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Освоить вопросы дисциплины «Сигналы в радиотехнических системах» самостоятельно студенту достаточно сложно. Посещение всех предусмотренных занятий является совершенно необходимым. Особое внимание также стоит уделить самостоятельной работе, в том числе, для подготовки к выполнению и сдаче лабораторных работ.

Основной формой занятий по дисциплине «Сигналы в радиотехнических системах» являются лекционные занятия и лабораторные работы. На лекциях излагается необходимый минимум теоретических сведений, ставятся вопросы, на которые надо найти ответ самостоятельно, даются рекомендации по побору литературы. Теоретический материал представляет собой компиляцию из большого количества источников, поэтому материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и дополнять информацией, полученной из учебной и научной литературы.

Для успешного выполнения лабораторных работ необходимо своевременно осуществлять самостоятельную подготовку, включающую в себя в том числе и материал из дисциплин, освоенных в предыдущих семестрах. При выполнении лабораторных работ в аудитории стоит особое внимание уделять советам и рекомендациям преподавателя. Для успешного выполнения лабораторных работ рекомендуется анализировать получаемые результаты в процессе их получения. После выполнения работы рекомендуется проверить, полностью ли выполнена вся работа, сохранены ли все ее результаты. При необходимости можно обратиться за помочью к преподавателю. Перед сдачей лабораторных работ необходимо изучить (повторить) всю необходимую теорию, проанализировать результаты работы.