**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# Цифровая связь

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.01 Радиотехника**
Направленность (профиль) / специализация: **Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **РТФ, Радиотехнический факультет**
Кафедра: **РСС, Кафедра радиоэлектроники и систем связи**
Курс: **3**
Семестр: **6**
Учебный план набора 2015 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 6 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Лекции | 24 | 24 | часов |
| 2 | Практические занятия | 18 | 18 | часов |
| 3 | Лабораторные работы | 18 | 18 | часов |
| 4 | Всего аудиторных занятий | 60 | 60 | часов |
| 5 | Самостоятельная работа | 48 | 48 | часов |
| 6 | Всего (без экзамена) | 108 | 108 | часов |
| 7 | Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| 8 | Общая трудоемкость | 144 | 144 | часов |
| | | 4.0 | 4.0 | З.Е. |

Экзамен: 6 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 38606

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 12 от « 4 » 7 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.01 Радиотехника, утвержденного 06.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РТС «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:
доцент каф. РТС _____ А. В. Новиков

Заведующий обеспечивающей каф.
РТС _____ С. В. Мелихов

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан РТФ _____ К. Ю. Попова

Заведующий выпускающей каф.
РСС _____ А. В. Фатеев

Эксперты:

Доцент кафедры радиотехнических
систем (РТС) _____ В. А. Громов

Старший преподаватель кафедры
радиоэлектроники и систем связи
(РСС) _____ Ю. В. Зеленецкая

Согласована на портале № 38606

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

Формирование представлений об особенностях современных и перспективных систем радиосвязи.

### 1.2. Задачи дисциплины

– Изучение методов модуляции и кодирования, используемых в современных системах радиосвязи, а также способов формирования и обработки сигналов в системах радиосвязи.

– Приобретение навыков компьютерного моделирования систем радиосвязи.

– Овладение навыками чтения справочной документации, в том числе на английском языке.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Цифровая связь» (Б1.В.ДВ.6.2) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Информатика, Основы статистической радиотехники, Радиоавтоматика, Теория вероятностей и математическая статистика, Устройства генерирования и формирования сигналов, Устройства приема и обработки сигналов, Цифровая обработка сигналов.

Последующими дисциплинами являются: Многоканальные цифровые системы передачи, Основы построения компьютерных сетей.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-6 готовностью выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и устройств радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** Роль модуляции в системах передачи информации. Различие между аналоговой и цифровой модуляцией. Роль формирующих фильтров и влияние межсимвольной интерференции. Смысл спектральной плотности мощности белого шума. Базовые методы модуляции: амплитудную (АМ), фазовую (ФМ) и частотную (ЧМ). Спектральный состав сигналов для основных методов модуляции: амплитудной, частотной и фазовой. Особенности ЧМ с непрерывной фазой. Взаимосвязь методов модуляции с классами выходных усилителей мощности. Принципы модуляции множества ортогональных поднесущих (OFDM). Роль OFDM при наличии многолучевости. Влияние фазового шума на производительность систем связи. Отношение сигнал-шум для цифровых систем связи. Про энергетическую и частотную эффективность систем связи. Принципы синхронизации в системах связи. Петлю Костаса. Детектор Гарднера. Об ухудшении степени однозначности фазы восстановленной несущей с ростом битовой скорости передачи. Принципы расширения спектра сигналов в системах связи. Структурные схемы и особенности трех поколений цифровых систем связи по методам формирования и обработки сигналов: аналоговые, гибридные и цифровые. Схемы автоматической цифровой регулировки усиления. Фундаментальное свойство линейных блочных кодов. Правило кодирования линейным блочным кодом. Структуру порождающих и проверочных матриц линейного блочного кода в систематической форме. Правило вычисления синдрома линейного блочного кода по проверочной матрице. Роль синдрома при обнаружении/исправлении ошибок, а также восстановлении стертых символов. Способ распределения синдромов по классам смежности. Правило определения кодового расстояния линейного блочного кода по кодовой таблице. Способ определения кратностей гарантированно обнаруживаемых, гарантированно исправляемых ошибок, а также гарантированно восстанавливаемых стертых символов. Границы Синглтона, Хемминга и неравенство Гилберта для корректирующих кодов. Фундаментальное свойство циклических кодов. Правило составления порождающих полиномов циклических кодов. Правило кодирования циклическим кодом в систематической и несистематической формах. Связь порождающих и проверочных полиномов циклического кода с порождающими и проверочными матрицами соответствующего линейного блочного кода. Способ деления и умножения полиномов с помощью цифровых фильтров, соответственно, рекурсивных и трансверсальных. Роль остатка от деления при декодировании циклических кодов. Способ формирования порождающих полиномов

Согласована на портале № 38606

кодов Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ). Связь между кодами БЧХ и кодами Рида-Соломона (РС). Способ кодирования кодом РС с помощью матрицы дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Способ вычисления обратной матрицы ДПФ над полем Галуа. Особенности сверточных кодов. Алгоритм Витерби декодирования сверточных кодов. Особенности кодов с разреженными проверками на четность (LDPC). Способ мягкого итеративного декодирования кодов LDPC. Определение энтропии источника. Способы вычисления энтропии источника. Связь между взаимной зависимостью символов и энтропией источника. Принципы векторного квантования сообщений. Способ построения кода Хаффмана. Способ построения кода Шеннона-Фано. Способ построения кода Лемпеля-Зива. Способ расчета нижней границы для средней длины кода. Способ вычисления избыточности до и после кодирования. Способ вычисления пропускной способности каналов.

– **уметь** Составлять кодовую таблицу линейного блочного кода по его матрице. Приводить матрицы линейных блочных кодов к систематической форме. Определять кодовое расстояние линейного блочного кода по его проверочной матрице, а также по кодовой таблице. Делить и умножать полиномы над полем Галуа GF(p) двумя способами: алгебраически и с помощью цифровых фильтров. Факторизовать полиномы с помощью программы компьютерной алгебры SymPy. Находить обратную матрицу дискретного преобразования Фурье над полем Галуа GF(p). Составлять диаграмму состояний и решетку сверточного кода. Составлять дерево кода Хаффмана. Составлять код Шеннона-Фано. Составлять таблицу кода Лемпеля-Зива. Вычислять энтропию заданного источника. Вычислять избыточность до и после кодирования сжимающим кодом. Вычислять пропускную способность двоичного симметричного канала связи и канала со стираниями. На качественном уровне изображать спектральные диаграммы сигналов с модуляциями: амплитудной (АМ), фазовой (ФМ), частотной (ЧМ) и OFDM. Вычислять спектральную плотность мощности по заданной функции корреляции цифрового потока. Определять уровень боковых лепестков в спектре сигнала. Анализировать "глазковые" диаграммы и сигнальные созвездия. Выбирать вид модуляции. Выбирать класс выходного усилителя мощности исходя из вида модуляции. Моделировать сигналы с АМ, ФМ, ЧМ и OFDM модуляциями и их спектральные плотности мощности

– **владеть** Методами компьютерного моделирования современных и перспективных систем радиосвязи, а также элементами проектирования таких систем.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 6 семестр |
| Аудиторные занятия (всего) | 60 | 60 |
| Лекции | 24 | 24 |
| Практические занятия | 18 | 18 |
| Лабораторные работы | 18 | 18 |
| Самостоятельная работа (всего) | 48 | 48 |
| Оформление отчетов по лабораторным работам | 18 | 18 |
| Проработка лекционного материала | 11 | 11 |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 19 | 19 |
| Всего (без экзамена) | 108 | 108 |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 |
| Общая трудоемкость, ч | 144 | 144 |
| Зачетные Единицы | 4.0 | 4.0 |

Согласована на портале № 38606

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| Названия разделов дисциплины | Лек., ч | Прак. зан., ч | Лаб. раб., ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | | | | |
| 1 Модуляция. Спектральный состав. | 2 | 3 | 4 | 8 | 17 | ПК-6 |
| 2 Формирующий и согласованный фильтры. Их роль. | 3 | 4 | 0 | 5 | 12 | ПК-6 |
| 3 Частотная манипуляция с непрерывной фазой. | 0 | 0 | 4 | 4 | 8 | ПК-6 |
| 4 Экономные (сжимающие) коды. | 2 | 2 | 0 | 3 | 7 | ПК-6 |
| 5 Пропускная способность каналов связи. | 1 | 2 | 0 | 3 | 6 | ПК-6 |
| 6 Частотная и энергетическая эффективность систем радиосвязи. | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | ПК-6 |
| 7 Принципы синхронизации в системах радиосвязи. | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | ПК-6 |
| 8 Принципы расширения спектра в системах радиосвязи. | 2 | 3 | 0 | 3 | 8 | ПК-6 |
| 9 Принципы модуляции OFDM. | 3 | 0 | 0 | 3 | 6 | ПК-6 |
| 10 Линейные блочные коды. | 2 | 2 | 0 | 3 | 7 | ПК-6 |
| 11 Циклические коды | 2 | 2 | 4 | 7 | 15 | ПК-6 |
| 12 Коды Рида-Соломона | 0 | 0 | 2 | 2 | 4 | ПК-6 |
| 13 Сверточные коды. | 3 | 0 | 4 | 5 | 12 | ПК-6 |
| Итого за семестр | 24 | 18 | 18 | 48 | 108 | |
| Итого | 24 | 18 | 18 | 48 | 108 | |

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

| Названия разделов | Содержание разделов дисциплины (по лекциям) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | |
| 1 Модуляция. Спектральный состав. | Роль модуляции в системах передачи информации.Различие аналоговой и цифровой модуляции.-Требования к спектрам сигналов в современных системах передачи информации.Тепловой | 2 | ПК-6 |

Согласована на портале № 38606

| | | | |
|---|---|---|---|
| | шум.Спектральная плотность мощности сигнала.Спектры сигналов с АМ, ФМ, ЧМ и OFDM модуляциями.Три поколения цифровых систем связи: аналоговые, гибридные и цифровые. | | |
| | Итого | 2 | |
| 2 Формирующий и согласованный фильтры. Их роль. | Спектральная плотность случайной последовательности импульсов прямоугольной формы.Скорость спада мощности в зависимости от частоты.Необходимость сглаживания фронтов импульсов.Фильтр "приподнятого" косинуса.Особенности реализации фильтра в цифровом виде: влияние на формируемый спектр факторов дискретности и ограниченности по времени импульсной характеристики; влияние цифро-аналогового преобразователя.Тепловой шум как ограничитель производительности систем связи.Согласованный фильтр как фильтр, доставляющий максимум отношению сигнал-шум при наличии аддитивного белого шума.Необходимость согласования амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) формирующего фильтра с АЧХ согласованного.Фильтр "корень" из "приподнятого" косинуса. | 3 | ПК-6 |
| | Итого | 3 | |
| 4 Экономные (сжимающие) коды. | Собственная информация.Энтропия источника.Избыточность.Взаимная информация.Принципы векторного квантования источника. | 2 | ПК-6 |
| | Итого | 2 | |
| 5 Пропускная способность каналов связи. | Скорость передачи информации.Пропускная способность.Пропускная способность двоичного симметричного канала связи.Пропускная способность канала со стираниями. | 1 | ПК-6 |
| | Итого | 1 | |
| 6 Частотная и энергетическая эффективность систем радиосвязи. | Связь между "аналоговым" и "цифровым" отношениями сигнал-шум.Нормированная пропускная способность канала.Скорость кодирования.Теорема Шеннона, ее иллюстрация.Предел Шеннона, предел двоичного канала связи: жесткие решения и мягкие решения. | 2 | ПК-6 |
| | Итого | 2 | |
| 7 Принципы синхронизации в системах радиосвязи. | Когерентность при приеме и обработке сигнала.Восстановление несущей частоты.Петля Костаса.Восстановление тактовых импульсов.Детектор Гарднера. | 2 | ПК-6 |
| | Итого | 2 | |
| 8 Принципы расширения спектра в системах радиосвязи. | Достоинства сигналов с расширенным спектром.Псевдослучайные последовательности (М-последовательности).Коды Голда. | 2 | ПК-6 |
| | Итого | 2 | |

Согласована на портале № 38606

| | | | |
|---|---|---|---|
| 9 Принципы модуляции OFDM. | Иллюстрация недостатка частотного разделения каналов.Иллюстрация ортогональности несущих при выполнении операции дискретного преобразования Фурье (ДПФ).Необходимость циклического префикса для снижения вредного влияния многолучевости.Параметры модуляции OFDM в системах связи 4G LTE.Структурные схемы передатчика и приемника с OFDM. | 3 | ПК-6 |
| | Итого | 3 | |
| 10 Линейные блочные коды. | Порождающая матрица.Кодовая таблица.Кодовое расстояние.Кратность обнаружения, исправления и восстановления стертых символов.Определение кодового расстояния по кодовой таблице.Систематическая форма порождающей матрицы.Проверочная матрица.Синдром.Разложение векторного пространства на смежные классы.Определение кодового расстояния по проверочной матрице. | 2 | ПК-6 |
| | Итого | 2 | |
| 11 Циклические коды | Фундаментальное свойство циклических кодов.Нуль-полином и его факторизация.Порождающий полином и его единственность для заданного кода.Связь порождающего полинома и порождающей матрицы.Проверочный полином, его связь с проверочной матрицей.Систематический циклический код.Систематический кодер на основе цифрового фильтра.Роль остатка от деления двух полиномов.Декодирование с исправлением ошибки.Декодирование с восстановлением стертых символов. | 2 | ПК-6 |
| | Итого | 2 | |
| 13 Сверточные коды. | Порождающие полиномы.Схема кодирующего устройства.Диаграмма состояний кодера.Разрешенные кодовые последовательности.Свободное расстояние кода.Пороговое декодирование кода.Решетка кода.Алгоритм декодирования по Витерби. | 3 | ПК-6 |
| | Итого | 3 | |
| Итого за семестр | | 24 | |

**5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами**

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

| Наименование дисциплин | № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | | | | | | | | | |
| 1 Информатика | | | | + | | | | | | | | | |
| 2 Основы статисти- | + | + | | | | | + | + | | | | | |

Согласована на портале № 38606

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ческой радиотехники | | | | | | | | | | | | | |
| 3 Радиоавтоматика | | | | | | | + | | | | | | |
| 4 Теория вероятностей и математическая статистика | | | | + | + | | | | | | | | |
| 5 Устройства генерирования и формирования сигналов | + | + | + | | | | | + | + | | | | |
| 6 Устройства приема и обработки сигналов | + | + | + | | | | + | + | + | | | | |
| 7 Цифровая обработка сигналов | | | | | | | | | + | | | | |
| Последующие дисциплины | | | | | | | | | | | | | |
| 1 Многоканальные цифровые системы передачи | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2 Основы построения компьютерных сетей | + | + | | + | + | | + | | | | + | | + |

**5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий**

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Компетенции | Виды занятий | | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|---|
| | Лек. | Прак. зан. | Лаб. раб. | Сам. раб. | |
| ПК-6 | + | + | + | + | Домашнее задание, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест, Отчет по практическому занятию |

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

## 7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

| Названия разделов | Наименование лабораторных работ | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | |
| 1 Модуляция. Спектральный состав. | Изучение спектров сигналов с линейной модуляцией. Показывается влияние формы импульса-носителя и функции корреляции битовой последовательности на спектр формируемого сигнала. | 4 | ПК-6 |

Согласована на портале № 38606

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Итого | 4 | |
| 3 Частотная манипуляция с непрерывной фазой. | Изучение Simulink-модели некогерентного демодулятора частотно-манипулированного сигнала с непрерывной фазой. | 4 | ПК-6 |
| | Итого | 4 | |
| 11 Циклические коды | Изучение циклических кодов (7, 4). Систематическое кодирование и декодирование с исправлением однократных ошибок. Моделирование двоичного симметричного канала с независимыми ошибками. Оценка вероятности ошибки после декодирования. | 4 | ПК-6 |
| | Итого | 4 | |
| 12 Коды Рида-Соломона | Исследование кода Рида-Соломона над полем GF(p), где p - простое число. Изучается вариант кодирования s(x) = a(x)*g(x), а также декодирование с исправлением ошибок по синдрому - остатку от деления. | 2 | ПК-6 |
| | Итого | 2 | |
| 13 Сверточные коды. | Изучение сверточных кодов со скоростью кодирования 1/2: кодирование, пороговое декодирование и декодирование по Витерби. | 4 | ПК-6 |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 18 | |

## 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | |
| 1 Модуляция. Спектральный состав. | Расчет спектральной плотности импульсов треугольной формы на основе известной спектральной плотности импульсов прямоугольной формы.Расчет корреляционных функций для некоторых видов модуляции: с линейным преобразованием битов (сумма и разность), с чередованием полярности (AMI, ЧПИ), с циклическим преобразованием (MLT-3).Расчет спектральных плотностей по корреляционным функциям.Построение соответствующих графиков, их анализ. | 3 | ПК-6 |
| | Итого | 3 | |
| 2 Формирующий и согласованный фильтры. Их роль. | Вычисление предельных значений частотной характеристики (ЧХ) фильтра "приподнятого" косинуса для особенных частот.Построение "от руки" графиков амплитудной ЧХ и импульсной характеристики (ИХ) фильтра.Расчет на компьютере с по- | 4 | ПК-6 |

Согласована на портале № 38606

| | | | |
|---|---|---|---|
| | мощью дискретного преобразования Фурье амплитудной ЧХ фильтра по дискретной и финитной ИХ фильтра.Построение "от руки" отклика формирующего фильтра (до цифро-аналогового преобразователя) на заданную битовую последовательность.Расчет предельных значений частотной характеристики (ЧХ) фильтра типа "корень" из "приподнятого" косинуса для особенных частот с помощью программы компьютерной алгебры SymPy.Построение "от руки" графиков амплитудной ЧХ и импульсной характеристики (ИХ) фильтра.Расчет на компьютере с помощью дискретного преобразования Фурье амплитудной ЧХ фильтра по дискретной и финитной ИХ фильтра.Построение "от руки" отклика согласованного фильтра (в цифровом виде) на заданный входной сигнал. | | |
| | Итого | 4 | |
| 4 Экономные (сжимающие) коды. | Определение собственной информации.Определение энтропии источника.Определение избыточности источника.Определение взаимной информации.Изучение принципов векторного квантования источника. | 2 | ПК-6 |
| | Итого | 2 | |
| 5 Пропускная способность каналов связи. | Вычисление пропускной способности различных каналов связи. | 2 | ПК-6 |
| | Итого | 2 | |
| 8 Принципы расширения спектра в системах радиосвязи. | Генерация псевдослучайных последовательностей (М-последовательностей) с помощью цифровых фильтров.Свойства М-последовательностей.Коды Голда. | 3 | ПК-6 |
| | Итого | 3 | |
| 10 Линейные блочные коды. | Составление кодовой таблицы.Определение кодового расстояния по кодовой таблице.Определение кратности гарантированного обнаружения, исправления и восстановления стертых символов.Приведение порождающей матрицы к систематической форме.Связь порождающей матрицы с проверочной.Синдром. Декодирование с исправлением однократных ошибок.Разложение векторного пространства на смежные классы. | 2 | ПК-6 |
| | Итого | 2 | |
| 11 Циклические коды | Определение порождающей матрицы по порождающему полиному.Определение проверочного полинома по порождающему.Кодирование систематическим кодом.Проверка фундаментального свойства циклического кода.Нахождение частного и остатка от деления двух полиномов: алгебраически и с помощью цифрового фильтра.Корректор: декодирование с исправлением однократных оши- | 2 | ПК-6 |

Согласована на портале № 38606

| | | | |
|---|---|---|---|
| | бок. | | |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 18 | |

## 9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | | |
| 1 Модуляция. Спектральный состав. | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 3 | ПК-6 | Домашнее задание, Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 8 | | |
| 2 Формирующий и согласованный фильтры. Их роль. | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ПК-6 | Домашнее задание, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Итого | 5 | | |
| 3 Частотная манипуляция с непрерывной фазой. | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | ПК-6 | Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Итого | 4 | | |
| 4 Экономные (сжимающие) коды. | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-6 | Домашнее задание, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Итого | 3 | | |
| 5 Пропускная способность каналов связи. | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-6 | Домашнее задание, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Итого | 3 | | |
| 6 Частотная и энергетическая эффективность систем | Проработка лекционного материала | 1 | ПК-6 | Тест |
| | Итого | 1 | | |

Согласована на портале № 38606

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| радиосвязи. | | | | |
| 7 Принципы синхронизации в системах радиосвязи. | Проработка лекционного материала | 1 | ПК-6 | Тест |
| | Итого | 1 | | |
| 8 Принципы расширения спектра в системах радиосвязи. | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-6 | Домашнее задание, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Итого | 3 | | |
| 9 Принципы модуляции OFDM. | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-6 | Отчет по практическому занятию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Итого | 3 | | |
| 10 Линейные блочные коды. | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-6 | Домашнее задание, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Итого | 3 | | |
| 11 Циклические коды | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-6 | Домашнее задание, Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 7 | | |
| 12 Коды Рида-Соломона | Оформление отчетов по лабораторным работам | 2 | ПК-6 | Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Итого | 2 | | |
| 13 Сверточные коды. | Проработка лекционного материала | 1 | ПК-6 | Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 5 | | |
| Итого за семестр | | 48 | | |
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 84 | | |

Согласована на портале № 38606

## 10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

### 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

| Элементы учебной деятельности | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|---|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | | |
| Домашнее задание | 6 | 8 | 8 | 22 |
| Отчет по лабораторной работе | | 12 | 12 | 24 |
| Отчет по практическому занятию | 4 | 4 | 4 | 12 |
| Тест | 4 | 4 | 4 | 12 |
| Итого максимум за период | 14 | 28 | 28 | 70 |
| Экзамен | | | | 30 |
| Нарастающим итогом | 14 | 42 | 70 | 100 |

### 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

| Баллы на дату контрольной точки | Оценка |
|---|---|
| ≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 5 |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 4 |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 3 |
| < 60% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 2 |

### 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка (ГОС) | Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен | Оценка (ECTS) |
|---|---|---|
| 5 (отлично) (зачтено) | 90 - 100 | A (отлично) |
| 4 (хорошо) (зачтено) | 85 - 89 | B (очень хорошо) |
| | 75 - 84 | C (хорошо) |
| | 70 - 74 | D (удовлетворительно) |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено) | 65 - 69 | |
| | 60 - 64 | E (посредственно) |
| 2 (неудовлетворительно) (не зачтено) | Ниже 60 баллов | F (неудовлетворительно) |

Согласована на портале № 38606

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

1. Галкин, Вячеслав Александрович. Цифровая мобильная радиосвязь [Текст] : учебное пособие для вузов / В. А. Галкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Горячая линия - Телеком, 2012. - 592 с. : ил. - (Учебное пособие. Специальность для высших учебных заведений). - Библиогр.: с. 580-581. - Предм. указ.: с. 582-585. - ISBN 978-5-9912-0185-8 : 774.40 р. (наличие в библиотеке ТУСУР - 40 экз.)
2. Волков, Лев Николаевич. Системы цифровой радиосвязи. Базовые методы и характеристики : Учебное пособие для вузов / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. - М. : Экотрендз, 2005. - 390[2] с. : ил., табл., портр. - (Библиотека МТС & GSM). - Библиогр.: с. 388-390. - ISBN 5-88405-071-2 : 269.01 р. (наличие в библиотеке ТУСУР - 42 экз.)

### 12.2. Дополнительная литература

1. Рихтер, С.Г. Кодирование и передача речи в цифровых системах подвижной радиосвязи [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.Г. Рихтер. — Электрон. дан. — Москва Горячая линия-Телеком, 2011. — 304 с. - Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/76502 (дата обращения: 09.07.2018).
2. Формирование и генерирование сигналов в цифровой радиосвязи [Электронный ресурс]: Учебное пособие / В.Т. Першин. - М. НИЦ ИНФРА-М; Мн. Нов. знание, 2013. - 614 с. ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-16-006703-2, 600 экз. - Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/405030 (дата обращения: 09.07.2018).
3. Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Варгаузин В.А., Цикин И.А. - СПбБХВ-Петербург, 2013. - 352 с. ISBN 978-5-9775-0878-0 - Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/943520 (дата обращения: 09.07.2018).
4. Теория электрической связи [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Акулиничев Ю. П., Бернгардт А. С. - 2015. 196 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5858 (дата обращения: 09.07.2018).

### 12.3. Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Сборник компьютерных лабораторных работ по системам связи [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторным работам / Новиков А. В. - 2018. 151 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7149 (дата обращения: 09.07.2018).
2. Демодуляция цифровых сигналов. Статистический и сигнальный подходы [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Новиков А. В. - 2018. 51 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7150 (дата обращения: 09.07.2018).
3. Теория электрической связи [Электронный ресурс]: Учебно - методическое пособие для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов / Акулиничев Ю. П. - 2012. 202 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/1758 (дата обращения: 09.07.2018).

#### 12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Согласована на портале № 38606

### 12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. При изучении дисциплины рекомендуется использовать базы данных, информационно-справочные и поисковые системы, к которым у ТУСУРа есть доступ https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

## 13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

### 13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

#### 13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

#### 13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная лаборатория информационных технологий

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ)

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 423 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Доска магнитно-маркерная BRAUBERG;
- LMC-100103 Экран с электроприводом Master Control Matte 203*203 см White FiberGlass, черная кайма по периметру;
- Проектор NEC «M361X»;
- Системный блок (16 шт.);
- Мониторы (16 шт.);
- Компьютер;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Adobe Acrobat Reader
- Google Chrome
- LibreOffice
- Mozilla Firefox
- OpenOffice
- PTC Mathcad13, 14
- Scilab

#### 13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Учебная лаборатория информационных технологий

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ)

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 423 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Доска магнитно-маркерная BRAUBERG;
- LMC-100103 Экран с электроприводом Master Control Matte 203*203 см White FiberGlass, черная кайма по периметру;
- Проектор NEC «M361X»;
- Системный блок (16 шт.);

Согласована на портале № 38606

- Мониторы (16 шт.);
- Компьютер;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

– Adobe Acrobat Reader
– Google Chrome
– LibreOffice
– OpenOffice
– PTC Mathcad13, 14
– Scilab

### 13.1.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

### 13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

Согласована на портале № 38606

## 14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

#### 14.1.1. Тестовые задания

Согласованный фильтр обеспечивает:
- Минимально короткий по времени отклик на своем выходе
- Максимальное отношение сигнал-шум на своем выходе в определенный момент времени, при условии, что шум — белый
- Снятие закона модуляции (демодуляцию)
- Максимум шенноновской информации на своем выходе

Формирующий фильтр обеспечивает:
- Формирование квадратурных сигналов с заданной формой спектральной плотности
- Формирование узкополосного сигнала на некоторой несущей частоте
- Формирование ортогональных по времени квадратурных сигналов
- Формирование тактовых импульсов для символьной синхронизации

Согласованный фильтр является:
- Линейным фильтром с постоянными параметрами
- Нелинейным фильтром с постоянными параметрами
- Линейным фильтром с переменными параметрами
- Нелинейным фильтром с переменными параметрами

Формирующий фильтр является:
- Линейным фильтром с постоянными параметрами
- Нелинейным фильтром с постоянными параметрами
- Линейным фильтром с переменными параметрами
- Нелинейным фильтром с переменными параметрами

Параметр Roll-off factor формирующего фильтра типа "приподнятый" косинус позволяет:
- Изменить уровень межсимвольной интерференции на своем выходе
- Изменить ширину спектра формируемого сигнала
- Изменить скорость спада мощности вне основной полосы формируемого сигнала
- Изменить амплитуду формируемого сигнала

Межсимвольная интерференция — это:
- Когда время прихода импульса является случайной величиной с ненулевой дисперсией
- Когда импульс влияет на соседние импульсы, накладываясь на них своими "хвостами"
- Когда длительность импульса является случайной величиной с ненулевой дисперсией
- Процесс формирования группового сигнала в системах с кодовым разделением каналов

Межсимвольная интерференция является:
- Вредной
- Полезной
- Зависит от способа формирования сигнала
- Нейтральной

Согласованный фильтр, бывает, заменяют:
- Фильтром нижних частот
- Коррелятором
- Коррелятором с фильтром нижних частот
- Фильтром верхних частот

Коррелятор — это устройство, которое вычисляет:
- Интеграл по времени от входного сигнала
- Произведение опорного сигнала и входного
- Интеграл по времени от произведения опорного сигнала и входного
- Свертку опорного сигнала с входным

Когерентный прием обязательно включает в себя:
- Амплитудный детектор

Согласована на портале № 38606

- Схему выделения сигнала "пилот-тон"
- Контур фазовой автоподстройки частоты
- Процесс формирования опорного колебания с точностью до фазы для последующего снятия закона модуляции

Некогеретный прием обязательно включает в себя:
- Процесс формирования опорного колебания с точностью до частоты для последующего снятия закона модуляции
- Схему выделения сигнала "пилот-тон"
- Контур фазовой автоподстройки частоты
- Частотный детектор

Петля Костаса предназначена для:
- Автоматической подстройки частоты формируемого опорного колебания
- Снятия дифференциального кодирования символов
- Автоматической подстройки частоты формируемого опорного колебания с точностью до фазы
- Удвоения частоты формируемого колебания

Модуляция QPSK позволяет передать:
- 1.5 бита на символ
- 4 бита на символ
- 1 бит на символ
- 2 бита на символ

Модуляция GMSK позволяет передать:
- 1.5 бита на символ
- 4 бита на символ
- 1 бит на символ
- 2 бита на символ

Модуляция QAM-16 позволяет передать:
- 1.5 бита на символ
- 4 бита на символ
- 1 бит на символ
- 2 бита на символ

Более требовательна к отношению сигнал-шум модуляция:
- GMSK
- QPSK
- QAM-16
- BPSK

Более требовательна к линейности выходного усилителя мощности модуляция:
- QAM-16
- OQPSK
- GMSK
- QPSK-pi/4

Усилители мощности по степени линейности делятся на классы:
- A,B,C
- A,B,C; D,E,F
- I, II, III
- 0, 1, 2

Мощность теплового шума на входе малошумящего усилителя приемника прямо пропорциональна:
- Коэффициенту шума малошумящего усилителя
- Полосе частот принимаемого радиосигнала
- Несущей частоте принимаемого радиосигнала
- Существует сама по себе и ни от чего не зависит

Коэффициент шума малошумящего усилителя это:
- Отношение сигнал-шум на входе усилителя, деленное на отношение сигнал-шум на его

Согласована на портале № 38606

выходе

- Уровень собственного шума усилителя, в dBm
- Величина kT, где T — температура окружающей среды, k — постоянная Больцмана
- Разница коэффициентов усиления усилителя (в dB), измеренных для двух опорных температур

Коды Голда примечательны:

- Идеальной автокорреляционной функцией
- Трехзначной функцией взаимной корреляции
- Своей ортогональностью
- Тем, что их изобрел мистер Голд

М-последовательности примечательны:

- Максимальным периодом
- Хорошими взаимно корреляционными свойствами
- Своей ортогональностью
- Равенством количества нулей и единиц

Коды Уолша примечательны:

- Идеальной автокорреляционной функцией
- Наличием последовательности типа "меандр"
- Своей абсолютной независимостью
- Своей ортогональностью

Для систем радиосвязи с расширенным спектром характерна:

- Лучшая защита от непреднамеренных помех и многолучевого распространения сигнала
- Более высокая битовая скорость передачи информации
- Большая плотность мощности излучаемого сигнала
- Заметность в радиоэфире

Системы с кодовым разделением каналов:

- Вытеснили другие технологии разделения каналов ввиду своей исключительности
- Применяются одновременно с другими технологиями разделения каналов
- Практически не применяются ввиду своей сложности
- Отдали "козырную масть" технологии OFDM

Коэффициент расширения спектра в современных (4G) системах радиосвязи варьируется в пределах:

- (4-512)
- (256-1024)
- (4-64)
- (32-128)

Коэффициент расширения спектра равен 256. Отношение сигнал-шум после сжатия (по времени) сигнала с расширенным спектром увеличится на:

- 110 dB
- 48 dB
- 24 dB
- 55 dB

Помехоустойчивое кодирование основано на:

- Дублировании символов
- Введении избыточности по определенным правилам
- Скремблировании сообщений псевдослучайными кодами
- Введении избыточности по случайным правилам

Кодирование источника основано на:

- Скремблировании сообщений псевдослучайными кодами
- Методах шифрования
- Существовании избыточности, мера которой может быть выражена шенноновской энтропией
- Неравновероятности символов сообщения

Линейные блочные коды примечательны тем, что полностью определяются:

Согласована на портале № 38606

- Набором порождающих полиномов
- Порождающим полиномом
- Порождающей матрицей
- Кодовой таблицей

Энтропия некоторого источника информации определяется как:
- Среднее значение собственной информации
- Максимальное значение собственной информации
- Минимальное значение собственной информации
- Медианное значение собственной информации

Помехоустойчивые коды бывают:
- Блочными и потоковыми
- Регулярными и нерегулярными
- Однородными и неоднородными
- Статическими и динамическими

Информация по К. Шеннону выражается как:
- Логарифм обратной вероятности
- Величина обратной вероятности
- Логарифм вероятности
- Логарифм модуля вероятности

Сверточные коды примечательны тем, что полностью определяются:
- Набором порождающих полиномов
- Кодовой таблицей
- Порождающей матрицей
- Порождающим полиномом

Строки порождающей матрицы линейного блочного кода должны быть:
- Ненулевыми
- Разными
- Линейно-независимыми
- Линейно-зависимыми

Число строк проверочной матрицы линейного блочного кода определяется:
- Количеством проверочных символов
- Количеством информационных символов
- Зависит от дополнительных условий
- Кодовым расстоянием кода

Свойство префикса некоторого кода (например, кодов Хаффмана или Шеннона-Фано) заключается в том, что:
- Ни одна приставка некоторого кодового слова не является кодовым словом
- Все приставки являются кодовыми словами
- Кодовые слова имеют одинаковую длину
- Кодовые слова имеют разную длину

Код Лемпеля-Зива (Lempel-Ziv) является:
- Словарным кодом
- Древовидным кодом подобно коду Хаффмана
- Кодом с хеш-таблицей (hash table)
- Кодом с линейным предсказанием

Коды Рида-Соломона примечательны тем, что они:
- Дают максимально возможное кодовое расстояние и являются недвоичными
- Являются недвоичными
- Имеют порождающий полином, который не раскладывается на множители
- Имеют кодовое расстояние, равное количеству проверочных символов

Столбцы проверочной матрицы линейного блочного кода фактически являются:
- Запрещенными кодовыми словами
- Разрешенными кодовыми словами
- Синдромами для однократных ошибок

Согласована на портале № 38606

- Векторами однократных ошибок

Кодовое расстояние линейного блочного кода можно определить по проверочной матрице кода как:

- Количество ненулевых столбцов
- Максимальное количество линейно-независимых столбцов матрицы минус единица
- Максимальное количество линейно-независимых столбцов матрицы
- Максимальное количество линейно-независимых столбцов матрицы плюс единица

Величина взаимной информации по К. Шеннону определяется как логарифм отношения вероятностей:

- P(x/y) / P(x)
- P(x) / P(x/y)
- P(x/y) / P(x,y)
- P(x,y) / P(x)

### 14.1.2. Экзаменационные вопросы

ЛИНЕЙНЫЕ БЛОЧНЫЕ КОДЫ:

Порождающая матрица. Кодовая таблица. Кодовое расстояние. Кратность обнаружения, исправления и восстановления стертых символов. Определение кодового расстояния по кодовой таблице. Систематическая форма порождающей матрицы. Проверочная матрица. Синдром. Определение кодового расстояния по проверочной матрице.

ЦИКЛИЧЕСКИЕ КОДЫ:

Фундаментальное свойство циклических кодов. Нуль-полином и его факторизация. Порождающий полином и его единственность для заданного кода. Связь порождающего полинома и порождающей матрицы. Проверочный полином, его связь с проверочной матрицей. Систематический циклический код. Систематический кодер на основе цифрового фильтра. Роль остатка от деления двух полиномов. Декодирование с исправлением ошибки. Декодирование с восстановлением стертых символов.

ЭКОНОМНЫЕ КОДЫ:

Собственная информация. Энтропия источника. Избыточность. Взаимная информация. Принципы векторного квантования источника.

Коды Хаффмана, Шеннона-Фано и Лемпеля-Зива.

ЧАСТОТНАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ СВЯЗИ:

Связь между "аналоговым" и "цифровым" отношениями сигнал-шум. Нормированная пропускная способность канала. Скорость кодирования. Теорема Шеннона, ее иллюстрация. Предел Шеннона, предел двоичного канала связи: жесткие решения и мягкие решения.

МОДУЛЯЦИЯ. СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ:

Роль модуляции в системах передачи информации.

Различие аналоговой и цифровой модуляции.

Требования к спектрам сигналов в современных системах передачи информации.

Тепловой шум.

Спектральная плотность мощности сигнала.

Спектры сигналов с АМ, ФМ, ЧМ и OFDM модуляциями.

Три поколения цифровых систем связи: аналоговые, гибридные и цифровые.

ФОРМИРУЮЩИЙ ФИЛЬТР. ЕГО РОЛЬ:

Спектральная плотность случайной последовательности импульсов прямоугольной формы.

Скорость спада мощности в зависимости от частоты.

Необходимость сглаживания фронтов импульсов.

Фильтр "приподнятого" косинуса.

Особенности реализации фильтра в цифровом виде: влияние на формируемый спектр факторов дискретности и ограниченности по времени импульсной характеристики; влияние цифро-аналогового преобразователя.

СОГЛАСОВАННЫЙ ФИЛЬТР. ЕГО РОЛЬ:

Тепловой шум как ограничитель производительности систем связи.

Согласованный фильтр как фильтр, доставляющий максимум отношению сигнал-шум при наличии аддитивного белого шума.

Согласована на портале № 38606

Необходимость согласования амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) формирующего фильтра с АЧХ согласованного.

Фильтр "корень" из "приподнятого" косинуса.

ПРИНЦИПЫ СИНХРОНИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ:

Когерентность при приеме и обработке сигнала.

Восстановление несущей частоты.

Петля Костаса.

Восстановление тактовых импульсов.

Детектор Гарднера.

ПРИНЦИПЫ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ:

Достоинства сигналов с расширенным спектром.

Псевдослучайные последовательности (М-последовательности).

Коды Голда.

ПРИНЦИПЫ МОДУЛЯЦИИ OFDM:

Иллюстрация недостатка частотного разделения каналов.

Иллюстрация ортогональности несущих при выполнении операции дискретного преобразования Фурье (ДПФ).

Необходимость циклического префикса для снижения вредного влияния многолучевости.

Параметры модуляции OFDM в системах связи 4G LTE.

Структурные схемы передатчика и приемника с OFDM.

СВЕРТОЧНЫЕ КОДЫ:

Порождающие полиномы.

Схема кодирующего устройства.

Диаграмма состояний кодера.

Разрешенные кодовые последовательности.

Свободное расстояние кода.

Пороговое декодирование кода.

Решетка кода.

Алгоритм декодирования по Витерби.

### 14.1.3. Темы домашних заданий

Задана функция корреляции битовой последовательности. Определить спектральную плотность мощности и построить ее график на одном периоде.

Код Голда задан двумя полиномами. Записать два произвольных кодовых слова кода Голда.

Дана импульсная характеристика формирующего фильтра. Рассчитать и построить отклик этого фильтра на входную битовую последовательность.

Дана функция корреляции битовой последовательности. Рассчитать спектральную плотность мощности и построить ее график.

С помощью компьютера промоделировать модуляцию MLT-3 с оценкой и построением спектральной плотности мощности.

Задана порождающая матрица некоторого линейного блочного кода. Определить, составляя кодовую таблицу, параметры (n, k, d) кода, а также избыточность.

Задана порождающая матрица линейного блочного кода. Привести ее к систематической форме и найти проверочную матрицу.

Дан порождающий полином циклического кода. Записать порождающую и проверочную матрицы соответствующего линейного блочного кода.

Троичный источник задан вероятностями символов. Построить код Хаффмана для однобуквенных сочетаний, а также для двухбуквенных сочетаний символов.

### 14.1.4. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

Как связаны спектральная плотность мощности процесса с его функцией корреляции?

Влияет ли ширина функции корреляции процесса на ширину его спектра? Каким образом?

Для чего необходим формирующий фильтр?

Какова роль согласованного фильтра?

Какова спектрально-корреляционная модель белого шума?

Дайте определение количества информации по Шеннону. Поясните смысл этого равенства.

Согласована на портале № 38606

Дайте определение пропускной способности канала связи.
Чем канал связи отличается от линии связи?
Что такое сигнал с расширенным спектром?
Как определяется избыточность линейного блочного кода?
Являются ли циклические коды линейными?

### 14.1.5. Темы лабораторных работ

Изучение спектров сигналов с линейной модуляцией. Показывается влияние формы импульса-носителя и функции корреляции битовой последовательности на спектр формируемого сигнала.

Изучение Simulink-модели некогерентного демодулятора частотно-манипулированного сигнала с непрерывной фазой.

Изучение циклических кодов (7, 4). Систематическое кодирование и декодирование с исправлением однократных ошибок. Моделирование двоичного симметричного канала с независимыми ошибками. Оценка вероятности ошибки после декодирования.

Изучение сверточных кодов со скоростью кодирования 1/2: кодирование, пороговое декодирование и декодирование по Витерби.

Исследование кода Рида-Соломона над полем GF(p), где p - простое число. Изучается вариант кодирования s(x) = a(x)*g(x), а также декодирование с исправлением ошибок по синдрому - остатку от деления.

## 14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|---|---|---|
| С нарушениями слуха | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы | Преимущественно письменная проверка |
| С нарушениями зрения | Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам | Преимущественно устная проверка (индивидуально) |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами |
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

## 14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

Согласована на портале № 38606

– письменно на бумаге;
– набор ответов на компьютере;
– набор ответов с использованием услуг ассистента;
– представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**
– в форме электронного документа;
– в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**
– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**
– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 38606