

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

Кафедра цифровых технологий и машинного обучения

**УТВЕРЖДАЮ**

Декан физического факультета  
  
(подпись) И.С. Огнев

«23» мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Радиотехнические и телекоммуникационные системы»**

Направление подготовки  
03.04.03 Радиофизика

Направленность (профиль)  
Информационные процессы и системы

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры  
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол № 5 от «25» апреля 2023 года

Ярославль

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является подготовка студентов по теоретическим основам построения (синтеза) радиотехнических и телекоммуникационных систем.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1.

Дисциплина основывается на знаниях, полученных слушателями при изучении дисциплин бакалавриата. Для ее освоения магистранты должны владеть аппаратом математического анализа, линейной алгебры, дифференциального исчисления, знать основы электродинамики и распространения радиоволн, уметь пользоваться аппаратом теории вероятности.

Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины, необходимы для освоения основных физических принципов, лежащих в основе разнообразных систем передачи радиосигналов.

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

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
<b>Профессиональные компетенции</b>		
ПК-1 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>– классификацию радиотехнических и телекоммуникационных систем передачи информации;</li><li>– основные принципы построения радиотехнических и телекоммуникационных систем передачи информации.</li></ul> <b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– работать с современными источниками научно-технической информации, собирая исходные данные для формулировки задач передачи информации.</li></ul>
	ИД_ПК-2.2 Самостоятельно выполняет исследования теоретического и (или) экспериментального характера в соответствии с планом	<b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– использовать методы передачи радиосигналов с учетом их особенностей для решения научно-исследовательских задач.</li></ul> <b>Владеть навыками:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– применения конкретных методов передачи информации для решения научных и практических задач.</li></ul>

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную ра- боту студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемо- сти Форма промежуточ- ной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
1	Введение. Базовые понятия радиотехнических и телекоммуникационных систем (РТиТКС). Особенности беспроводных каналов связи	2	0,25	0,5				1	Задание для самостоятельной работы
2	Классификация РТиТКС	2	0,25	0,5				1	Задание для самостоятельной работы
3	Основные характеристики РТиТКС	2	0,25	0,5				1	Задание для самостоятельной работы
4	Регламент радиосвязи. Стандарты. Примеры РТиТКС	2	0,25	0,5				2	Задание для самостоятельной работы
5	Эффекты многолучевого распространения радиосигналов. Межсимвольная интерференция	2	0,5	2				12	Задание для самостоятельной работы
6	Фундаментальные теоремы о пропускной способности канала	2	0,5	2				12	Задание для самостоятельной работы
7	Методы модуляции сигналов	2	2	2		1		12	Задание для самостоятельной работы
8	Методы кодирования. Методы защиты от ошибок	2	1	2		1		12	Задание для самостоятельной работы
9	Методы разделения каналов. Методы множественного доступа к среде передачи в многоканальных РТиТКС	2	1,5	4		1		16	Задание для самостоятельной работы Коллоквиум
10	Радиорелейные линии связи	2	1,5	2				12	Задание для самостоятельной работы
	Всего за 2 семестр 144 часа		8	16		3		81	
		2				2	0,5	33,5	Экзамен
	ИТОГО		8	16		5	0,5	114,5	

## Содержание разделов дисциплины

### Тема 1

*Введение. Базовые понятия радиотехнических и телекоммуникационных систем (РТиТКС). Особенности беспроводных каналов связи*

1. Определения:
  - РТиТКС
  - Радиосигналы.
2. Обобщенная структурная схема РТиТКС (назначение элементов).
3. Классификация помех в радиоканале: по типу, по виду.
4. Назначение и типы обратного канала.
5. Структурная схема РТиТКС с дискретными сообщениями (назначение элементов). Понятие скорости кода.

### Тема 2

*Классификация РТиТКС*

1. Варианты классификации РТиТКС:
  - По режиму использования канала.
  - По числу каналов.
  - По назначению информации/
  - По виду передаваемых сообщений.
  - По механизму распространения радиоволн.
  - По назначению.

### Тема 3

*Основные характеристики РТиТКС*

1. Характеристики качества работы РТиТКС
  - Информационно-технические.
  - Конструктивно-эксплуатационные.
2. Достоверность передачи сообщений: что характеризует, от чего зависит, чем характеризуется при передаче дискретных сообщений, чем характеризуется при передаче непрерывных сообщений, привести аналитические выражения.
3. Помехоустойчивость: что характеризует, от чего зависит, чем количественно характеризуется при передаче сообщений.
4. Техническая скорость: что характеризует, когда применима, чем определяется, в чем измеряется.
5. Задержка передачи сообщений: что характеризует, от чего зависит.

### Тема 4

*Регламент радиосвязи. Стандарты. Примеры РТиТКС*

1. Регламент радиосвязи: определение, содержание.
2. Классификация спутниковых РТиТКС:
  - по типу используемых спутников,
  - по типу ретрансляторов.
3. Стандарты цифрового телевизионного вещания.
4. География использования стандартов цифрового телевизионного вещания.

### Тема 5

#### *Эффекты многолучевого распространения радиосигналов. Межсимвольная интерференция*

1. Радиодиапазоны. Особенности распространения радиоволн в различных диапазонах.
2. Особенности радиоканалов в системах мобильной связи (дифракция, рефракция, рассеяние, интерференция лучей). Замирания (феддинг).
3. Модели радиоканалов в системах мобильной связи:
  - Дискретный канал (канал передачи дискретных сообщений),
  - Канал АБГШ,
  - Канал Райса,
  - Канал Релея.
4. Эффекты многолучевого распространения радиоволн:
  - Если задержка распространения всех лучей мала по сравнению с длительностью канального символа, то? Методы борьбы.
  - Если задержка распространения всех лучей сравнима с длительностью канального символа, то? Методы борьбы.
5. Понятие межсимвольной интерференции. Причины межсимвольной интерференции.

### Тема 6

#### *Фундаментальные теоремы о пропускной способности канала*

1. Теорема Найквиста о максимальной скорости передачи данных.
2. Фильтр Найквиста.
3. Фильтр типа «приподнятый косинус».
4. Теорема Найквиста для радиоканала.
5. Сквозная АЧХ канала.
6. Импульсные характеристики фильтров Найквиста (приподнятый косинус, корень квадратный из приподнятого косинуса).
7. Битовая ошибка и отношение сигнал/шум (выражения для отношения сигнал/шум, график зависимости вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум).
8. Факторы роста вероятности ошибки и способы их устранения с графической иллюстрацией зависимостей вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум.
9. Теорема Шеннона-Хартли о предельной скорости передачи данных. Условие ее применения.
10. графическая взаимосвязь параметров  $R_b/B$  и  $E_b/N_0$
11. Предел Шеннона.

### Тема 7

#### *Методы модуляции и демодуляции сигналов*

1. Обобщенная структурная схема, принцип действия системы связи с многопозиционной модуляцией.
2. Характеристики видов модуляции.
3. Критерии выбора вида модуляции.
4. Амплитудная модуляция:
  - 4.1. Общее выражение сигнала.
  - 4.2. Геометрическое представление ансамбля АМ сигналов
  - 4.3. Структурная схема, принцип действия оптимального когерентного демодулятора АМ сигналов

- 4.4. Зависимость вероятности символьной ошибки  $P_E$  от отношения  $E_b/N_0$  при когерентной демодуляции многопозиционных АМ сигналов
- 4.5. Вероятность битовой ошибки
- 4.6. Спектральная эффективность амплитудной модуляции
5. Фазовая модуляция
  - 5.1. Общее выражение сигнала. Энергия символа
  - 5.2. Геометрическое представление в виде сигнальных созвездий ансамбля ФМ сигналов при различных значениях  $M$
  - 5.3. Модулятор ФМ-2 сигналов: структурная схема, принцип действия, временные диаграммы
  - 5.4. Модулятор ФМ-4 (КФМ) сигналов: структурная схема, принцип действия, временные диаграммы
  - 5.5. Модулятор ФМ-8 сигналов: структурная схема, принцип действия, сигнальное созвездие
  - 5.6. Структурная схема, принцип действия когерентного демодулятора ФМ-4 сигналов
  - 5.7. Алгоритм оптимального оценивания фазы принятого сигнального вектора. Структурная схема, принцип действия когерентного демодулятора многопозиционных ФМ сигналов, реализующего алгоритм оптимального оценивания фазы принятого сигнального вектора.
  - 5.8. Зависимость вероятности символьной ошибки  $P_E$  от отношения  $E_b/N_0$  при когерентной демодуляции многопозиционных ФМ сигналов
6. Амплитудно-фазовая модуляция:
  - 6.1. Общее выражение сигнала.
  - 6.2. Сигнальное созвездие для АМ-ФМ сигналов с  $M=4$
  - 6.3. Сигнальные созвездия для АМ-ФМ сигналов с  $M=8$
  - 6.4. Сигнальные созвездия прямоугольной формы КАМ сигналов: штриховыми линиями указаны границы сигнальных созвездий для различных  $M$
  - 6.5. Структурная схема, принцип действия модулятора КАМ сигналов
  - 6.6. Структурная схема, принцип действия когерентного демодулятора КАМ сигналов
  - 6.7. Вероятность ошибки при когерентной демодуляции КАМ сигналов.
  - 6.8. Энергетический выигрыш, обеспечиваемый ансамблем АМ-ФМ сигналов по отношению к ансамблю ФМ сигналов, для различных значений  $M$ .
  - 6.9. Сравнение спектральной эффективности ансамблей АМ-ФМ и ФМ сигналов.
7. Частотная модуляция:
  - 7.1. Общее выражение сигнала. Энергия символа
  - 7.2. Структурная схема, принцип действия модулятора  $M$ -позиционных ЧМ сигналов
  - 7.3. Коэффициент взаимной корреляции сигналов из ансамбля ЧМ сигналов. Условие ортогональности сигналов из ансамбля ЧМ сигналов. Соотношение между частотным интервалом  $2f_d$  между двумя соседними частотными позициями и длительностью символа  $T_s$
  - 7.4. Структурная схема и принцип действия когерентного демодулятора  $M$ -позиционных эквидистантных сигналов
  - 7.5. Зависимости вероятности символьной ошибки  $P_E$  от отношения  $E_b/N_0$  при когерентной демодуляции  $M$ -позиционных ЧМ сигналов (результаты численного интегрирования). Границы зависимостей вероятности символьной ошибки  $P_E$  от отношения  $E_b/N_0$  при когерентной демодуляции  $M$ -позиционных ЧМ сигналов.
  - 7.6. Связь между символьной  $P_E$  и битовой  $P_b$  ошибками при когерентной демодуляции  $M$ -позиционных ЧМ сигналов.
8. Некогерентная демодуляция ортогональных ЧМ сигналов:

8.1. Соотношение между частотным интервалом  $2f_d$  между двумя соседними частотными позициями и длительностью символа  $T_s$ . Минимальный частотный интервал  $2f_d$  между двумя соседними частотными позициями и длительностью символа  $T_s$ .

8.2. Структурная схема и принцип действия оптимального (в смысле критерия максимального правдоподобия) некогерентного демодулятора  $M$ -позиционных эквидистантных ЧМ сигналов.

8.3. Обобщенная структурная схема и принцип действия некогерентного демодулятора ЧМ сигналов с цифровым Фурье-процессором.

8.4. Зависимости вероятности символьной ошибки  $P_E$  от отношения  $E_s/N_0$  при когерентной и некогерентной демодуляции  $M$ -позиционных ЧМ сигналов

8.5. Зависимости вероятности символьной ошибки  $P_E$  от отношения  $E_b/N_0$  при некогерентной демодуляции  $M$ -позиционных ЧМ сигналов

8.6. Спектральная эффективность  $R_b/W$  когерентного ортогонального ЧМ сигнала в предположении, что такой сигнал занимает полосу частот  $1/(2T_s)$  или  $1/T_s$

9. *Нетрадиционные виды частотной и фазовой модуляции:*

9.1. Общие сведения.

10. Квадратурная ФМ со сдвигом:

10.1. Общее выражение сигнала.

10.2. Временные диаграммы, диаграмма фазовых переходов при квадратурной ФМ со сдвигом.

10.3. Структурная схема, принцип действия когерентного демодулятора ФМ-4 сигналов со сдвигом.

10.4. Сравнение спектральных свойств и характеристик помехоустойчивости приема сигналов с квадратурной ФМ со сдвигом и сигналов с квадратурной ФМ.

11. Частотная модуляция с минимальным сдвигом:

11.1. I подход. Выражения и временные диаграммы для квадратурных составляющих. Диаграмма фазовых переходов при ЧМ с минимальным сдвигом.

11.2. II подход. Частоты сигнала. Общее выражение сигнала. Два выражения сигнала в более компактной форме.

12. Формирование ЧМ сигнала с минимальным сдвигом:

12.1. При I подходе. Структурная схема и принцип действия модулятора ЧМ сигналов с минимальным сдвигом.

12.2. При II подходе. Принцип действия модулятора ЧМ сигналов с минимальным сдвигом.

13. Демодуляция ЧМ сигналов с минимальным сдвигом:

13.1. При I подходе. Структурная схема и принцип действия когерентного демодулятора ЧМ сигналов с минимальным сдвигом. Характеристики помехоустойчивости при когерентной демодуляции ЧМ сигналов с минимальным сдвигом по сравнению с характеристиками КФМ сигналов.

13.2. При II подходе:

- Алгоритм когерентной демодуляции сигналов с двоичной ЧМ с посимвольными решениями через каждый интервал  $T_b$ .

- Некогерентный алгоритм демодуляции: структурная схема и принцип действия когерентного демодулятора ЧМ сигналов с минимальным сдвигом, реализующая автокорреляционный алгоритм с задержкой на  $2T_b$ .

13.3. Энергетические потери демодуляции ЧМ сигналов с минимальным сдвигом с помощью частотного дискриминатора по отношению к когерентной демодуляции.

13.4. Энергетические потери при некогерентной демодуляции с автокорреляционным преобразованием ЧМ сигналов с минимальным сдвигом по сравнению аналогичным алгоритмом демодуляции сигналов с относительной КФМ.

14. Спектральные характеристики ЧМ сигналов с минимальным сдвигом:

- 14.1. Спектральные характеристики ЧМ сигналов с минимальным сдвигом по сравнению с сигналами с квадратурной ФМ и с квадратурной ФМ со сдвигом.
15. Сравнение характеристик ЧМ сигналов с минимальным сдвигом с характеристиками сигналов с квадратурной ФМ и других двоичных ЧМ сигналов.
16. Ортогональная модуляция с частотным разделением (OFDM):
- 16.1. Суть OFDM. Общее выражение сигнала на  $m$ -ом интервале.
- 16.2. Выражение для комплексной огибающей OFDM сигнала в непрерывном и дискретном времени.
- 16.3. Структурная схема и принцип действия системы связи с OFDM сигналами, в которой для их формирования и обработки используются алгоритмы БПФ/ОБПФ.
- 16.4. Характеристики OFDM сигналов: разнос частот, суммарная полоса частот, занимаемая  $M$  несущими, удельная скорость передачи, спектральная плотность мощности комплексной огибающей OFDM сигнала в случае использования в каждом субканале сигнальных созвездий с нулевым средним значением, дисперсия сигнального созвездия.
17. Методы модуляции с расширением спектра:
- 17.1. Исходные положения:
- Виды модуляции с расширением спектра.
  - Отношение энергии сигнала, приходящейся на бит сообщения,  $E_b$  к односторонней спектральной плотности эквивалентного шума после сжатия спектра (общий случай и случай, когда мощность помехи  $P_j$  намного больше мощности теплового шума  $N_0$ ).
  - Графическая иллюстрация процесса ослабления помехи при обработке сигналов с расширенным спектром.
18. Прямое расширение спектра:
- 18.1. Обобщенная структурная схема и принцип действия передающей части системы связи, использующей сигналы с прямым расширением спектра.
- 18.2. Выражение для сигнала на выходе модулятора 1-й ступени.
- 18.3. Выражение для сигнала на выходе модулятора 2-й ступени.
- 18.4. Выражение для выходного сигнала передатчика.
- 18.5. Обобщенная структурная схема и принцип действия приемной части системы связи, использующей сигналы с прямым расширением спектра.
- 18.6. Выражения для выходного сигнала полосового фильтра после сжатия спектра входного сигнала при отсутствии и наличии жесткой временной синхронизации модулирующей и опорной ПСП.
- 18.7. Пример использования прямого расширения спектра, когда для передачи символов сообщения используется двоичная ФМ:
- Спектральная плотность ПСП.
  - Выигрыш при обработке, обеспечиваемый сигналом с прямым расширением спектра.
19. Программная перестройка рабочей частоты:
- 19.1. Графическая иллюстрация закона изменения частоты несущей.
- 19.2. Обобщенная структурная схема и принцип действия передающей части системы связи, использующей сигналы с программной перестройкой рабочей частоты.
- 19.3. Выражение для сигнала на выходе преобразователя частоты вверх (передающая часть).
- 19.4. Обобщенная структурная схема и принцип действия приемной части системы связи, использующей сигналы с программной перестройкой рабочей частоты.
- 19.5. Выражение для сигнала на выходе преобразователя частоты вниз при отсутствии и наличии жесткой временной синхронизации модулирующей и опорной ПСП (приемная часть). Необходимое условие сжатия входного сигнала приемника.
20. Спектральные характеристики ЧМ сигналов с минимальным сдвигом:



20.1 Спектральные характеристики ЧМ сигналов с минимальным сдвигом по сравнению с сигналами с квадратурной ФМ и с квадратурной ФМ со сдвигом.

21. Сравнение характеристик ЧМ сигналов с минимальным сдвигом с характеристиками сигналов с квадратурной ФМ и других двоичных ЧМ сигналов.

22. Ортогональная модуляция с частотным разделением (OFDM):

22.1. Суть OFDM. Общее выражение сигнала на  $m$ -ом интервале.

22.2. Выражение для комплексной огибающей OFDM сигнала в непрерывном и дискретном времени.

22.3. Структурная схема и принцип действия системы связи с OFDM сигналами, в которой для их формирования и обработки используются алгоритмы БПФ/ОБПФ.

22.4. Характеристики OFDM сигналов: разнос частот, суммарная полоса частот, занимаемая  $M$  несущими, удельная скорость передачи, спектральная плотность мощности комплексной огибающей OFDM сигнала в случае использования в каждом субканале сигнальных созвездий с нулевым средним значением, дисперсия сигнального созвездия.

23. Методы модуляции с расширением спектра:

23.1. Исходные положения:

- Виды модуляции с расширением спектра.

- Отношение энергии сигнала, приходящейся на бит сообщения,  $E_b$  к односторонней спектральной плотности эквивалентного шума после сжатия спектра (общий случай и случай, когда мощность помехи  $P_j$  намного больше мощности теплового шума  $N_0$ ).

- Графическая иллюстрация процесса ослабления помехи при обработке сигналов с расширенным спектром.

24. Прямое расширение спектра:

24.1. Обобщенная структурная схема и принцип действия передающей части системы связи, использующей сигналы с прямым расширением спектра.

24.2. Выражение для сигнала на выходе модулятора 1-й ступени.

24.3. Выражение для сигнала на выходе модулятора 2-й ступени.

24.4. Выражение для выходного сигнала передатчика.

24.5. Обобщенная структурная схема и принцип действия приемной части системы связи, использующей сигналы с прямым расширением спектра.

24.6. Выражения для выходного сигнала полосового фильтра после сжатия спектра входного сигнала при отсутствии и наличии жесткой временной синхронизации модулирующей и опорной ПСП.

24.7. Пример использования прямого расширения спектра, когда для передачи символов сообщения используется двоичная ФМ:

- Спектральная плотность ПСП.

- Выигрыш при обработке, обеспечиваемый сигналом с прямым расширением спектра.

25. Программная перестройка рабочей частоты:

25.1. Графическая иллюстрация закона изменения частоты несущей.

25.2. Обобщенная структурная схема и принцип действия передающей части системы связи, использующей сигналы с программной перестройкой рабочей частоты.

25.3. Выражение для сигнала на выходе преобразователя частоты вверх (передающая часть).

25.4. Обобщенная структурная схема и принцип действия приемной части системы связи, использующей сигналы с программной перестройкой рабочей частоты.

25.5. Выражение для сигнала на выходе преобразователя частоты вниз при отсутствии и наличии жесткой временной синхронизации модулирующей и опорной ПСП (приемная часть). Необходимое условие сжатия входного сигнала приемника.

1. Методы кодирования

- 1.1. Цели введения кодирования.
- 1.2. Помехоустойчивые коды: задачи кода; свойства хорошего кода.
- 1.3. Компромисс между свойствами кода.
- 1.4. Основные характеристики кода.
- 1.5. Помехоустойчивые коды:
  - блочные (линейные, циклические),
  - каскадные,
  - решетчатые,
  - сверточные.
- 1.6. Помехоустойчивые коды:
  - систематические,
  - несистематические.
- 1.7. Преимущества и недостатки блочных кодов.
- 1.8. Преимущества и недостатки сверточных кодов.

2. Методы защиты от ошибок

- 2.1. Стратегии борьбы с ошибками:
  - обнаружение ошибок+ автоматический запрос повторной передачи,
  - обнаружение ошибок+ автоматическое отбрасывание ошибок,
  - обнаружение ошибок+ исправление ошибок.
- 2.2. Организация связи с подтверждением (с графической иллюстрацией).
- 2.3. Методы защиты от ошибок:
  - сокрытие ошибок,
  - запрос на повторную передачу (*ARG*):
  - запрос с остановками,
  - непрерывный запрос *ARG* с возвратом,
  - непрерывный запрос *ARG* с выборочным повторением.
  - - прямое исправление ошибок (*FEC*),
- 2.4. Разновидности *ARG*:
  - *ARG* с остановом и ожиданием (с графической иллюстрацией),
  - *ARG* с возвратом *N* кадров (с графической иллюстрацией),
  - *ARG* с избирательным повторением (с графической иллюстрацией).
- 2.5. Сравнение методов коррекции ошибок: прямого исправления ошибок (*FEC*) и запроса на повторную передачу (*ARG*). Недостатки прямого исправления ошибок (*FEC*) и запроса на повторную передачу (*ARG*). Наилучший вариант защиты от ошибок.

Тема 9

Методы разделения каналов. Методы множественного доступа к среде передачи в многоканальных РТuТКС

1. Задача множественного доступа. Методы разделения каналов:
2. Множественный доступ с пространственным разделением каналов (*SDMA*):
  - сущность метода с графическим пояснением,
  - разделяемый ресурс,
  - примеры применения,
  - недостаток.
3. Множественный доступ с частотным разделением каналов (*FDMA*):
  - сущность метода с графическим пояснением,
  - разделяемый ресурс,
  - примеры применения,

- преимущества и недостатки.
- 4. Множественный доступ с временным разделением каналов (*TDMA*):
  - сущность метода с графическим пояснением,
  - разделяемый ресурс,
  - примеры применения,
  - преимущества и недостатки.
- 5. Множественный доступ с кодовым разделением каналов (*CDMA*):
  - сущность метода с графическим пояснением,
  - разделяемый ресурс,
  - примеры применения,
  - преимущества и недостатки.
- 6. Разделение каналов по ортогональным несущим (*OFDMA*):
  - сущность метода с графическим пояснением,
  - разделяемый ресурс,
  - примеры применения,
  - преимущества и недостатки.
- 7. Совместное использование методов разделения каналов в стандарте *GSM*.
- 8. Совместное использование методов разделения каналов в стандарте *UMTS*.
- 9. Методы доступа к общей среде передачи:
  - 9.1. Метод случайного доступа (*Aloha*):
    - сущность метода,
    - примеры применения,
    - недостаток.
  - 9.2. Метод случайного доступа с контролем несущей (*CSMA*):
    - сущность и структурная схема метода.
  - 9.3. Метод случайного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий (*CSMA/CD*):
    - сущность и структурная схема метода.
  - 9.4. Метод случайного доступа с контролем несущей и избеганием коллизий (*CSMA/CA*):
    - сущность и структурная схема метода.
  - 9.5. Метод с передачей маркера (*Token Passing*):
    - сущность и структурная схема метода,
    - достоинство метода.

## Тема 10

### Радиорелейные линии связи

1. Назначение, принцип действия, функциональная схема радиорелейной линии связи.
2. Типы радиорелейных линий связи:
  - РРЛ прямой видимости,
  - тропосферные РРЛ.
3. Схема построения, принцип действия радиорелейной линии связи прямой видимости.
4. Один пролет РРЛ:
  - принцип действия,
  - структурная схема,
  - уравнение передачи,
  - формулы для расчета потерь мощности на пролете РРЛ: постоянных (потери в свободном пространстве и потери в антенно-фидерном тракте) и дополнительных,
  - мощность сигнала на входе приемника с учетом ослабления сигнала
5. Приемная часть оконечного ретранслятора РРЛ, содержащего телефонный и телевизионный стволы:

- принцип действия,
  - структурная схема.
6. Условия нормального качества связи в РРЛ в течение 99,9% времени в соответствии с нормами Единой автоматизированной системы связи (ЕАСС):
    - для телефонного ствола,
    - для телевизионного ствола.
  7. Влияние замираний сигнала на трассе на устойчивость связи в РРЛ. Минимально допустимая величина множителя ослабления в РРЛ: для телефонного ствола, для телевизионного ствола.
  8. Критерий устойчивости связи в РРЛ. Пример расчета времени ухудшения связи.
  9. Замирания сигнала на пролете РРЛ: графическое пояснение, минимальная зона Френеля.
  10. Рефракция и субрефракция радиоволн в РРЛ: причины возникновения, графическое пояснение, последствия рефракции и субрефракции, способ борьбы с субрефракцией.
  11. Интерференционные замирания сигнала на пролете РРЛ: механизм возникновения, графические пояснения, время интерференционного замирания.
  12. Замирания, вызванные рассеянием электромагнитной энергии в дожде: зависимость потерь, вызванных замираниями в дожде, от интенсивности дождя для различных длин волн.
  13. Частотно-разнесенный прием: назначение, способ реализации.
  14. Пространственно-разнесенный прием: назначение, способ реализации, графическое пояснение.
  15. Шумы в телефонном канале РРЛ: тепловые шумы, шумы, вызванные нелинейностью тракта. Природа возникновения шумов.
  16. Источники тепловых шумов в каскадах передатчика и приемника РРЛ (пояснить с помощью структурных схем передатчика и приемника). Суммарная мощность теплового шума передатчика. Суммарная мощность теплового шума приемника.
  17. Переходные шумы, вызванные нелинейностью амплитудной характеристики группового тракта (пояснить с помощью структурной схемы группового тракта и его динамической характеристики).
  18. Переходные шумы, вызванные нелинейностью ФЧХ высокочастотного тракта РРЛ: природа нелинейных искажений, графические пояснения.
  19. Переходные шумы, вызванные отражениями в антенно-фидерном тракте: пояснить с помощью структурной схемы и векторной диаграммы, выражение для разности фаз  $\varphi$  прямого и отраженного лучей.
  20. Преимущества передачи сигналов в цифровой форме.
  21. Принцип действия и структурная схема оконечной станции цифровой РРЛ.
  22. Аналого-цифровое преобразование сигнала в передатчике цифровой РРЛ: принцип действия и структурная схема аналого-цифрового преобразователя, дискретизация по времени и квантование по уровню сигнала, графическое пояснение, графический пример двоичного кода одного дискретизированного уровня.
  23. Цифро-аналоговое преобразование сигнала в приемнике цифровой РРЛ: принцип действия и структурная схема цифро-аналогового преобразователя, восстановление дискретизированного по времени сигнала, интерполяция и фильтрация сигнала, графическое пояснение.
  24. Качество тракта цифровой РРЛ. Параметры, характеризующие качество тракта цифровой РРЛ: вероятность ошибки, проскальзывание, фазовое дрожание, задержка импульсов.
  25. Вероятность ошибки приема информационного импульса: графическое пояснение, формула вероятности ошибки.
  26. Проскальзывание импульсов в цифровой РРЛ: сущность, последствия проскальзывания.

27. Фазовое дрожание импульсов в цифровой РРЛ: графическое пояснение, допустимые величины, установленные Международной консультативной комиссией по радио (МККР).
28. Электромагнитная совместимость РРЛ и спутниковых систем связи (ССС): графический пример расположения РРЛ и СССР. Требования Международной консультативной комиссией по радио (МККР).
29. Назначение скремблирования, сущность, графическое пояснение.
30. Электромагнитная совместимость РРЛ и спутниковых систем связи -зависимость ослабления мощности мешающего сигнала от мощности передатчика мешающего сигнала, коэффициентов усиления антенн передатчика и приемника и допустимого значения мощности мешающего сигнала на входе приемника (в размах и децибелах).
31. Примеры промышленных РРЛ.

## **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** – дает первое целостное представление о дисциплине и 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.

**Практическое занятие** – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

**Консультация** – занятие в течение семестра и перед проведением экзамена, на котором проводится консультация по изученному материалу, формам заданий итогового контроля, ответы на вопросы студентов по дисциплине.

## **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 моделирования систем связи пакет Matlab/Simulink (лицензия).

## **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](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. Радиосистемы передачи информации / Васин В.А., Калмыков В.В., Себекин Ю.Н. и др. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 472 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=349971&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=349971&cat_cd=YARSU)
2. Дубов М. А. 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.  
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20160705.pdf>

### **б) дополнительная литература**

1. Филиппов, Б. И. Радиотехнические системы / Филиппов Б. И. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. - 386 с. - URL :  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778227996.html>
2. Рожков И.Т. Радиосистемы передачи информации: учеб. пособие для вузов. - Яросл. высшее зенитное ракетное училище противовоздушной обороны. - Ярославль, 2006. - 92 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=731741&cat\\_cd=YARSUEPS](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=731741&cat_cd=YARSUEPS)

### **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. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» (<http://CyberLeninka.ru>, свободный доступ).
3. Сайт электронного журнала «Журнал радиоэлектроники» (<http://jre.cplire.ru>).
4. Сайт ЭБС общества IEEE: (<http://ieeexplore.ieee.org>).

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/>

## **8. 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, практических занятий (семинаров) и 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.

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, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся.

Авторы:

Зав. кафедрой ИКР, д.т.н., проф.

Ю.А. Брюханов

Доцент кафедры ИКР, к.т.н.

М.А. Дубов

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Радиотехнические и телекоммуникационные системы»**

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

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

**Задания для самостоятельной работы**

Задачи после 1 главы практикума «Компьютерное моделирование радиотехнических систем передачи информации» (Дубов М.А. / Ярославль: ЯрГУ, 2016).

Задачи после 2 главы практикума «Компьютерное моделирование радиотехнических систем передачи информации» (Дубов М.А. / Ярославль: ЯрГУ, 2016).

Итоговый тест в 3 главе практикума «Компьютерное моделирование радиотехнических систем передачи информации» (Дубов М.А. / Ярославль: ЯрГУ, 2016).

**Критерии оценивания самостоятельных заданий**

<b>Критерий</b>	<b>Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)</b>	<b>Продвинутый уровень (на «хорошо»)</b>	<b>Высокий уровень (на «отлично»)</b>
<b>Полнота изложения</b>	Тема раскрыта на 50 и более %	Изложение почти полное, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Изложение безошибочное и исчерпывающее
<b>Ссылки на источники</b>	Расставлены	Расставлены в правильных местах	Расставлены в правильных местах
<b>Изложение</b>	Компиляция из отрывков	Пересказ с анализом	Пересказ с анализом и выводами

**Задания для коллоквиума**

**Вариант 1**

В диапазоне 27 МГц необходимо организовать два канала связи для передачи речи. Первый канал аналоговый, модуляция однополосная АМ с подавленной верхней полосой (LSB), ширина канала не более 5 кГц. Второй – цифровой, речь передается без кодирования и шифрования, полоса не более 10 кГц, вид модуляции выбрать самостоятельно. Разработать модель в пакете Simulink. Воспроизвести речь на приемной стороне. Канал с АБГШ. Сравнить помехоустойчивость при аналоговой и цифровой передаче речи.

**Вариант 2**

Дана несущая частота 25 МГц. Необходимо организовать цифровой канал связи с реальной скоростью передачи до 100 кбит/с. Ширина канала не более 50 кГц. Уровень внеполосных излучений не хуже -40 дБ. BER не хуже  $10^{-5}$ . Создать модель в Simulink, по-



добрать вид модуляции, фильтры в передатчик и приемник, найти граничное значение ОСШ, при котором выполняется требование по BER.

#### Вариант 3

На несущей частоте 145 МГц необходимо организовать цифровой канал связи со скоростью передачи 1 Мбит/с. Предполагается использование модуляции QAM-16. Создать модель в среде Simulink, оценить занимаемую полосу, подобрать фильтры, исследовать на помехоустойчивость.

#### Вариант 4

Необходимо разработать трехканальную систему связи. Разнос между каналами 25 кГц, модуляция OQPSK. Какова предельная скорость передачи данных в каждом канале? Собрать систему в Simulink при условии, что частота центрального канала – 145 МГц. Одновременно должны работать все три канала. Исследовать на помехоустойчивость.

#### Вариант 5

Модуляция QPSK. Скорость передачи данных 1 Мбит/с. Несущая частота – 433 МГц. Мощность передатчика 1 Вт. Постройте модель такой системы связи в среде Simulink и определите радиус действия такого передатчика (определяется по ухудшению BER до  $10^{-5}$ ) для случая без использования помехоустойчивого кодирования и для случая использования кода Хэмминга (размер блока подбирается самостоятельно).

#### Вариант 6

Разработайте модель трехканальной системы связи с модуляцией GMSK. Скорость на один канал – 200 кбит/с. Разнос между каналами – минимально возможный. Моделирование провести для комплексных сигналов на видеочастоте (без переноса на несущую). Исследовать на помехоустойчивость.

### Критерии оценивания ответов на вопросы коллоквиума на практических занятиях

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
Полнота ответа	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 экзамену:

1. Определения:
  - РТиТКС
  - Радиосигналы.
2. Обобщенная структурная схема РТиТКС (назначение элементов).
3. Классификация помех в радиоканале: по типу, по виду.

4. Назначение и типы обратного канала.
5. Структурная схема РТиТКС с дискретными сообщениями (назначение элементов). Понятие скорости кода.
6. Варианты классификации РТиТКС:
  - По режиму использования канала.
  - По числу каналов.
  - По назначению информации/
  - По виду передаваемых сообщений.
  - По механизму распространения радиоволн.
  - По назначению.
7. Характеристики качества работы РТиТКС:
  - Информационно-технические.
  - Конструктивно-эксплуатационные.
8. Достоверность передачи сообщений: что характеризует, от чего зависит, чем характеризуется при передаче дискретных сообщений, чем характеризуется при передаче непрерывных сообщений, привести аналитические выражения.
9. Помехоустойчивость: что характеризует, от чего зависит, чем количественно характеризуется при передаче сообщений.
10. Техническая скорость: что характеризует, когда применима, чем определяется, в чем измеряется.
11. Задержка передачи сообщений: что характеризует, от чего зависит.
12. Регламент радиосвязи: определение, содержание.
13. Классификация спутниковых РТиТКС:
  - по типу используемых спутников,
  - по типу ретрансляторов.
14. Стандарты цифрового телевизионного вещания.
4. География использования стандартов цифрового телевизионного вещания.
15. Радиодиапазоны. Особенности распространения радиоволн в различных диапазонах.
16. Особенности радиоканалов в системах мобильной связи (дифракция, рефракция, рассеяние. интерференция лучей). Замирания (фединг).
17. Модели радиоканалов в системах мобильной связи:
  - Дискретный канал (канал передачи дискретных сообщений),
  - Канал АБГШ,
  - Канал Райса,
  - Канал Релея.
18. Эффекты многолучевого распространения радиоволн:
  - Если задержка распространения всех лучей мала по сравнению с длительностью канального символа, то? Методы борьбы.
  - Если задержка распространения всех лучей сравнима с длительностью канального символа, то? Методы борьбы.
19. Понятие межсимвольной интерференции. Причины межсимвольной интерференции.
20. Теорема Найквиста о максимальной скорости передачи данных.
21. Фильтр Найквиста.
22. Фильтр типа «приподнятый косинус».
23. Теорема Найквиста для радиоканала.
24. Сквозная АЧХ канала.
25. Импульсные характеристики фильтров Найквиста (приподнятый косинус, корень квадратный из приподнятого косинуса).
26. Битовая ошибка и отношение сигнал/шум (выражения для отношения сигнал/шум, график зависимости вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум).
27. Факторы роста вероятности ошибки и способы их устранения с графической иллюстрацией зависимостей вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум.

28. Теорема Шеннона-Хартли о предельной скорости передачи данных. Условие ее применения.
29. графическая взаимосвязь параметров  $R_b/B$  и  $E_b/N_0$
30. Предел Шеннона.
31. Обобщенная структурная схема, принцип действия системы связи с многопозиционной модуляцией.
32. Характеристики видов модуляции.
33. Критерии выбора вида модуляции.
34. Амплитудная модуляция:
  - 34.1. Общее выражение сигнала.
  - 34.2. Геометрическое представление ансамбля АМ сигналов
  - 34.3. Структурная схема, принцип действия оптимального когерентного демодулятора АМ сигналов
  - 34.4. Зависимость вероятности символьной ошибки  $P_E$  от отношения  $E_b/N_0$  при когерентной демодуляции многопозиционных АМ сигналов
  - 34.5. Вероятность битовой ошибки
  - 34.6. Спектральная эффективность амплитудной модуляции
35. Фазовая модуляция
  - 35.1. Общее выражение сигнала. Энергия символа
  - 35.2. Геометрическое представление в виде сигнальных созвездий ансамбля ФМ сигналов при различных значениях  $M$
  - 35.3. Модулятор ФМ-2 сигналов: структурная схема, принцип действия, временные диаграммы
  - 35.4. Модулятор ФМ-4 (КФМ) сигналов: структурная схема, принцип действия, временные диаграммы
  - 35.5. Модулятор ФМ-8 сигналов: структурная схема, принцип действия, сигнальное созвездие
  - 35.6. Структурная схема, принцип действия когерентного демодулятора ФМ-4 сигналов
  - 35.7. Алгоритм оптимального оценивания фазы принятого сигнального вектора. Структурная схема, принцип действия когерентного демодулятора многопозиционных ФМ сигналов, реализующего алгоритм оптимального оценивания фазы принятого сигнального вектора.
  - 35.8. Зависимость вероятности символьной ошибки  $P_E$  от отношения  $E_b/N_0$  при когерентной демодуляции многопозиционных ФМ сигналов
36. Амплитудно-фазовая модуляция:
  - 36.1. Общее выражение сигнала.
  - 36.2. Сигнальное созвездие для АМ-ФМ сигналов с  $M=4$
  - 36.3. Сигнальные созвездия для АМ-ФМ сигналов с  $M=8$
  - 36.4. Сигнальные созвездия прямоугольной формы КАМ сигналов: штриховыми линиями указаны границы сигнальных созвездий для различных  $M$
  - 36.5. Структурная схема, принцип действия модулятора КАМ сигналов
  - 36.6. Структурная схема, принцип действия когерентного демодулятора КАМ сигналов
  - 36.7. Вероятность ошибки при когерентной демодуляции КАМ сигналов.
  - 36.8. Энергетический выигрыш, обеспечиваемый ансамблем АМ-ФМ сигналов по отношению к ансамблю ФМ сигналов, для различных значений  $M$ .
  - 36.9. Сравнение спектральной эффективности ансамблей АМ-ФМ и ФМ сигналов.
37. Частотная модуляция:
  - 37.1. Общее выражение сигнала. Энергия символа
  - 37.2. Структурная схема, принцип действия модулятора  $M$ -позиционных ЧМ сигналов

37.3. Коэффициент взаимной корреляции сигналов из ансамбля ЧМ сигналов. Условие ортогональности сигналов из ансамбля ЧМ сигналов. Соотношение между частотным интервалом  $2f_d$  между двумя соседними частотными позициями и длительностью символа  $T_s$

37.4. Структурная схема и принцип действия когерентного демодулятора  $M$ -позиционных эквидистантных сигналов

37.5. Зависимости вероятности символьной ошибки  $P_E$  от отношения  $E_b/N_0$  при когерентной демодуляции  $M$ -позиционных ЧМ сигналов (результаты численного интегрирования). Границы зависимостей вероятности символьной ошибки  $P_E$  от отношения  $E_b/N_0$  при когерентной демодуляции  $M$ -позиционных ЧМ сигналов.

37.6. Связь между символьной  $P_E$  и битовой  $P_b$  ошибками при когерентной демодуляции  $M$ -позиционных ЧМ сигналов.

38. Некогерентная демодуляция ортогональных ЧМ сигналов:

38.1. Соотношение между частотным интервалом  $2f_d$  между двумя соседними частотными позициями и длительностью символа  $T_s$ . Минимальный частотный интервал  $2f_d$  между двумя соседними частотными позициями и длительностью символа  $T_s$ .

38.2. Структурная схема и принцип действия оптимального (в смысле критерия максимального правдоподобия) некогерентного демодулятора  $M$ -позиционных эквидистантных ЧМ сигналов.

38.3. Обобщенная структурная схема и принцип действия некогерентного демодулятора ЧМ сигналов с цифровым Фурье-процессором.

38.4. Зависимости вероятности символьной ошибки  $P_E$  от отношения  $E_s/N_0$  при когерентной и некогерентной демодуляции  $M$ -позиционных ЧМ сигналов

38.5. Зависимости вероятности символьной ошибки  $P_E$  от отношения  $E_b/N_0$  при некогерентной демодуляции  $M$ -позиционных ЧМ сигналов

38.6. Спектральная эффективность  $R_b/W$  когерентного ортогонального ЧМ сигнала в предположении, что такой сигнал занимает полосу частот  $1/(2T_s)$  или  $1/T_s$

39. Нетрадиционные виды частотной и фазовой модуляции:

39.1. Общие сведения.

40. Квадратурная ФМ со сдвигом:

40.1. Общее выражение сигнала.

40.2. Временные диаграммы, диаграмма фазовых переходов при квадратурной ФМ со сдвигом.

40.3. Структурная схема, принцип действия когерентного демодулятора ФМ-4 сигналов со сдвигом.

40.4. Сравнение спектральных свойств и характеристик помехоустойчивости приема сигналов с квадратурной ФМ со сдвигом и сигналов с квадратурной ФМ.

41. Частотная модуляция с минимальным сдвигом:

41.1. I подход. Выражения и временные диаграммы для квадратурных составляющих. Диаграмма фазовых переходов при ЧМ с минимальным сдвигом.

41.2. II подход. Частоты сигнала. Общее выражение сигнала. Два выражения сигнала в более компактной форме.

42. Формирование ЧМ сигнала с минимальным сдвигом:

42.1. При I подходе. Структурная схема и принцип действия модулятора ЧМ сигналов с минимальным сдвигом.

42.2. При II подходе. Принцип действия модулятора ЧМ сигналов с минимальным сдвигом.

43. Демодуляция ЧМ сигналов с минимальным сдвигом:

43.1. При I подходе. Структурная схема и принцип действия когерентного демодулятора ЧМ сигналов с минимальным сдвигом. Характеристики помехоустойчивости при когерентной демодуляции ЧМ сигналов с минимальным сдвигом по сравнению с характеристиками КФМ сигналов.

#### 43.2. При II подходе:

- Алгоритм когерентной демодуляции сигналов с двоичной ЧМ с посимвольными решениями через каждый интервал  $T_b$ .

- Некогерентный алгоритм демодуляции: структурная схема и принцип действия когерентного демодулятора ЧМ сигналов с минимальным сдвигом, реализующая автокорреляционный алгоритм с задержкой на  $2T_b$ .

43.3. Энергетические потери демодуляции ЧМ сигналов с минимальным сдвигом с помощью частотного дискриминатора по отношению к когерентной демодуляции.

43.4. Энергетические потери при некогерентной демодуляции с автокорреляционным преобразованием ЧМ сигналов с минимальным сдвигом по сравнению аналогичным алгоритмом демодуляции сигналов с относительной КФМ.

#### 44. Спектральные характеристики ЧМ сигналов с минимальным сдвигом:

44.1. Спектральные характеристики ЧМ сигналов с минимальным сдвигом по сравнению с сигналами с квадратурной ФМ и с квадратурной ФМ со сдвигом.

45. Сравнение характеристик ЧМ сигналов с минимальным сдвигом с характеристиками сигналов с квадратурной ФМ и других двоичных ЧМ сигналов.

#### 46. Ортогональная модуляция с частотным разделением (OFDM):

46.1. Суть OFDM. Общее выражение сигнала на  $m$ -ом интервале.

46.2. Выражение для комплексной огибающей OFDM сигнала в непрерывном и дискретном времени.

46.3. Структурная схема и принцип действия системы связи с OFDM сигналами, в которой для их формирования и обработки используются алгоритмы БПФ/ОБПФ.

46.4. Характеристики OFDM сигналов: разнос частот, суммарная полоса частот, занимаемая  $M$  несущими, удельная скорость передачи, спектральная плотность мощности комплексной огибающей OFDM сигнала в случае использования в каждом субканале сигнальных созвездий с нулевым средним значением, дисперсия сигнального созвездия.

#### 47. Методы модуляции с расширением спектра:

47.1. Исходные положения:

- Виды модуляции с расширением спектра.

- Отношение энергии сигнала, приходящейся на бит сообщения,  $E_b$  к односторонней спектральной плотности эквивалентного шума после сжатия спектра (общий случай и случай, когда мощность помехи  $P_j$  намного больше мощности теплового шума  $N_0$ ).

- Графическая иллюстрация процесса ослабления помехи при обработке сигналов с расширенным спектром.

#### 48. Прямое расширение спектра:

48.1. Обобщенная структурная схема и принцип действия передающей части системы связи, использующей сигналы с прямым расширением спектра.

48.2. Выражение для сигнала на выходе модулятора 1-й ступени.

48.3. Выражение для сигнала на выходе модулятора 2-й ступени.

48.4. Выражение для выходного сигнала передатчика.

48.5. Обобщенная структурная схема и принцип действия приемной части системы связи, использующей сигналы с прямым расширением спектра.

48.6. Выражения для выходного сигнала полосового фильтра после сжатия спектра входного сигнала при отсутствии и наличии жесткой временной синхронизации модулирующей и опорной ПСП.

48.7. Пример использования прямого расширения спектра, когда для передачи символов сообщения используется двоичная ФМ:

- Спектральная плотность ПСП.

- Выигрыш при обработке, обеспечиваемый сигналом с прямым расширением спектра.

#### 49. Программная перестройка рабочей частоты:

- 49.1. Графическая иллюстрация закона изменения частоты несущей.
- 49.2. Обобщенная структурная схема и принцип действия передающей части системы связи, использующей сигналы с программной перестройкой рабочей частоты.
- 49.3. Выражение для сигнала на выходе преобразователя частоты вверх (передающая часть).
- 49.4. Обобщенная структурная схема и принцип действия приемной части системы связи, использующей сигналы с программной перестройкой рабочей частоты.
- 49.5. Выражение для сигнала на выходе преобразователя частоты вниз при отсутствии и наличии жесткой временной синхронизации модулирующей и опорной ПСП (приемная часть). Необходимое условие сжатия входного сигнала приемника.
50. Спектральные характеристики ЧМ сигналов с минимальным сдвигом:
- 50.1 Спектральные характеристики ЧМ сигналов с минимальным сдвигом по сравнению с сигналами с квадратурной ФМ и с квадратурной ФМ со сдвигом.
51. Сравнение характеристик ЧМ сигналов с минимальным сдвигом с характеристиками сигналов с квадратурной ФМ и других двоичных ЧМ сигналов.
52. Ортогональная модуляция с частотным разделением (OFDM):
- 52.1. Суть OFDM. Общее выражение сигнала на  $m$ -ом интервале.
- 52.2. Выражение для комплексной огибающей OFDM сигнала в непрерывном и дискретном времени.
- 52.3. Структурная схема и принцип действия системы связи с OFDM сигналами, в которой для их формирования и обработки используются алгоритмы БПФ/ОБПФ.
- 52.4. Характеристики OFDM сигналов: разнос частот, суммарная полоса частот, занимаемая  $M$  несущими, удельная скорость передачи, спектральная плотность мощности комплексной огибающей OFDM сигнала в случае использования в каждом субканале сигнальных созвездий с нулевым средним значением, дисперсия сигнального созвездия.
53. Методы модуляции с расширением спектра:
- 53.1. Исходные положения:
- Виды модуляции с расширением спектра.
  - Отношение энергии сигнала, приходящейся на бит сообщения,  $E_b$  к односторонней спектральной плотности эквивалентного шума после сжатия спектра (общий случай и случай, когда мощность помехи  $P_j$  намного больше мощности теплового шума  $N_0$ ).
  - Графическая иллюстрация процесса ослабления помехи при обработке сигналов с расширенным спектром.
54. Прямое расширение спектра:
- 54.1. Обобщенная структурная схема и принцип действия передающей части системы связи, использующей сигналы с прямым расширением спектра.
- 54.2. Выражение для сигнала на выходе модулятора 1-й ступени.
- 54.3. Выражение для сигнала на выходе модулятора 2-й ступени.
- 54.4. Выражение для выходного сигнала передатчика.
- 54.5. Обобщенная структурная схема и принцип действия приемной части системы связи, использующей сигналы с прямым расширением спектра.
- 54.6. Выражения для выходного сигнала полосового фильтра после сжатия спектра входного сигнала при отсутствии и наличии жесткой временной синхронизации модулирующей и опорной ПСП.
- 54.7. Пример использования прямого расширения спектра, когда для передачи символов сообщения используется двоичная ФМ:
- Спектральная плотность ПСП.
  - Выигрыш при обработке, обеспечиваемый сигналом с прямым расширением спектра.
55. Программная перестройка рабочей частоты:
- 55.1. Графическая иллюстрация закона изменения частоты несущей.

25.2. Обобщенная структурная схема и принцип действия передающей части системы связи, использующей сигналы с программной перестройкой рабочей частоты.

55.3. Выражение для сигнала на выходе преобразователя частоты вверх (передающая часть).

55.4. Обобщенная структурная схема и принцип действия приемной части системы связи, использующей сигналы с программной перестройкой рабочей частоты.

55.5. Выражение для сигнала на выходе преобразователя частоты вниз при отсутствии и наличии жесткой временной синхронизации модулирующей и опорной ПСП (приемная часть). Необходимое условие сжатия входного сигнала приемника.

56. Методы кодирования

56.1. Цели введения кодирования.

56.2. Помехоустойчивые коды: задачи кода; свойства хорошего кода.

56.3. Компромисс между свойствами кода.

56.4. Основные характеристики кода.

56.5. Помехоустойчивые коды:

- блочные (линейные, циклические),
- каскадные,
- решетчатые,
- сверточные.

56.6. Помехоустойчивые коды:

- систематические,
- несистематические.

56.7. Преимущества и недостатки блочных кодов.

56.8. Преимущества и недостатки сверточных кодов.

57. Методы защиты от ошибок

57.1. Стратегии борьбы с ошибками:

- обнаружение ошибок+ автоматический запрос повторной передачи,
- обнаружение ошибок+ автоматическое отбрасывание ошибок,
- обнаружение ошибок+ исправление ошибок.

57.2. Организация связи с подтверждением (с графической иллюстрацией).

57.3. Методы защиты от ошибок:

- сокрытие ошибок,
- запрос на повторную передачу (*ARG*):
- запрос с остановками,
- непрерывный запрос *ARG* с возвратом,
- непрерывный запрос *ARG* с выборочным повторением.
- - прямое исправление ошибок (*FEC*),

57.4. Разновидности *ARG*:

- *ARG* с остановом и ожиданием (с графической иллюстрацией),
- *ARG* с возвратом *N* кадров (с графической иллюстрацией),
- *ARG* с избирательным повторением (с графической иллюстрацией).

57.5. Сравнение методов коррекции ошибок: прямого исправления ошибок (*FEC*) и запроса на повторную передачу (*ARG*). Недостатки прямого исправления ошибок (*FEC*) и запроса на повторную передачу (*ARG*). Наилучший вариант защиты от ошибок.

58. Задача множественного доступа. Методы разделения каналов:

59. Множественный доступ с пространственным разделением каналов (*SDMA*):

- сущность метода с графическим пояснением,
- разделяемый ресурс,
- примеры применения,
- недостаток.

60. Множественный доступ с частотным разделением каналов (*FDMA*):

- сущность метода с графическим пояснением,

- разделяемый ресурс,
  - примеры применения,
  - преимущества и недостатки.
61. Множественный доступ с временным разделением каналов (*TDMA*):
- сущность метода с графическим пояснением,
  - разделяемый ресурс,
  - примеры применения,
  - преимущества и недостатки.
62. Множественный доступ с кодовым разделением каналов (*CDMA*):
- сущность метода с графическим пояснением,
  - разделяемый ресурс,
  - примеры применения,
  - преимущества и недостатки.
63. Разделение каналов по ортогональным несущим (*OFDMA*):
- сущность метода с графическим пояснением,
  - разделяемый ресурс,
  - примеры применения,
  - преимущества и недостатки.
64. Совместное использование методов разделения каналов в стандарте *GSM*.
65. Совместное использование методов разделения каналов в стандарте *UMTS*.
66. Методы доступа к общей среде передачи:
- 66.1. Метод случайного доступа (*Aloha*):
- сущность метода,
  - примеры применения,
  - недостаток.
- 66.2. Метод случайного доступа с контролем несущей (*CSMA*):
- сущность и структурная схема метода.
- 66.3. Метод случайного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий (*CSMA/CD*):
- сущность и структурная схема метода.
- 66.4. Метод случайного доступа с контролем несущей и избеганием коллизий (*CSMA/CA*):
- сущность и структурная схема метода.
- 66.5. Метод с передачей маркера (*Token Passing*):
- сущность и структурная схема метода,
  - достоинство метода.
67. Назначение, принцип действия, функциональная схема радиорелейной линии связи.
68. Типы радиорелейных линий связи:
- РРЛ прямой видимости,
  - тропосферные РРЛ.
69. Схема построения, принцип действия радиорелейной линии связи прямой видимости.
70. Один пролет РРЛ:
- принцип действия,
  - структурная схема,
  - уравнение передачи,
  - формулы для расчета потерь мощности на пролете РРЛ: постоянных (потери в свободном пространстве и потери в антенно-фидерном тракте) и дополнительных,
  - мощность сигнала на входе приемника с учетом ослабления сигнала
71. Приемная часть оконечного ретранслятора РРЛ, содержащего телефонный и телевизионный стволы:
- принцип действия,
  - структурная схема.



72. Условия нормального качества связи в РРЛ в течение 99,9% времени в соответствии с нормами Единой автоматизированной системы связи (ЕАСС):
- для телефонного ствола,
  - для телевизионного ствола.
73. Влияние замираний сигнала на трассе на устойчивость связи в РРЛ. Минимально допустимая величина множителя ослабления в РРЛ: для телефонного ствола, для телевизионного ствола.
74. Критерий устойчивости связи в РРЛ. Пример расчета времени ухудшения связи.
75. Замирания сигнала на пролете РРЛ: графическое пояснение, минимальная зона Френеля.
76. Рефракция и субрефракция радиоволн в РРЛ: причины возникновения, графическое пояснение, последствия рефракции и субрефракции, способ борьбы с субрефракцией.
77. Интерференционные замирания сигнала на пролете РРЛ: механизм возникновения, графические пояснения, время интерференционного замирания.
78. Замирания, вызванные рассеянием электромагнитной энергии в дожде: зависимость потерь, вызванных замираниями в дожде, от интенсивности дождя для различных длин волн.
79. Частотно-разнесенный прием: назначение, способ реализации.
80. Пространственно-разнесенный прием: назначение, способ реализации, графическое пояснение.
81. Шумы в телефонном канале РРЛ: тепловые шумы, шумы, вызванные нелинейностью тракта. Природа возникновения шумов.
82. Источники тепловых шумов в каскадах передатчика и приемника РРЛ (пояснить с помощью структурных схем передатчика и приемника). Суммарная мощность теплового шума передатчика. Суммарная мощность теплового шума приемника.
83. Переходные шумы, вызванные нелинейностью амплитудной характеристики группового тракта (пояснить с помощью структурной схемы группового тракта и его динамической характеристики).
84. Переходные шумы, вызванные нелинейностью ФЧХ высокочастотного тракта РРЛ: природа нелинейных искажений, графические пояснения.
85. Переходные шумы, вызванные отражениями в антенно-фидерном тракте: пояснить с помощью структурной схемы и векторной диаграммы, выражение для разности фаз  $\varphi$  прямого и отраженного лучей.
86. Преимущества передачи сигналов в цифровой форме.
87. Принцип действия и структурная схема оконечной станции цифровой РРЛ.
88. Аналого-цифровое преобразование сигнала в передатчике цифровой РРЛ: принцип действия и структурная схема аналого-цифрового преобразователя, дискретизация по времени и квантование по уровню сигнала, графическое пояснение, графический пример двоичного кода одного дискретизированного уровня.
89. Цифро-аналоговое преобразование сигнала в приемнике цифровой РРЛ: принцип действия и структурная схема цифро-аналогового преобразователя, восстановление дискретизированного по времени сигнала, интерполяция и фильтрация сигнала, графическое пояснение.
90. Качество тракта цифровой РРЛ. Параметры, характеризующие качество тракта цифровой РРЛ: вероятность ошибки, проскальзывание, фазовое дрожание, задержка импульсов.
91. Вероятность ошибки приема информационного импульса: графическое пояснение, формула вероятности ошибки.
92. Проскальзывание импульсов в цифровой РРЛ: сущность, последствия проскальзывания.
93. Фазовое дрожание импульсов в цифровой РРЛ: графическое пояснение, допустимые величины, установленные Международной консультативной комиссией по радио (МККР).

94. Электромагнитная совместимость РРЛ и спутниковых систем связи (ССС): графический пример расположения РРЛ и СССР. Требования Международной консультативной комиссией по радио (МККР).

95. Назначение скремблирования, сущность, графическое пояснение.

96. Электромагнитная совместимость РРЛ и спутниковых систем связи -зависимость ослабления мощности мешающего сигнала от мощности передатчика мешающего сигнала, коэффициентов усиления антенн передатчика и приемника и допустимого значения мощности мешающего сигнала на входе приемника (в размах и децибелах).

97. Примеры промышленных РРЛ.

### Критерии оценивания ответов на вопросы к экзамену

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

Оценка выставляется как среднее арифметическое с округлением по оценкам за задания для самостоятельной работы, ответы на вопросах на коллоквиуме и за два вопроса на экзамене. При этом оценка «удовлетворительно» соответствует 3 баллам, «хорошо» - 4 баллам, «отлично» - 5 баллов. Если итоговый балл ниже, чем 2,5, то выставляется оценка «неудовлетворительно».

## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Радиотехнические и телекоммуникационные системы»**

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

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине являются обзорные лекции и семинарские занятия, причем последние – в относительно большем объеме. Это связано со спецификой подготовки обучающихся в магистратуре, предполагающей большую долю самостоятельности. Для успешного освоения дисциплины очень важно выполнение заданий, предлагаемых персонально тем самостоятельных заданий, и обсуждение их на семинарских занятиях. На практических занятиях проводится устный опрос. Критерии оценивания ответов и заданий приведены в рабочей программе.

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

Для самостоятельной работы рекомендуется использовать издания, указанные в списке основной и дополнительной литературы.

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

**1. Личный кабинет** ([http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_login.php](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](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](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. Электронные библиотечные системы**, на которые имеется подписка ЯрГУ, перечень см. [http://www.lib.uniyar.ac.ru/content/resource/net\\_res\(1\).php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/content/resource/net_res(1).php)