**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

# Теория радиосистем передачи информации

Уровень образования: **высшее образование - специалитет**
Направление подготовки / специальность: **11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы**
Направленность (профиль) / специализация: **Радиолокационные системы и комплексы**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **РТФ, Радиотехнический факультет**
Кафедра: **РТС, Кафедра радиотехнических систем**
Курс: **3**
Семестр: **5**
Учебный план набора 2016 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 5 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Лекции | 36 | 36 | часов |
| 2 | Практические занятия | 36 | 36 | часов |
| 3 | Лабораторные работы | 16 | 16 | часов |
| 4 | Контроль самостоятельной работы (курсовой проект / курсовая работа) | 10 | 10 | часов |
| 5 | Всего аудиторных занятий | 98 | 98 | часов |
| 6 | Самостоятельная работа | 82 | 82 | часов |
| 7 | Всего (без экзамена) | 180 | 180 | часов |
| 8 | Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| 9 | Общая трудоемкость | 216 | 216 | часов |
| | | 6.0 | 6.0 | З.Е. |

Экзамен: 5 семестр
Курсовой проект / курсовая работа: 5 семестр

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шелупанов А.А.
Должность: Ректор
Дата подписания: 23.08.2017
Уникальный программный ключ:
c53e145e-8b20-45aa-9347-a5e4dbb90e8d

Томск 2018

Согласована на портале № 36811

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) 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, утвержденного 11.08.2016 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РТС «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

| | | |
|---|---|---|
| профессор каф. РТС | _____ | Ю. П. Акулиничев |
| Заведующий обеспечивающей каф. РТС | _____ | С. В. Мелихов |

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

| | | |
|---|---|---|
| Декан РТФ | _____ | К. Ю. Попова |
| Заведующий выпускающей каф. РТС | _____ | С. В. Мелихов |

Эксперты:

| | | |
|---|---|---|
| старший преподаватель тусур, кафедра РТС | _____ | Д. О. Ноздреватых |
| Доцент кафедры радиотехнических систем (РТС) | _____ | В. А. Громов |

Согласована на портале № 36811

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

Целью преподавания дисциплины является изучение основных закономерностей передачи информации в телекоммуникационных системах.

### 1.2. Задачи дисциплины

– Основной задачей дисциплины является формирование у студентов компетенций, позволяющих самостоятельно проводить математический анализ физических процессов в аналоговых и цифровых устройствах формирования, преобразования и обработки сигналов, оценивать реальные и предельные возможности пропускной способности и помехоустойчивости телекоммуникационных систем и сетей.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Теория радиосистем передачи информации» (Б1.В.ОД.2) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Иностранный язык, Математика, Основы теории цепей, Радиотехнические цепи и сигналы, Статистическая радиотехника, Теория вероятностей и статистика в радиоэлектронике.

Последующими дисциплинами являются: Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты, Космические системы, Научно-исследовательская работа студента, Основы теории радиолокационных систем и комплексов, Основы теории радионавигационных систем и комплексов, Статистическая теория радиотехнических систем, Цифровая обработка сигналов.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-1 способностью осуществлять анализ состояния научно-технической проблемы, определять цели и выполнять постановку задач проектирования;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** - физические и математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиотехнических устройств и систем; - основные закономерности исторического процесса в науке и технике, этапы исторического развития радиотехники, место и значение радиосистем передачи информации в современном мире; - методологические основы и принципы современной науки

– **уметь** - формулировать и решать задачи, грамотно использовать математический аппарат и численные методы для анализа и синтеза радиотехнических устройств и систем; - готовить методологическое обоснование научных исследований и технических разработок в области радиосистем передачи информации

– **владеть** - математическим аппаратом для решения задач теоретической и прикладной радиотехники, методами исследования и моделирования систем передачи информации; - навыками методологического анализа научных исследований и их результатов

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 5 семестр |
| Аудиторные занятия (всего) | 98 | 98 |
| Лекции | 36 | 36 |
| Практические занятия | 36 | 36 |
| Лабораторные работы | 16 | 16 |
| Контроль самостоятельной работы (курсовой проект / | 10 | 10 |

Согласована на портале № 36811

| | | |
|---|---|---|
| курсовая работа) | | |
| Самостоятельная работа (всего) | 82 | 82 |
| Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | 4 |
| Проработка лекционного материала | 32 | 32 |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 46 | 46 |
| Всего (без экзамена) | 180 | 180 |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 |
| Общая трудоемкость, ч | 216 | 216 |
| Зачетные Единицы | 6.0 | 6.0 |

## 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 | КП/КР, ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 семестр | | | | | | | |
| 1 Введение | 2 | 0 | 0 | 10 | 2 | 4 | ПК-1 |
| 2 Математические модели сигналов и помех | 6 | 6 | 0 | | 10 | 22 | ПК-1 |
| 3 Преобразования сигналов в системах связи | 5 | 4 | 0 | | 9 | 18 | ПК-1 |
| 4 Кодирование источника | 4 | 4 | 0 | | 10 | 18 | ПК-1 |
| 5 Помехоустойчивое кодирование | 6 | 6 | 12 | | 12 | 36 | ПК-1 |
| 6 Методы приема цифровых сигналов | 7 | 8 | 0 | | 18 | 33 | ПК-1 |
| 7 Многостанционный доступ | 5 | 8 | 4 | | 11 | 28 | ПК-1 |
| 8 Заключение | 1 | 0 | 0 | | 10 | 11 | ПК-1 |
| Итого за семестр | 36 | 36 | 16 | 10 | 82 | 180 | |
| Итого | 36 | 36 | 16 | 10 | 82 | 180 | |

### 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 |
|---|---|---|---|
| 5 семестр | | | |
| 1 Введение | Информация и сигнал. Сигнал и его спектр. Виды | 2 | ПК-1 |

Согласована на портале № 36811

| | | | |
|---|---|---|---|
| | информационных систем: передачи, хранения, извлечения информации и проч. Линии и среды передачи. Принципы преобразования сообщений в электрические сигналы. Современные системы передачи информации и история их возникновения. | | |
| | Итого | 2 | |
| 2 Математические модели сигналов и помех | Виды сигналов и каналов для их передачи: непрерывный, дискретный, цифровой. Цифровые сигналы: символ, алфавит, основание кода, ряд распределения, основные числовые характеристики, собственная информация и энтропия, избыточность. Примеры символов и физический смысл их числовых характеристик. Последовательность символов – полное вероятностное описание и числовые характеристики. Пропускная способность канала без помех. Пропускная способность двоичного симметричного канала с ошибками.Дискретные сигналы: непрерывная случайная величина, плотность вероятности, числовые характеристики, дифференциальная энтропия. Стационарная последовательность непрерывных случайных величин.Непрерывные сигналы: функционал плотности вероятности и числовые характеристики стационарного случайного процесса, спектр плотности мощности. Непрерывные сигналы, обладающие максимальной неопределенностью. Взаимная информация. Помехи в системах передачи информации. Аддитивная помеха. Пропускная способность непрерывного канала с аддитивным белым гауссовским шумом. Мультипликативная помеха. Временные, частотные и пространственные селективные замирания в канале со случайно изменяющимися параметрами.Методы аналитического и геометрического представления сигналов и помех. | 6 | ПК-1 |
| | Итого | 6 | |
| 3 Преобразования сигналов в системах связи | Обобщенная модель информационной системы и ее модификации для систем связи, радиолокации, радионавигации, телеуправления, телеметрии и т.п. Задачи приема. Симплексные, дуплексные и полудуплексные системы. Прямой и обратный каналы. Преобразование Фурье и его свойства, примеры. Фильтрация непрерывного сигнала, модуляция (АМ, АМ ОБП, ЧМ) и детектирование.Дискретные сигналы: квантование по времени непрерывного сигнала, теорема отсчетов, АЦП и ЦАП, ДПФ и его свойства, БПФ.Цифровые сигналы: элементарные преобразования, линейная цифровая фильтрация, генерирование последовательностей символов. Модуляция гармонической несущей цифровым сигналом (АМ, ЧМ, ФМ, ОФМ, КАМ), корреляционный прием и согласованная фильтра- | 5 | ПК-1 |

Согласована на портале № 36811

| | | | |
|---|---|---|---|
| | ция. Векторное представление сигналов. Спектры модулированных сигналов, межсимвольная интерференция, OFDM, методы передачи и приема.Виды кодирования цифровых сигналов.Принципы статистического анализа и синтеза информационных систем. | | |
| | Итого | 5 | |
| 4 Кодирование источника | Статистическое кодирование. Коды Шеннона-Фано, Хаффмана, блоковое кодирование. Метод Лемпела–Зива.Теорема Шеннона о кодировании в цифровом канале без ошибок. Методы сжатия с потерей информации.Специализированные методы кодирования: вокодер, MP-3, MPEG и проч. | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 5 Помехоустойчивое кодирование | Способность кода обнаруживать и исправлять ошибки, кодовое расстояние.Теоремы Шеннона о кодировании в цифровом канале с помехами.Линейные блочные коды. Код Хемминга. Циклические коды. Порождающий полином. Способы кодирования и декодирования циклических кодов. Декодирование в системах с каналом переспроса. Помехоустойчивость систем с обратной связью (ОС). Кодирование в каналах с мультипликативной помехой, перемежение символов. Особенности систем передачи информации, в которых применяется помехоустойчивое кодирование. | 6 | ПК-1 |
| | Итого | 6 | |
| 6 Методы приема цифровых сигналов | Априорная информация о сигналах и помехах. Когерентные и некогерентные системы передачи информации. Постановка задачи об оптимальном демодуляторе (приемнике) цифровых сигналов. Критерии качества. Критерий максимума средней вероятности правильного приема. Решающая схема, построенная по правилу максимума апостериорной вероятности. Отношение правдоподобия. Оптимальный прием в канале с постоянными параметрами при наличии аддитивного белого шума. Вероятность ошибки при приеме многопозиционных сигналов. Прием сигнала в условиях многолучевости. Способы разнесенного приема. Регенерация цифрового сигнала в ретрансляторах. Поэлементный прием цифровых сигналов и прием "в целом". | 7 | ПК-1 |
| | Итого | 7 | |
| 7 Многостанционный доступ | Основные положения теории разделения сигналов в системах многоканальной связи. Системы передачи с линейно-независимыми сигналами. Условия разделимости сигналов, определитель Грама. Геометрическая трактовка разделения сигналов.Многостанционный доступ с частотным и временным методами разделения каналов. Структур- | 5 | ПК-1 |

Согласована на портале № 36811

| | | | |
|---|---|---|---|
| | ные схемы многоканальных систем с ЧРК и ВРК, особенности формирования групповых сигналов и построения разделяющих устройств. Кодовое разделение каналов. Междуканальные помехи.Синхронизация в системах передачи информации с многостанционным доступом. | | |
| | Итого | 5 | |
| 8 Заключение | Перспективы развития систем передачи информации. | 1 | ПК-1 |
| | Итого | 1 | |
| Итого за семестр | | 36 | |

**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 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | | | | |
| 1 Иностранный язык | + | | | | + | | | + |
| 2 Математика | | + | + | + | + | + | | |
| 3 Основы теории цепей | | + | + | | | | | |
| 4 Радиотехнические цепи и сигналы | | + | + | | | | | |
| 5 Статистическая радиотехника | | + | | | | + | | |
| 6 Теория вероятностей и статистика в радиоэлектронике | | + | + | | | | | |
| Последующие дисциплины | | | | | | | | |
| 1 Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты | | | | | + | + | + | + |
| 2 Космические системы | | | | | | | + | |
| 3 Научно-исследовательская работа студента | | | + | | + | + | | |
| 4 Основы теории радиолокационных систем и комплексов | | + | | | | + | | |
| 5 Основы теории радионавигационных систем и комплексов | | + | | | | + | + | |
| 6 Статистическая теория радиотехнических систем | | + | | | | + | | |
| 7 Цифровая обработка сигналов | | + | | | + | | | |

Согласована на портале № 36811

### 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. | КСР (КП/КР) | Сам. раб. | |
| ПК-1 | + | + | + | + | + | Контрольная работа, Домашнее задание, Отчет по индивидуальному заданию, Выполнение контрольной работы, Экзамен, Конспект самоподготовки, Защита отчета, Собеседование, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Защита курсовых проектов / курсовых работ, Консультирование, Выступление (доклад) на занятии, Расчетная работа, Тест, Отчет по курсовому проекту / курсовой работе, Дифференцированный зачет |

## 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 |
|---|---|---|---|
| 5 семестр | | | |
| 5 Помехоустойчивое кодирование | Исследование сверточного кодирования и порогового декодирования. Исследование помехоустойчивости кода с проверкой на четность и циклического кода. Биортогональные коды. | 12 | ПК-1 |
| | Итого | 12 | |
| 7 Многостанционный доступ | Исследование системы связи с временным разделением каналов с время-импульсной модуляцией. | 4 | ПК-1 |

Согласована на портале № 36811

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 16 | |

## 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 |
|---|---|---|---|
| 5 семестр | | | |
| 2 Математические модели сигналов и помех | Математические модели сигналов и помех. Аддитивные и мультипликативные помехи. Методы аналитического и геометрического представления сигналов и помех. | 6 | ПК-1 |
| | Итого | 6 | |
| 3 Преобразования сигналов в системах связи | АЦП и ЦАП. Корреляционный приемник. Модуляция гармонической несущей цифровым сигналом.Линейная цифровая фильтрация, генерирование последовательностей символов.Принципы статистического анализа и синтеза информационных систем. | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 4 Кодирование источника | Собственная информация, энтропия, избыточность. Коды Шеннона-Фано, Хаффмана, Лемпела–Зива. Взаимная информация, скорость передачи информации, пропускная способность канала. | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 5 Помехоустойчивое кодирование | Способность кода обнаруживать и исправлять ошибки, кодовое расстояние. Линейные блочные коды. Код Хемминга. Циклические коды. Декодирование в системах с каналом переспроса. | 6 | ПК-1 |
| | Итого | 6 | |
| 6 Методы приема цифровых сигналов | Отношение правдоподобия и преобразования сигнала с шумом. Прием цифрового сигнала в канале с постоянными параметрами при наличии аддитивного белого шума. Разнесенный прием.Предельные характеристики системы передачи информации. | 8 | ПК-1 |
| | Итого | 8 | |
| 7 Многостанционный доступ | Системы передачи с линейно-независимыми сигналами. Условия разделимости сигналов, определитель Грама. Многостанционный доступ с частотным и временным методом разделения каналов. Междуканальные помехи.Синхронизация в системах передачи информации с многостанцион- | 8 | ПК-1 |

Согласована на портале № 36811

| | | | |
|---|---|---|---|
| | ным доступом. | | |
| | Итого | 8 | |
| Итого за семестр | | 36 | |

## 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 |
|---|---|---|---|---|
| 5 семестр | | | | |
| 1 Введение | Проработка лекционного материала | 2 | ПК-1 | Конспект самоподготовки, Тест |
| | Итого | 2 | | |
| 2 Математические модели сигналов и помех | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 10 | ПК-1 | Опрос на занятиях, Расчетная работа, Тест |
| | Итого | 10 | | |
| 3 Преобразования сигналов в системах связи | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ПК-1 | Выполнение контрольной работы, Домашнее задание, Опрос на занятиях, Расчетная работа, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 5 | | |
| | Итого | 9 | | |
| 4 Кодирование источника | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 8 | ПК-1 | Домашнее задание, Контрольная работа, Опрос на занятиях, Расчетная работа, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 2 | | |
| | Итого | 10 | | |
| 5 Помехоустойчивое кодирование | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 8 | ПК-1 | Выступление (доклад) на занятии, Домашнее задание, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 4 | | |
| | Итого | 12 | | |
| 6 Методы приема цифровых сигналов | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 8 | ПК-1 | Выступление (доклад) на занятии, Домашнее задание, Защита отчета, Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Собеседование, |
| | Проработка лекционного материала | 6 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |

Согласована на портале № 36811

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Итого | 18 | | Тест |
| 7 Многостанционный доступ | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 8 | ПК-1 | Домашнее задание, Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен |
| | Проработка лекционного материала | 3 | | |
| | Итого | 11 | | |
| 8 Заключение | Проработка лекционного материала | 10 | ПК-1 | Контрольная работа, Тест |
| | Итого | 10 | | |
| Итого за семестр | | 82 | | |
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 118 | | |

## 10. Курсовой проект / курсовая работа

Трудоемкость аудиторных занятий и формируемые компетенции в рамках выполнения курсового проекта / курсовой работы представлены таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Трудоемкость аудиторных занятий и формируемые компетенции в рамках выполнения курсового проекта / курсовой работы

| Наименование аудиторных занятий | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|
| 5 семестр | | |
| Выдача индивидуальных вариантов заданий, разъяснение их смысла и требований к отчету | 2 | ПК-1 |
| Методика анализа литературы и разработки укрупненной функциональной схемы СПИ | 2 | |
| Выполнение расчетной части задания | 3 | |
| Разработка окончательной функциональной схемы СПИ, написание и защита отчета | 3 | |
| Итого за семестр | 10 | |

### 10.1. Темы курсовых проектов / курсовых работ

Примерная тематика курсовых проектов / курсовых работ:

- Многоканальная цифровая система передачи информации (СПИ)
-
- Многоканальная цифровая СПИ предназначена для передачи цифровых сигналов от M однотипных источников информации по одному или нескольким арендуемым стандартным аналоговым каналам и характеризуется следующими параметрами:
- 1) число каналов M;
- 2) длина двоичной кодовой комбинации (слова) на входе кана-ла Kc, бит;
- 3) средняя скорость на входе канала Vc, слов/с;
- 4) тип корректирующего кода;
- 5) тип манипуляции;
- 6) способ уплотнения каналов;

Согласована на портале № 36811

– 7) битовая вероятность ошибки на выходе демодулятора в прямом канале Рб;

– 8) спектральная плотность мощности аддитивного белого шума на входах приемников прямого и обратного каналовNo, Вт/Гц;

– 9) затухание в прямом и обратном каналах G, дб.

–

– Вопросы, подлежащие разработке:

– 1) разработка укрупненной структурной схемы системы в целом для передачи в одном направлении;

– 2) выбор способов введения и численных значений параметров синхросигналов;

– 3) выбор способа мультиплексирования - биты, байты, слова (при временном уплотнении каналов);

– 4) расчет значений всех временных интервалов, определяющих структуру цифровых канальных и (при временном уплотнении каналов) группового сигналов с учетом влияния повторной передачи кодовых комбинаций при обнаружении ошибок;

– 5) выбор численных значений параметров корректирующего кода, обнаруживающего ошибки, при которых обеспечивается минимальная требуемая мощность передатчика при заданной битовой вероятности ошибки на выходе демодулятора;

– 6) определение типа и параметров модуляции, битовой вероятности ошибки и мощности передатчика в канале переспроса;

– 7) вычисление битовой вероятности ошибки на выходе демодулятора, вычисление вероятности ошибки при приеме кодового слова и битовой вероятности ошибки на выходе декодера в режиме исправления ошибки при выбранной мощности передатчика и используемых параметрах корректирующего кода;

– 8) расчет битовой вероятности ошибки на выходе демодулятора в системе, не использующей помехоустойчивое кодирование, при выбранной мощности передатчика;

– 9) разработка детальной функциональной схемы кодера и декодера, обнаруживающего ошибки, для выбранного корректирующего кода, либо моделирование в среде Matlab (по выбору студента);

– 10) расчет полосы частот, необходимой для передачи группового сигнала и сигнала переспроса на выходе системы;

– 11) разработка функциональной схемы модулятора и демодулятора в первой ступени уплотнения;

– 12) выбор численных значений параметров модуляции в первой и, в случае необходимости, последующих ступенях уплотнения;

– 13) разработка функциональной схемы устройства тактовой синхронизации, приемников кадрового и, при необходимости, циклового синхросигналов;

– 14) вычисление вероятностей ошибок ложного фазирования и сбоя синхронизации и определение емкостей накопителей по входу в синхронизм и выходу из синхронизма;

– 15) оценка частоты появления ошибок и заключение о ее соответствии назначению системы;

– 16) разработка способа сопряжения системы с аналоговой аппаратурой частотного уплотнения телефонных каналов для передачи групповых сигналов по одному или нескольким арендуемым стандартным трактам;

– 17) разработка структурной схемы системы в целом для передачи в одном направлении.

## 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 |
|---|---|---|---|---|

Согласована на портале № 36811

| 5 семестр | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Выступление (доклад) на занятии | 2 | 2 | 3 | 7 |
| Домашнее задание | 4 | 4 | 4 | 12 |
| Конспект самоподготовки | 4 | 4 | 4 | 12 |
| Контрольная работа | 6 | 8 | 8 | 22 |
| Отчет по лабораторной работе | | 4 | 4 | 8 |
| Тест | 3 | 3 | 3 | 9 |
| Итого максимум за период | 19 | 25 | 26 | 70 |
| Экзамен | | | | 30 |
| Нарастающим итогом | 19 | 44 | 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) |

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

1. Теория электрической связи [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Акулиничев Ю. П., Бернгардт А. . - 2015. 196 с. - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/5858 (дата обращения: 07.07.2018).

Согласована на портале № 36811

### 12.2. Дополнительная литература

1. Радиотехнические цепи и сигналы. Часть 1 Теория сигналов и линейные цепи [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Каратаева Н. А. - 2012. 261 с. - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/2798 (дата обращения: 07.07.2018).

### 12.3. Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Теория электрической связи [Электронный ресурс]: Учебно - методическое пособие для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов / Акулиничев Ю. П. - 2012. 202 с. - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/1758 (дата обращения: 07.07.2018).
2. Многоканальная цифровая система передачи информации [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта расчетного задания, самостоятельной работы / Бернгардт А. С., Акулиничев Ю. П. - 2016. 41 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/6583 (дата обращения: 07.07.2018).
3. Теория и техника передачи информации [Электронный ресурс]: Методические указания по проведению лабораторных работ и организации самостоятельной работы студентов / Новиков А. В., Бернгардт А. С. - 2015. 48 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/4978 (дата обращения: 07.07.2018).

#### 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.

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

1. Научно-образовательный портал ТУСУРа - http://edu.tusur.ru.
2. Библиотека ТУСУРа - http://lib.tusur.ru.
3. 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

Специализированная учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для про-

Согласована на портале № 36811

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

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 427 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Доска магнито-маркерная;
- Компьютер;
- Плазменная панель;
- Сервер (2 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

– Far Manager
– Opera

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

Лаборатория защищенных систем связи

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 432 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Приборы измерительные (17 шт.);
- Макеты лабораторные: "Исследование спектров импульсных модулированных сигналов", "Исследование преобразования непрерывных величин в цифровой двоичный код", "Исследование многоканальной системы передачи информации с временным разделением каналов", "Исследование системы связи с дельта-модуляцией", "Исследование биортогонального кода", "Исследование сверточного кода", "Код с проверкой на четность и циклический код";
- Компьютер WS3;
- Компьютер Celeron (4 шт.);
- Телевизор плазменный Pioneer с диагональю экрана 51;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

– Far Manager

### 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;

Согласована на портале № 36811

- 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.

## 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

1. В когерентной СПИ генераторы несущей в передатчике и приемнике должны обладать такой стабильностью, чтобы при отключении ФАПЧ фазы выдаваемых колебаний не расходились заметно в течение: 1) импульса; 2) сеанса связи; 3) нескольких сотен импульсов; 4) одного пери-ода несущей.

2. Некогерентной называется система передачи информации, в которой ожидаемые значения начальных фаз всех принимаемых импульсов: 1) известны; 2) неизвестны; 3) оцениваются в процессе приема;

3. Прием очередного импульса рассматривается как прием сигнала с известной начальной фазой в СПИ: 1) когерентной; 2) некогерентной; 3) частичнокогерентной; 4) всегда.

4. Прием очередного импульса рассматривается как прием сигнала со случайной начальной фазой, равномерно распределенной в интервале 0–2π, в СПИ: 1) когерентной; 2) некогерентной; 3) частичнокогерентной; 4) всегда.

5. Битовая вероятность ошибки на выходе демодулятора в двоичной когерентной СПИ при наличии аддитивного белого шума зависит лишь от: 1) величины разнесения несущих частот сигналов, соответствующих символам 0 и 1; 2) отношения амплитуд полезного сигнала и шума; 3) отношения энергии разностного сигнала к спектральной плотности мощности шума; 4) отношения энергий сигналов, соответствующих символам 0 и 1.

6. Помехоустойчивость при корреляционном приеме определяется: 1) величиной отношения средних мощностей сигнала и помехи на входе приемника в полосе сигнала; 2) мощностью сигнала на входе приемника; 3) мощностью шума на входе приемника; 4) отношением мощности шума на выходе приемника к мощности шума на входе.

7. Необходимое условие возможности линейного разделения канальных сигналов без взаимных помех в многоканальной СПИ: 1) сигналы должны быть аналоговыми; 2) сигналы должны быть линейно независимыми; 3) сигналы должны быть цифровыми; 4) сигналы должны быть случайными.

8. Синхронизация не требуется: 1) в многоканальных СПИ с временным разделением каналов; 2) в многоканальных СПИ с кодовым разделением каналов. 3) в многоканальных цифровых СПИ с частотным разделением каналов; 4) в многоканальных аналоговых СПИ с частотным разде-

Согласована на портале № 36811

лением каналов.

9. Ортогональность канальных сигналов необходима: 1) для уменьшения требуемой полосы частот; 2) для упрощения устройства разделения каналов; 3) для увеличения отношения сигнал/шум; 4) для увеличения скорости передачи информации.

10. При уплотнении каналов в системе с ВРК используют: 1) мультиплексор; 2) набор полосовых фильтров; 3) блок генераторов N гармонических колебаний и смесителей; 4) блок N генераторов ортогональных двоичных последовательностей.

11. При уплотнении каналов в системе с ЧРК используют: 1) мультиплексор; 2) набор полосовых фильтров; 3) блок генераторов N гармонических колебаний и смесителей; 4) блок N генераторов ортогональных двоичных последовательностей.

12. Отличительное свойство синхросигнала: 1) он периодически повторяется; 2) начальный и конечный символы совпадают; 3) не может появиться в информационной последовательности.

13. Причина появления мультипликативной помехи – это: 1) многолучевой механизм распространения волн на трассе; 2) непрямоугольность частотных характеристик канальных полосовых фильтров; 3) низкое отношение сигнал-шум; 4) излучение посторонних источников.

14. Ожидаемое сообщение считается случайным: 1) всегда; 2) лишь если имеются замирания; 3) лишь если имеются помехи; 4) только при передаче в канале без помех.

15. При передаче сигнала с понижением битовой скорости ширина его спектра: 1) увеличивается; 2) уменьшается; 3) не меняется; 4) не меняется, но сам спектр сдвигается в область более низких частот.

16. При передаче двоичной последовательности по радиолинии наибольшая полоса потребуется при использовании: 1) АМ; 2) ЧМ; 3) ФМ; 4) ОФМ.

17. При одинаковой средней мощности полезного сигнала наиболее часто при демодуля-ции ошибки возникают при использовании: 1) АМ; 2) ОФМ; 3) КАМ-64; 4) ЧМ.

18. Декодирование по минимуму расстояния применяется для: 1) обнаружения и (или) исправления ошибок в кодовой комбинации; 2) определения кодового расстояния применяемого кода; 3) определения расстояния между кодовыми комбинациями применяемого кода; 4) повышения отношения сигнал/шум.

19. Простейший код с проверкой на четность способен: 1) обнаруживать любые ошибки нечетной кратности; 2) исправлять любые ошибки нечетной кратности; 3) обнаруживать любые ошибки четной кратности; 4) исправлять любые ошибки четной кратности.

20. Кодовое расстояние кода численно равно: 1) расстоянию между двумя наиболее часто применяемыми кодовыми комбинациями; 2) количеству символов, в которых различаются две наиболее близкие друг к другу комбинации в кодовой таблице; 3) минимальному весу кодовой комбинации; 4) наиболее вероятному значению кратности возникающих ошибок.

21. В системах с переспросом код, применяемый в прямом канале, используется для: 1) исправления одиночных ошибок и обнаружения остальных; 2) исправления ошибок; 3) обнаружения ошибок; 4) передачи с минимальной избыточностью.

### 14.1.2. Экзаменационные вопросы

1. Информация. Канал связи. Линия связи.

2. Дискретные и цифровые сигналы, их статистическое описание.

3. Код, алфавит кода, основание кода. Дискретный сигнал, как кодовая комбинация.

4. Аддитивные и мультипликативные помехи. Нормальный белый шум.

5. Методы аналитического и геометрического представления сигналов и помех. Энергии сигналов и расстояние между ними, независимость и ортогональность сигналов.

6. Модель системы передачи информации.

7. Основная терминология в области цифровой связи.

8. Основные этапы преобразования сигнала в цифровых системах связи.

9. Дискретизация во времени непрерывного сигнала. Восстановление непрерывного сигнала из дискретного. Шум дискретизации.

10. Модуляция импульсной несущей непрерывным сигналом. АИМ, ШИМ, ВИМ, вид спектров.

11. АЦП и ЦАП. Основные характеристики, шум квантования, компандирование. Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ), основной цифровой сигнал.

Согласована на портале № 36811

12. Количество информации, единицы измерения, свойства. Собственная информация, энтропия, избыточность.

13. Энтропия последовательности символов. Условная энтропия, удельная энтропия, избыточность и причины ее появления.

14. Средняя взаимная информация. Скорость создания, скорость передачи и скорость потери информации. Техническая скорость передачи информации.

15. Информация в непрерывных сигналах. Дифференциальная энтропия непрерывно-го отсчета. Условная дифференциальная энтропия.

16. Пропускная способность дискретного канала связи, определение. Пропускная спо-собность двоичного симметричного канала. Пропускная способность непрерывного канала. Энергетическая и частотная эффективность.

17. Согласование канала с источником информации. Код, алфавит кода, основание кода. Классификация кодов. Кодирование источника. Теорема Шеннона для канала без помех. Эффективные коды, принципы эффективного кодирования.

18. Код Хаффмана, пример кодирования алфавита из 4-х символов с вероятностями (1/8, 1/8, 1/4, 1/2), избыточность и эффективность до и после кодирования.

19. Код Шеннона - Фано, пример кодирования алфавита из 4-х символов с вероятно-стями (1/8, 1/8, 1/4, 1/2), избыточность и эффективность до и после кодирования.

20. Сжатие информации. Алгоритм Лемпела –Зива.

21. Кодирование в канале с помехами. Прямая и обратная теоремы о кодировании. Основные принципы помехоустойчивого кодирования. Классификация кодов.

22. Линейные блочные коды. Геометрическое представление кода. Кодовое расстоя-ние, кратность обнаруживаемых и исправляемых ошибок.

23. Линейные блочные коды с однократной проверкой на четность. Синдромные и проверочные соотношения. Схема кодера и декодера

24. Линейные блочные коды с проверкой на четность. Производящая и проверочная матрицы. Приведение к каноническому виду. Определение кодового расстояния по матрицам G и H.

25. Код Хемминга. Свойства. Структура производящей и проверочной матриц. Си-стематический код Хэмминга (7,4). Кодер и декодер.

26. Неравенство Хэмминга. Его физический смысл и значение в теории кодирования.

27. Ортогональные и биортогональные коды. Матрица Адамара.

28. Циклические коды. Основные свойства. Полиномиальное представление, произ-водящий и проверочный полиномы. Требования к производящему полиному.

29. Циклические коды. Алгоритмы кодирования циклического кода, схема кодера си-стематического кода.

30. Алгоритм декодирования циклического кода, схема декодера циклического кода.

31. Циклические коды Хэмминга, коды БЧХ.

32. Сверточные коды. Основные свойства, производящие полиномы, пример кодера со скоростью кода 1/2.

33. Понятие о матричных, каскадных и турбокодах.

34. Использование канала переспроса. Виды обратной связи. Определение вероятно-стей ошибок при работе декодера в режиме обнаружения ошибок при независимых ошибках. Битовая вероятность ошибки.

35. Определение вероятностей ошибок при работе декодера в режиме исправления ошибок при независимых ошибках. Битовая вероятность ошибки.

36. Модуляция гармонической несущей цифровым сигналом. АМ, ЧМ, ФМ, относи-тельная или дифференциальная ФМ (ОФМ). Причина ее применения.

37. Модуляция гармонической несущей аналоговым сигналом. АМ, ЧМ, ФМ, однопо-лосная АМ (АМОБП). Вид спектров модулированных сигналов и полоса частот, требуемая для передачи.

38. Многопозиционные методы модуляции и причины их применения.

39. Межсимвольная интерференция и методы ее устранения. Модуляция ортогональ-ных несущих цифровым сигналом (ортогональные частотно-разделенные сигналы, OFDM).

40. Компромиссы при использовании модуляции и кодирования, цели разработчика систем

Согласована на портале № 36811

связи, характеристика вероятности появления ошибки, минимальная ширина полосы по Найквисту, теорема Шеннона-Хартли о пропускной способности канала.

41. Перемежение (интерливинг) символов, цели и методы применения. Варианты по-строения перемежителей.

42. Скремблирование. Цели применения. Построение скремблера на базе рекурсивного цифрового фильтра.

43. Множественный доступ с частотным разделением каналов. Достоинства и недо-статки, междуканальные искажения.

44. Множественный доступ с временным разделением каналов. Достоинства и недостатки, междуканальные искажения.

45. Множественный доступ с кодовым разделением каналов.

46. Расширение спектра. Прямое расширение (Метод прямой последовательности).

47. Расширение спектра. Методы программной скачкообразной перестройки частоты.

48. Ортогональное частотное уплотнение каналов (OFDMA)

49. Демодуляция цифровых сигналов. Корреляционный приемник и согласованный фильтр.

50. Демодуляция цифровых сигналов. Когерентность (синфазность). Когерентные, квазикогерентные и некогерентные системы. Синхронизация.

51. Прием сигналов в условиях многолучевости. Методы борьбы с многолучевостью.

52. Радиорелейные линии. Ретрансляция и регенерация сигналов.

### 14.1.3. Темы докладов

Технология MIMO и работа при наличии мультипликативных помех.

Почему удобно использовать разные методы аналитического и геометрического представления сигналов и помех.

Причины широкого использования псевдослучайных последовательностей.

Основные методы сжатия с потерей информации.

Поэлементный прием цифровых сигналов и прием "в целом".

### 14.1.4. Темы индивидуальных заданий

1) Математическое описание сигналов и помех. 2) Кодирование источника. 3) Кодирование канала. 4) Ошибки при демодуляции. Регенерация цифрового сигнала.

Типовой пример расчетной работы

Расчетная работа 4, дата сдачи :xxx Каждую из работ представить в виде отдельной брошюры. Все расчеты сопровождать подробными пояснениями вплоть до подстановки численных значений. После завершения всех вычислений по каждой из задач результаты округляются до двух знаков после десятичной точки и приводятся в виде таблицы в том же порядке, как они даны в задании. Последнее (дополнительное) значение в таблице ответов – это сумма S всех приведенных в ней значений (контрольная сумма). 1) Номер варианта работы равен номеру N студента в списке группы. 2) Файл в формате Word 2007 с именем “Фамилия-Группа-Номер работы” направлять по адресу: xxx@mail.ru. Использовать подтверждение об открытии сообщения. Возможно представление твердой копии. 3) Оформление в соответствии со стандартом ТУСУР. Обязательны ссылки на источники, в т. ч. студенческие. 4) Баллы по работам, представленным позже 24 час указанной даты, начисляются в половинном размере. 5) Работы, содержащие признаки копирования, даже с подстановкой собственных данных, рассматриваться не будут.

Задача 1 – Битовая вероятность ошибки при передаче цифрового сигнала

Источник информации создает цифровой поток B мегабит в секунду. На вход радиолинии с выхода передатчика подается последовательность двоичных радиоимпульсов, модулированных по закону M (M=1 для АМ, M=2 для ЧМ с ортогональными сигналами, M=3 для ФМ). Задана требуемая вероятность битовой ошибки Рош на выходе опти-мального когерентного демодулятора Рош и величина ослабления в линии F. На входе приемника присутствует аддитивный белый гауссовский шум со спектральной плотно-стью No. Определить требуемую среднюю мощность W передаваемых сигналов обоих видов (0 и 1) без использования корректирующего кода (W1), при использовании (n,k)-кода Хэмминга в режиме исправления ошибки (W2) и в режиме обнаружения ошибки (W3). Определить в каждом из режимов вероятность битовой ошибки на выходе линии связи (де-

Согласована на портале № 36811

кодера) (РБ1, РБ2, РБ3). При расчетах считать, что вероятность ошибки в канале переспроса (режим обнаружения ошибки) пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью появления искаженной комбинации на выходе декодера. Примечания: 1) 1пВт=10-12 Вт. 2) При вычислении отношения сигнал/шум необходимо учитывать, что длительность передаваемых импульсов должна уменьшаться при увеличении избыточности, чтобы обеспечить заданную скорость передачи В информационных символов.

Задача 2 1) Регенерация цифрового сигнала при передаче на большие расстояния

На кабельной линии, содержащей n регенерационных участков, регенерация двоичных импульсов в полном смысле этого слова проводится лишь в обслуживаемых регенерационных пунктах (ОРП), размещенных на каждом m-м участке. На остальных участках размещены необслуживаемые регенерационные пункты (НРП), в которых входной сигнал лишь усиливается. Определить вероятность ошибки при демодуляции сигнала на выходе некогерентной линии Рош, если при n=1 эта величина известна [1]. Найти отношение сигнал/шум q1, которое потребовалось бы для обеспечения той же вероятности ошибки Рош на выходе линии для двух случаев: 1) все регенераторы – это НРП (qНРП, дБ); 2) все регенераторы – это ОРП (qОРП, дБ).

### 14.1.5. Вопросы на собеседование

1. В чем смысл разнесённого приёма сигналов и какие виды разнесения вы знаете?
2. Что изменится, если при определении всех информационных понятий изменить основание логарифма? Повлияет ли это на основные результаты, которые даёт теория информации?
3. Каково назначение кодирования в канале без помех?
4. Чем хорош или плох источник информации, обладающий большой энтропией?
5. Можно ли при помощи взаимной информации измерять степень зависимости случайных величин и ? Если это так, то чем это лучше оценки степени зависимости при помощи коэффициента корреляции?

### 14.1.6. Темы опросов на занятиях

Цифровые сигналы. Дискретные сигналы. Последовательность гауссовских случайных величин. Непрерывные сигналы. Основные параметры: длительность, ширина спектра и динамический диапазон. Стационарный гауссовский случайный процесс. Белый шум. Узкополосный процесс. Аддитивные и мультипликативные помехи. Канал многолучевого распространения волн как фильтр со случайно изме-няющимися параметрами. Методы аналитического и геометрического представления сигналов и помех.

Линейная цифровая фильтрация и генерирование последовательностей символов. Модуляция гармонической несущей цифровым сигналом. Базовые методы модуляции. Многопозиционные методы модуляции. Векторное представление сигналов. Спектры модулированных сигналов, межсимвольная интерференция. Последовательный и параллельный способы передачи.

Собственная информация, энтропия. Избыточность и ее роль. Кодирование источника (эффективное кодирование). Цель сжатия данных и типы систем сжатия. Статистическое кодирование. Коды Шеннона-Фано, Хаффмана, блоковое кодирование. Словарные методы кодирования. Метод Лемпела–Зива. Методы сжатия с потерей информации. Цифровые каналы с помехами. Взаимная информация. Скорость создания и скорость передачи информации. Пропускная способность канала связи. Пропускная способность двоичного симметричного канала. Теоремы Шеннона о кодировании в дискретном канале с помехами. Информация в непрерывных сигналах. Пропускная способность непрерывного канала с аддитивным белым гауссовским шумом, формула Шеннона.

Априорная информация о сигналах и помехах. Когерентные и некогерентные системы передачи информации. Постановка задачи об оптимальном демодуляторе (приемнике) цифровых сигналов. Критерии качества. Критерий максимума средней вероятности правильного приема. Решающая схема, построенная по правилу максимума апостериорной вероятности. Отношение правдоподобия. Оптимальный прием в канале с постоянными параметрами при наличии аддитивного белого шума. Вероятность ошибки при приеме многопозиционных сигналов. Прием сигнала в условиях многолучевости. Разнесенный прием. Способы разнесения. Регенерация цифрового сигнала в ретрансляторах. Поэлементный прием цифровых сигналов и прием "в целом".

Способность кода обнаруживать и исправлять ошибки, кодовое расстояние. Линейные блочные коды. Код Хемминга. Циклические коды. Порождающий полином. Способы кодирования и де-

Согласована на портале № 36811

кодирования циклических кодов. Декодирование в системах с каналом переспроса. Помехоустойчивость систем с обратной связью (ОС). Кодирование в каналах с мультипликативной помехой, перемежение символов. Особенности систем передачи информации, в которых применяется помехоустойчивое кодирование.

### 14.1.7. Темы домашних заданий

1) Дискретизация непрерывных сигналов, АЦП и ЦАП.

2) Линейные блочные коды, коды Хэмминга.

3) Циклические коды, коды БЧХ .

4) Скорость передачи информации. Пропускная способность канала.

5) Избыточность и кодирование в каналах без помех.

6) Демодуляция цифровых сигналов.

7) Многостанционный доступ.

Типовые задачи.

1. Студент может получить зачет с вероятностью 0,3, не проработав весь материал, и с вероятностью 0,9, проработав весь материал курса. Какое количество информации о подготовленности студента к зачету можно получить по данным о результатах сдачи зачета? В среднем 90% студентов готовы к сдаче зачета.

2. Погрешность фазометра распределена нормально со с.к.о. 3°. Найти количество информации, получаемой при измерении значения начальной фазы радиосигнала, если она может с одинаковой вероятностью принять любое значение.

3. Вычислить пропускную способность стандартного телефонного канала с полосой (0,3 – 3,4) кГц, если шум в канале белый гауссов, а для обеспечения требуемого качества приёма необходимо иметь дБ. Как изменится это отношение при той же производительности источника, если сузить полосу канала до 0,8 кГц?

4. Сообщение на выходе источника без памяти состоит из букв, принимающих значение A и B с вероятностями 0,7 и 0,3. Произвести кодирование по методу Шеннона-Фано от-дельных букв, двух- и трехбуквенных блоков. Сравнить коды по их эффективности.

5. Составить кодовую таблицу, определить кодовое рас¬стояние и вычислить минимальное значение избыточности 3-разрядного двоичного кода, удовлетворяющего требованиям: а) код содержит максимальное количество кодовых слов; б) код обнаруживает все однократные ошибки; в) код исправляет все однократные ошибки. Построить геометрические модели полученных кодов.

### 14.1.8. Темы контрольных работ

1) Математическое описание сигналов и помех. 2) Кодирование источника. 3) Кодирование канала. 4) Ошибки при демодуляции. Регенерация цифрового сигнала

### 14.1.9. Вопросы на самоподготовку

1) В чем разница понятий «информация» и «сигнал»?

2) Приведите примеры радиоэлектронных устройств, предназначенных не для передачи информации.

3) Назовите два основных признака того, что сигнал не несет информации.

4) Почему для математического описания сигналов используют вероятностные модели?

5) Может ли детерминированный сигнал переносить информацию?

6) Какие случайные события (величины) называются независимыми?

7) Что нужно задать для полного вероятностного описания: символа? последовательности символов?

8) Сформулируйте, в чем состоит отличие цифрового сигнала от дискретного, от непрерывного.

9) Что нужно задать для полного вероятностного описания: последовательности отсчетов сигнала; непрерывной случайной функции?

10) В чем отличие аддитивной помехи от мультипликативной? Приведите примеры каналов связи с такими помехами.

11) Какие преимущества дает представление сигналов как элементов векторного пространства?

12) В чем отличие Евклидова пространства от пространства Хемминга?

Согласована на портале № 36811

13) Будут ли линейно независимые сигналы ортогональными?

14) Опишите этапы аналого-цифрового преобразования непрерывного сигнала.

15) Опишите этапы цифро-аналогового преобразования.

16) Изобразите обобщенную модель системы передачи информации. Опишите функции кодера и декодера.

17) Приведите несколько примеров преобразователей сообщения в первичный сигнал.

18) Зачем нужна модуляция? Назовите виды аналоговой модуляции гармонической несущей.

19) Назовите способы манипуляции гармонической несущей. Чем обусловлен выбор того или иного способа?

20) Каковы недостатки многопозиционных методов манипуляции гармонической несущей?

21) Из каких соображений выбирается шаг квантования непрерывного сигнала по напряжению?

22) Из каких соображений выбирается шаг квантования непрерывного сигнала по времени?

23) Дайте определения терминов: сообщение, сигнал, помеха, канал связи, линия связи, многоканальная связь, многостанционный доступ, техническая скорость передачи.

24) Почему шаг квантования непрерывного сигнала по времени выбирается меньше того значения, которое следует из теоремы отсчетов?

25) Укажите стандартную частоту квантования во времени (отсчетов/с) телефонного сигнала.

26) Укажите количество разрядов в стандартном АЦП, применяемом при преобразовании телефонного сигнала.

27) Что удобнее применять на практике — коррелятор или согласованный фильтр?

28) Чем определяется корректирующая способность кода? Поясните на примере.

29) Какие коды называются корректирующими?

30) Что значит «обнаружить ошибки» при декодировании кодовой комбинации?

31) Что значит «исправить ошибки» при декодировании кодовой комбинации?

32) Каков характерный признак, позволяющий отличить кодовую таблицу линейного блочного кода от кодовых таблиц других кодов?

33) Что такое проверочная матрица линейного блочного кода? Как она используется при обнаружении ошибок в принятой комбинации?

34) Каков характерный признак, позволяющий отличить кодовую таблицу циклического кода от кодовых таблиц других кодов?

35) Чему равно количество комбинаций в кодовой таблице линейного блочного кода?

36) Почему в проверочной матрице не может быть нулевых столбцов, строк?

37) Какой смысл имеют строки проверочной матрицы?

38) По каким признакам можно определить, что проверочная матрица принадлежит коду, способному исправить любую одиночную ошибку?

39) Чем обусловлена популярность циклических кодов? Из каких логических элементов состоят кодер и декодер?

40) В чем заключается фундаментальное свойство комбинаций циклического кода?

41) Может ли помехоустойчивый код быть безызбыточным?

42) Почему декодирование по минимуму расстояния применяется редко?

43) Являются ли сверточные коды блочными, и чем обусловлена их популярность?

44) Какова цель перемежения символов?

45) Какие способы комбинирования кодов используют в системах связи?

46) Что такое собственная информация и энтропия дискретной случайной величины?

47) При каких условиях максимальна энтропия совокупности двух символов и чему она равна?

48) Что такое избыточность дискретного источника?

49) Может ли равномерный код быть оптимальным (безызбыточным)?

50) Дайте определение взаимной информации переданного и принятого символов. Как влияет на ее величину интенсивность помех в канале связи?

Согласована на портале № 36811

### 14.1.10. Вопросы дифференцированного зачета

1) Что такое избыточность сигнала? В каких случаях она полезна, а когда нет?

2) Когда полезно применять кодирование с малой избыточностью?

3) Какой смысл вкладывают в понятия: «кодирование источника», «канальное кодирование»?

4) Каково значение минимально-возможной средней длины кодовой комбинации?

5) Всегда ли удается закодировать сигнал так, чтобы избыточность на выходе кодера была нулевой?

6) Когда полезно кодировать блоки букв, а не отдельные буквы?

7) Какой способ разделения кодовых комбинаций применяется в кодах, обладающих малой избыточностью?

8) В чем заключается главный недостаток кодов Хаффмана и Шеннона—Фано?

9) Откуда берется кодовая таблица, используемая при кодировании кодом Лемпела—Зива?

10) От чего зависит пропускная способность непрерывного канала связи с аддитивным белым шумом?

11) Дайте определения когерентной и некогерентной системы передачи информации (СПИ).

12) Сформулируйте задачу, решаемую демодулятором сигнала в цифровой СПИ.

13) Опишите преобразования принимаемых импульсов при демодуляции двоичного сигнала, не искаженного в канале передачи.

14) Приведите схему оптимального демодулятора двоичных сигналов в когерентной СПИ.

15) Приведите схему оптимального демодулятора двоичных сигналов в частично-когерентной СПИ при использовании ОФМ.

16) Запишите формулу для определения полной вероятности ошибки на выходе оптимального демодулятора двоичных сигналов в когерентной СПИ.

17) Запишите формулу для определения полной вероятности ошибки на выходе оптимального демодулятора двоичных сигналов в частично-когерентной СПИ при использовании ОФМ.

18) Почему в цифровых СПИ не применяются методы ОФМ с кратностью большей трех?

19) В которой из радиолиний — «Земля — ИСЗ» или «ИСЗ — Земля» — можно обеспечить более высокое качество передачи и почему?

20) Покажите, что при большом отношении сигнал/шум некогерентная СПИ мало уступает когерентной СПИ.

21) Укажите физические явления, приводящие к тому, что передаточные характеристики канала связи становятся случайными.

22) Дайте определение многолучевой линии.

23) При каких условиях становятся существенными искажения сигнала, обусловленные частотно-селективными замираниями?

24) Какой метод является основным для повышения устойчивости связи в каналах с замираниями?

25) Опишите методы комбинирования разнесенных сигналов.

26) Почему применение автоматической регулировки усиления при одиночном приеме сигнала в канале с замираниями не уменьшает вероятности ошибки при его демодуляции?

27) Всегда ли целесообразно применять помехоустойчивое кодирование для уменьшения итоговой битовой вероятности ошибки?

28) При каких условиях можно использовать мягкую процедуру вынесения решения в процессе приема цифровых сигналов?

29) Какой обработке подвергается цифровой сигнал в регенераторе?

30) Перечислите преимущества цифровых СПИ перед аналоговыми.

31) Какова суть порогового эффекта, характерного для цифровых СПИ и проявляющегося при изменении уровня полезного сигнала по отношению к уровню помех.

### 14.1.11. Темы расчетных работ

Типовой пример расчетной работы:

Расчетная работа 4, дата сдачи :xxx

Каждую из работ представить в виде отдельной брошюры. Все расчеты сопровождать по-

Согласована на портале № 36811

дробными пояснениями вплоть до подстановки численных значений. После завершения всех вычислений по каждой из задач результаты округляются до двух знаков после десятичной точки и приводятся в виде таблицы в том же порядке, как они даны в задании. Последнее (дополнительное) значение в таблице ответов – это сумма S всех приведенных в ней значений (контрольная сумма). 1) Номер варианта работы равен номеру N студента в списке группы. 2) Файл в формате Word 2003 с именем “Фамилия-Группа-Номер работы” направлять по адресу: xxx@mail.ru. Использовать подтверждение об открытии сообщения. Возможно представление твердой копии. 3) Оформление в соответствии со стандартом ТУСУР. Обязательны ссылки на источники, в т. ч. студенческие. 4) Баллы по работам, представленным позже 24 час указанной даты, начисляются в половинном размере. 5) Работы, содержащие признаки копирования, даже с подстановкой собственных данных, рассматриваться не будут.

Задача 1 – Битовая вероятность ошибки при передаче цифрового сигнала

Источник информации создает цифровой поток B мегабит в секунду. На вход ра-диолинии с выхода передатчика подается последовательность двоичных радиоимпульсов, модулированных по закону M (M=1 для АМ, M=2 для ЧМ с ортогональными сигналами, M=3 для ФМ). Задана требуемая вероятность битовой ошибки Рош на выходе опти-мального когерентного демодулятора Рош и величина ослабления в линии F. На входе приемника присутствует аддитивный белый гауссовский шум со спектральной плотно-стью No. Определить требуемую среднюю мощность W передаваемых сигналов обоих видов (0 и 1) без использования корректирующего кода (W1), при использовании (n,k)-кода Хэмминга в режиме исправления ошибки (W2) и в режиме обнаружения ошибки (W3). Определить в каждом из режимов вероятность битовой ошибки на выходе линии связи (декодера) (РБ1, РБ2, РБ3). При расчетах считать, что вероятность ошибки в канале переспроса (режим обнаружения ошибки) пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью появления искаженной комбинации на выходе декодера. Примечания: 1) 1пВт=10-12 Вт. 2) При вычислении отношения сигнал/шум необходимо учитывать, что длительность передаваемых импульсов должна уменьшаться при увеличении избыточности, чтобы обеспечить заданную скорость передачи B информационных символов.

Задача 2 – Регенерация цифрового сигнала при передаче на большие расстояния

На кабельной линии, содержащей n регенерационных участков, регенерация двоичных импульсов в полном смысле этого слова проводится лишь в обслуживаемых регенерационных пунктах (ОРП), размещенных на каждом m-м участке. На остальных участках размещены необслуживаемые регенерационные пункты (НРП), в которых входной сигнал лишь усиливается. Определить вероятность ошибки при демодуляции сигнала на выходе некогерентной линии Рош, если при n=1 эта величина известна [1]. Найти отношение сигнал/шум q1, которое потребовалось бы для обеспечения той же вероятности ошибки Рош на выходе линии для двух случаев: 1) все регенераторы – это НРП (qНРП, дБ); 2) все регенераторы – это ОРП (qОРП, дБ).

### 14.1.12. Темы лабораторных работ

Исследование сверточного кодирования и порогового декодирования. Исследование помехоустойчивости кода с проверкой на четность и циклического кода. Биортогональные коды.

Исследование системы связи с временным разделением каналов с время-импульсной модуляцией.

### 14.1.13. Темы курсовых проектов / курсовых работ

Многоканальная цифровая СПИ предназначена для передачи цифровых сигналов от M однотипных источников информации по одному или нескольким арендуемым стандартным аналоговым каналам и характеризуется следующими параметрами:

1) число каналов M;
2) длина двоичной кодовой комбинации (слова) на входе канала Kc, бит;
3) средняя скорость на входе канала Vc, слов/с;
4) тип корректирующего кода;
5) тип манипуляции;
6) способ уплотнения каналов;
7) битовая вероятность ошибки на выходе демодулятора в прямом канале Рб;

Согласована на портале № 36811

8) спектральная плотность мощности аддитивного белого шума на входах приемников прямого и обратного каналов

No, Вт/Гц;

9) затухание в прямом и обратном каналах, Gдб.

Вопросы, подлежащие разработке:

1) разработка укрупненной структурной схемы системы в целом для передачи в одном направлении;

2) выбор способов введения и численных значений параметров синхросигналов;

3) выбор способа мультиплексирования - биты, байты, слова (при временном уплотнении каналов)

4) расчет значений всех временных интервалов, определяющих структуру цифровых канальных и (при временном уплотнении каналов) группового сигналов с учетом влияния повторной передачи кодовых комбинаций при обнаружении ошибок;

5) выбор численных значений параметров корректирующего кода, обнаруживающего ошибки, при которых обеспечивается минимальная требуемая мощность передатчика при заданной битовой вероятности ошибки на выходе демодулятора;

6) определение типа и параметров модуляции, битовой вероятности ошибки и мощности передатчика в канале переспроса.

7) вычисление битовой вероятности ошибки на выходе демодулятора, вычисление вероятности ошибки при приеме кодового слова и битовой вероятности ошибки на выходе декодера в режиме исправления ошибки при выбранной мощности передатчика и используемых параметрах корректирующего кода;

8) расчет битовой вероятности ошибки на выходе демодулятора в системе, не использующей помехоустойчивое кодирование, при выбранной мощности передатчика;

9) разработка детальной функциональной схемы кодера и декодера, обнаруживающего ошибки, для выбранного корректирующего кода, либо моделирование в среде Matlab (по выбору студента);

10) расчет полосы частот, необходимой для передачи группового сигнала и сигнала переспроса на выходе системы;

11) разработка функциональной схемы модулятора и демодулятора в первой ступени уплотнения;

12) выбор численных значений параметров модуляции в первой и, в случае необходимости, последующих ступенях

уплотнения;

13) разработка функциональной схемы устройства тактовой синхронизации, приемников кадрового и, при необходимости, циклового синхросигналов;

14) вычисление вероятностей ошибок ложного фазирования и сбоя синхронизации и определение емкостей накопителей по входу в синхронизм и выходу из синхронизма.

15) оценка частоты появления ошибок и заключение о ее соответствии назначению системы;

16) разработка способа сопряжения системы с аналоговой аппаратурой частотного уплотнения телефонных каналов для передачи групповых сигналов по одному или нескольким арендуемым стандартным трактам;

17) разработка структурной схемы системы в целом для передачи в одном направлении.

### 14.1.14. Методические рекомендации

Основная рекомендация сводится к обеспечению равномерной активной работы студентов над курсом в течение учебного семестра.

При изучении курса следует стараться понять то общее, что объединяет рассматривае-мые вопросы. Например, для методов передачи сигналов ключевым является понятие избы-точности и ее роль при передаче информации. Для методов приема общей является идея уменьшения апостериорной неопределенности относительно передаваемого сигнала по сравнению с априорной неопределенностью.

Лекционные занятия рекомендуется проводить с применением демонстрационного материа-

Согласована на портале № 36811

ла, например, с демонстрацией презентаций.

Практические занятия и лабораторные работы также желательно проводить с использованием имеющихся на кафедре демонстрационных материалов. Используя имеющиеся оригинальные программы, ряд задач можно выполнять дома.

### 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:

- 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:**

Согласована на портале № 36811

- 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 № 36811