

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра радиотехнических систем.

**Многоканальная цифровая система передачи информации.**

Учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта расчетного задания, самостоятельной работы по дисциплине «Теория электрической связи», «Общая теория связи», «Системы радиосвязи». Пособие содержит 50 вариантов задания по проектированию многоканальной цифровой системы передачи информации. Приведены краткие теоретические сведения и даны основные расчетные формулы, необходимые для выполнения задания. Может быть использовано для подготовки бакалавров, магистров и специалистов.

Уровень основной образовательной программы - академический бакалавриат. Направление подготовки 11.03.02 – Информационные технологии и системы связи.

Уровень основной образовательной программы - академический бакалавриат. Направление подготовки – 11.03.02 – Информационные технологии и системы связи.

Уровень основной образовательной программы – специалитет. Направление подготовки – 11.05.01 – Радиоэлектронные системы и комплексы. Форма обучения – очная.

Профессор каф, РТС, д.т.н.

\_\_\_\_\_ Ю.П.Акулиничев.

Доцент каф. РТС, к.т.н

\_\_\_\_\_ А.С. Бернгардт.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2016г.

**2016**

Рекомендовано к изданию кафедрой радиотехнических систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники

Материал пособия соответствует программе следующих дисциплин:

**«Общая теория связи».**

Уровень основной образовательной программы - академический бакалавриат.

Направление подготовки (специальность) – 11.03.02 – Информационные технологии и системы связи

Профили: системы радиосвязи и радиодоступа, системы мобильной связи, оптические системы и сети связи, цифровое телерадиовещание, мобильные системы связи.

Форма обучения – очная.

**«Теория электрической связи».**

Уровень основной образовательной программы - академический бакалавриат.

Направление подготовки (специальность) – 11.03.02 – Информационные технологии и системы связи.

Профиль: Информационная безопасность телекоммуникационных систем. Форма обучения – очная

**«Системы радиосвязи»**

Уровень основной образовательной программы – специалитет.

Направление подготовки (специальность) – 11.05.01 – Радиоэлектронные системы и комплексы. Форма обучения – очная.

**«Теория радиосвязи»**

Уровень основной образовательной программы: - магистратура

Направление подготовки: 11.04.01 — "Радиотехника"

Магистерская программа подготовки: "Радиоэлектронные устройства передачи информации"

Форма обучения: очная

**«Основы теории радиосистем передачи информации»**

Уровень основной образовательной программы – специалитет.

Направление подготовки (специальность) – 11.05.01 – Радиоэлектронные системы и комплексы. Форма обучения – очная.

**«Радиотехнические системы передачи информации»**

Уровень основной образовательной программы – магистратура.

Направление подготовки (специальность) – 11.04.01 – Радиотехника.

Форма обучения – очная.

**Радиотехнические системы передачи информации**

Уровень основной образовательной программы: магистратура

Направление подготовки: 11.04.01 — "Радиотехника"

Магистерская программа подготовки: "Радиоэлектронные устройства передачи информации"

Форма обучения: очная

© Ю.П. Акулиничев

А.С. Бернгардт.

© Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники,  
2016.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>1 ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....</b>	<b>7</b>
1.1 Техническое задание .....	7
1.2 Организация работы над проектом .....	7
1.3 Критерии оценки курсовых проектов .....	7
<b>2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....</b>	<b>8</b>
2.1. Общие требования .....	8
2.2. Содержание пояснительной записки .....	10
<b>3 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....</b>	<b>12</b>
3.1 Требования к оформлению чертежей .....	14
3.2 Требования к оформлению пояснительной записки .....	15
<b>4 СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЙ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ .....</b>	<b>19</b>
4.1 Задаваемые параметры и характеристики .....	19
4.2 Вопросы, подлежащие разработке .....	20
<b>5 РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА .....</b>	<b>21</b>
<b>6 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....</b>	<b>24</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>31</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>33</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Данный курсовой проект имеет принципиальное отличие от тех заданий и проектов, которые студентам приходилось выполнять ранее. Объектом проектирования является не отдельный прибор или устройство, а достаточно крупная радиотехническая система. Это вносит ряд особенностей как в сам проект, так и в методы проектирования.

Во-первых, исходя из бюджета времени, реально удастся провести лишь часть эскизного проектирования, то есть определить состав функциональных блоков СПИ, решаемые ими задачи и способ взаимодействия в соответствии с заданными принципами работы системы в целом и представить это в виде функциональной схемы СПИ.

Во-вторых, для каждого из элементов функциональной схемы удастся определить численные значения лишь тех параметров, которые нужны для того, чтобы начать детальное проектирование этого элемента на уровне разработки принципиальных схем.

В-третьих, необходимо определить численные значения ряда показателей, характеризующих СПИ в целом, таких как производительность, помехоустойчивость, требуемые ресурсы.

Поскольку улучшение одних характеристик любой системы или ее элементов, как правило, происходит за счет ухудшения других характеристик, проектирование СПИ – это цепь компромиссов, каждый из которых требует формулировки его сути и соответствующего обоснования.

Изменение характеристик одного элемента системы приводит к необходимости изменить характеристики многих других связанных с ним элементов, далеко не всегда удается сразу охватить все множество связей между отдельными функциональными преобразованиями сигналов. Кроме того, в процессе расчета обычно возникает ряд вопросов, на которые трудно найти готовый ответ. Например, некоторые параметры системы нужно рассчитывать, а для других параметров можно задать те же значения, которые приняты в существующих аналогичных СПИ. Трудно бывает обоснованно определить необходимый уровень подробности описания процессов, точности расчета и

т.д.

Поэтому вполне вероятно, что первый вариант проекта окажется неудачным, принятые решения не были рациональными в технико-экономическом отношении, не учтены какие-то существенные факторы. Расчеты по теме проекта не являются сложными, и основные затраты времени придутся на осмысление того, в каком направлении нужно двигаться по пути улучшения характеристик системы.

Целью курсового проектирования является овладение методикой преодоления указанных трудностей, предусматривающее расширение и закрепление теоретических знаний, полученных при изучении курса “Теория электрической связи” и смежных с ним курсов, более глубокое изучение одной из разновидностей СПИ, овладение навыками в проектировании радиосистем.

Разделы 1-3 написаны совместно с В.П. Денисовым.

# 1 ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

## 1.1 Техническое задание

Курсовой проект выполняется в соответствии с техническим заданием. Техническое задание определяет:

- а) назначение проектируемой СПИ;
- б) основные тактико-технические требования, предъявляемые к проектируемой СПИ;
- в) технические ограничения, в рамках которых должна проектироваться СПИ.

## 1.2 Организация работы над проектом

Срок выполнения курсового проекта указан в бланке технического задания. Общий объем самостоятельной работы над заданием рассчитан на 20-30 часов (из расчета 1-2 часа в неделю).

Выполнение курсового проекта рекомендуется начинать с составления календарного плана и подбора литературы.

Ориентировочная трудоемкость отдельных этапов работы приведена в таблице.

Таблица

Относительная трудоемкость этапов работы над курсовым проектом

№	Наименование этапов	Объем (%)
1	Знакомство с литературой	10
2	Расчет электрических параметров и тактико-технических характеристик	40
3	Составление функциональной схемы	30
4	Выполнение чертежей и пояснительной записки к ним	20

В рабочей тетради выполняются все варианты расчетов, записываются справочные данные, сведения из литературных источников. В тетради выделяются страницы для списка литературы.

Использованную в расчетах статью или книгу нужно сразу же вносить в список литературы, не откладывая до оформления пояснительной записки, когда этой книги может не оказаться под рукой.

Расчеты в черновике должны вестись аккуратно. Каждый, даже небольшой, раздел расчетов следует снабжать заголовком, формулирующим цель расчета. Под заголовком необходимо приводить исходные данные для расчета, в конце раздела – основные итоги.

Плановым сроком сдачи проекта на проверку руководителю считается срок окончания по календарному плану.

Преподавателю для проверки готовой работы требуется 3-5 дней, т.к. эта проверка, как правило, приходится на пик учебной нагрузки.

Требование “Доработать” предусматривает сдачу работы после доработки на повторную проверку. При доработке нельзя убирать листы с замечаниями. Все исправления должны производиться либо на оборотных сторонах листов пояснительной записки, либо на отдельных листах, подшитых в конце записки.

### **1.3 Критерии оценки курсовых проектов**

При оценке качества выполнения учитываются:

- а) наличие технико-экономических обоснований выбранного решения в виде сравнительных характеристик с другими (имеющимися или возможными) вариантами;
- б) соответствие параметров разработанной СПИ требованиям технического задания;
- в) качество выполнения расчетной части;
- г) качество оформления (соответствие ГОСТам, ЕСКД);
- д) использование ЭВМ при выполнении расчетов.

## **2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

### **2.1. Общие требования**

Курсовой проект должен содержать:

- а) чертежи;



б) расчетно-пояснительную записку к ним.

Перечень необходимых чертежей указывается руководителем в техническом задании. Он обязательно должен включать в себя электрическую функциональную схему разработанной СПИ (Э2 по ГОСТ 2.701-84). Другие чертежи (принципиальные электрические схемы отдельных устройств или узлов) включаются в задание по усмотрению руководителя.

Чертеж электрической функциональной схемы должен давать ясное представление о разрабатываемой системе в целом, о принципе ее работы, назначении блоков и устройств и функциональных связях между ними. Функциональная схема должна быть настолько подробной, чтобы были ясны физические принципы и техническая возможность ее осуществления на современном уровне развития радиоэлектроники.

Пояснительная записка (ПЗ) должна содержать в указанной ниже последовательности:

- 1) титульный лист;
- 2) реферат;
- 3) задание на проектирование;
- 4) содержание;
- 5) введение;
- 6) анализ технического задания и выбор метода выполнения его требований;
- 7) расчет технических параметров проектируемой СПИ;
- 8) составление электрической функциональной схемы и расчет технических требований к ее элементам;
- 9) разработка аппаратной или программной реализации кодера и декодера;
- 10) заключение;
- 11) список использованной литературы.

## 2.2. Содержание пояснительной записки

**Реферат** - краткая характеристика проекта с точки зрения его содержания и особенностей. Реферат помещают на отдельной странице. Заголовком служит слово «Реферат», расположенное симметрично тексту. Заголовок выполняется прописными буквами.

Реферат выполняется по ОС ТАСУР 6.1-97 и должен содержать:

- сведения о количестве листов ПЗ, количестве чертежей, иллюстраций, таблиц, использованных источников, приложений;

- перечень ключевых слов;
- текст реферата.

Перечень ключевых слов должен состоять из 5-10 слов или словосочетаний из ПЗ, которые в наибольшей мере характеризуют ее содержание. Ключевые слова пишутся в именительном падеже прописными буквами.

Текст реферата должен содержать:

- цель работы;
- полученные результаты и их новизну;
- основные особенности спроектированной системы;
- область применения проекта;
- прогнозные предложения о развитии объекта исследования.

Изложение материала в реферате должно быть кратким и четким. Фамилии, названия учреждений, организаций, фирм и другие иностранные собственные имена в тексте приводят на языке оригинала. Допускается приводить собственные имена в русской транскрипции с добавлением в скобках оригинального названия (при первом упоминании).

**Задание на проектирование** – составляется руководителем и утверждается заведующим кафедрой.

**Анализ технического задания и выбор метода выполнения его требований.**

Если принцип построения СПИ не следует из задания, его следует определить, исходя из назначения СПИ и предъявляемых к ней тактико-технических требований, оговоренных заданием. При наличии нескольких вариантов выбирается наилучший.

Если метод или принцип определен заданием, необходимо указать его место среди других возможных.

Для дальнейшей работы над заданием рекомендуется составить укрупненную электрическую структурную схему проектируемой СПИ (Э1 по ГОСТ 2.701-84), дающую ее информацион-

ную структуру с отображением основных функциональных блоков (приемник, передатчик, индикатор и т.д.) и взаимосвязей между ними. Использование этой схемы позволит определить содержание и объем последующей работы.

### **Расчет технических параметров проектируемой СПИ.**

На основании требований технического задания и в соответствии с заданным (или выбранным) принципом действия рассчитываются основные технические характеристики СПИ. К ним, в частности, относятся: длительность кодового слова, кадра, ширина спектра группового сигнала, параметры модуляции в первой и последующих ступенях уплотнения, вероятность правильного декодирования кодового слова.

Другие параметры СПИ, подлежащие расчету, оговариваются в техническом задании или определяются студентом, исходя из назначения и принципа действия системы.

Если нестабильность рассчитываемых параметров существенно влияет на качественные показатели проектируемых СПИ, следует оценить ее допустимые значения.

Выбранные на основании расчета технические характеристики СПИ должны обеспечивать выполнение тактических требований, предусмотренных заданием на проектирование. Если в результате расчетов становится очевидным, что выполнение совокупности заданных тактических требований невозможно на современном уровне развития техники, это должно быть убедительно показано студентом в пояснительной записке. В этом случае студент должен предложить и согласовать с руководителем вариант выполняемых требований, исходя из назначения системы и технических возможностей.

### **Составление электрической функциональной схемы, описание ее работы, расчет основных технических требований к ее элементам.**

В данном разделе обосновывается предлагаемый исполнителем вариант функциональной схемы, показывается его работоспособность и возможность технического выполнения.

В разделе должно быть дано описание работы всей системы, приведены временные графики работы основных элементов, дано распределение используемой полосы частот между частотными каналами, при необходимости приведены эпюры напря-

жений в характерных точках функциональной схемы.

Следует рассчитать основные технические требования, предъявляемые к элементам функциональной схемы, и показать путем ссылок на соответствующую литературу возможность их технического выполнения. Должна быть составлена сводная таблица технических требований к элементам функциональной схемы.

**Разработка аппаратной или программной реализации кодера и декодера (по выбору студента).**

Для аппаратной реализации кодера и декодера заданного корректирующего кода необходима разработка их детальных функциональных схем с указанием всех логическим элементов и связей между ними.

Программы кодирования и декодирования для персонального компьютера могут быть составлены с использованием любого из языков программирования. Необходимо привести листинг программы и численный пример, подтверждающий ее работоспособность.

#### **Заключение.**

В этом разделе исполнитель подводит итоги проделанной работы, отмечает соответствие спроектированной СПИ техническому заданию, положительные стороны и недостатки принятых технических решений, намечает пути улучшения тактико-технических параметров системы.

В заключении формулируются общие выводы, касающиеся полезности проделанной работы, в частности, отмечается целесообразности использования ее результатов в реальном проектировании.

### **3 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Настоящие методические указания составлены в соответствии со стандартом ОС ТАСУР 6.1-97 «Работы студенческие, учебные и выпускные квалификационные. Общие требования и правила оформления».

### **3.1 Требования к оформлению чертежей**

Чертежи должны быть выполнены в карандаше на листах ватмана стандартного размера или на компьютере в соответствии с ЕСКД. Правила выполнения электрических схем установлены ГОСТ 2.702-75 и ГОСТ 2.701-84.

Допускается помещение чертежей в конце пояснительной записки с соответствующей укладкой их.

Каждый чертеж должен иметь рамку и основную надпись в соответствии с ГОСТ 2.104-68 «Виды и комплектность конструкторской документации», форма 1. Форма основной надписи, а также пример заполнения граф основной надписи даны в приложении 2.

Другие сведения, которые могут оказаться необходимыми для выполнения графической части проектов, приведены в стандарте ОС ТАСУР 6.1-97.

### **3.2 Требования к оформлению пояснительной записки**

Пояснительная записка к проекту (ПЗ) должна быть выполнена на стандартных листах формата А4 (210x297) ГОСТ 2.301-68 одним из следующих способов:

- с применением печатающих устройств вывода ЭВМ, высота букв и цифр не менее 1,8 мм, через 1,5-2 межстрочных интервала;

- рукописным – четким, разборчивым почерком с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм. Текст должен быть написан чернилами или пастой синего или черного цвета.

В соответствии с ГОСТ 2.004-88 «Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ», должны соблюдаться требования соответствующих стандартов ЕСКД.

ПЗ является текстовым конструкторским документом. Поэтому ее построение и оформление должно соответствовать ГОСТ 2.105-95, раздел 2 «Требования к текстовым документам, содержащим в основном сплошной текст». Согласно этим требованиям каждый лист текстового конструкторского документа

обрамляется рамкой и снабжается основной подписью по форме 2 и 2а ГОСТ 2.104-68.

Допускается выполнять по формам 2 и 2а только 2-3 первых листа ПЗ.

Расстояние от рамки формы (или от того места, где она должна быть) до границ текста следует оставлять в начале строк – не менее 5 мм, в конце строк – не менее 3 мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до рамки формы должно быть не менее 10 мм.

Нумерация страниц ПЗ должна быть сквозной, включая листы с рисунками, первой страницей является титульный лист. Номера страниц должны проставляться в основной надписи в графе «Лист». На титульном листе и в задании номер страницы не проставляется. На листах без рамки номер проставляется в правом верхнем углу. Титульный лист оформляется согласно ГОСТ 2-105-95. Форма титульного листа приведена в приложении 4.

Текст должен быть написан простым языком, чтобы его мог понять специалист не только в данной области, но и в смежной.

Не следует применять в тексте неконкретные выражения типа «удовлетворительное совпадение», «хорошее соответствие», «достаточная точность» и т.д., а также употреблять сложные обороты речи, жаргонные выражения, профессионализмы.

Не допускается:

- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

- применять произвольные словообразования;

- применять индексы стандартов (ГОСТ, ОСТ и т.п.), технических условий (ТУ) и других документов без регистрационного номера.

Содержание пояснительной записки разбивают на разделы и подразделы. При необходимости разделы и подразделы разбивают на пункты, а пункты на подпункты. Каждый пункт записывают с абзаца.

Между заголовками разделов и подразделов и последую-

щим текстом следует оставлять одну свободную строку, а между последней строкой текста и последующим заголовком – две свободные строки.

Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабской цифрой. Номера подразделов состоят из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. Номера пунктов состоят из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точками.

Содержащиеся в подпунктах отдельные требования, указания или положения, излагаемые в виде перечисления, записывают с абзаца. Подпункты обозначаются в пределах пункта арабскими цифрами со скобкой. Каждый подпункт должен начинаться с новой строки со строчной буквы. В конце подпункта, если за ним следует еще подпункт, ставят точку с запятой.

Каждый раздел рекомендуется начинать с новой страницы. Наименования разделов и подразделов должны быть краткими и соответствовать содержанию. Заголовки подразделов записываются строчными буквами (кроме первой прописной). Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Переносы слов в заголовках не допускаются.

При аналитических расчетах рекомендуется следующий порядок записи: приводится формула, после знака равенства подставляются численные значения в основных единицах системы СИ и пишется результат с указанием единиц измерения по ГОСТ 8.417-81, например: В, мВ, мкВ, А, mA, мкА, Ом, кОм, МОм, Ф, мкФ, Гц, кГц, МГц, м, см, км, дБ, Вт, с, мс, мкс, нс.

Числовые значения величин в тексте должны указываться с необходимой степенью точности. В тексте ПЗ числа с размерностью следует писать цифрами, цифры до десяти без размерности – словами, свыше десяти – цифрами, например: Дальность действия увеличилась в два раза.

Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой. Значение каждого символа дают с новой строки в той последовательности, в какой они приведены в формуле. Первая строка расшифровки должна начинаться со слова “где” без двоеточия после него.

Формулы, на которые имеются ссылки в тексте, должны нумероваться в пределах раздела арабскими цифрами. Номер формулы должен состоять из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например: (1.2). Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках, например:

$$A = 0,5x - 8 \quad (3.222)$$

Ссылки в тексте на номер формулы дают в скобках, например: "... в формуле (3.1)".

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблиц. Таблица должна иметь заголовок, который следует выполнять строчными буквами, кроме первой прописной, и помещать над таблицей посередине. Заголовок должен быть кратким и полностью отражать содержание таблицы.

Заголовки граф таблицы начинают с прописных букв, а подзаголовки со строчных, если они составляют одно предложение с заголовком. Подзаголовки, имеющие самостоятельное значение, пишут с прописной буквы. В конце заголовков и подзаголовков таблиц знаки препинания не ставят. Заголовки указывают в единственном числе. Графу "№ п/п" в таблицу не включают. При необходимости нумерации параметров порядковые номера указывают в боковике таблицы перед их наименованием.

Диагональное деление головки таблицы не допускается. Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

Все таблицы, если их в ПЗ более одной, нумеруют в пределах раздела арабскими цифрами. Номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

Над левым верхним углом таблицы помещают надпись "Таблица" с указанием номера таблицы, например: "Таблица 2.1" (первая таблица второго раздела). Надпись "Таблица" пишут выше заголовка.

Если в ПЗ одна таблица, то номер ей не присваивается и слово "Таблица" не пишут. На все таблицы должны быть ссылки в тексте, при этом слово "Таблица" в тексте пишут полностью, если таблица не имеет номера, и сокращенно - если имеет



номер, например: “... в табл. 1.1.”.

Для пояснения излагаемого текста в ПЗ помещают иллюстрации. Иллюстрации должны размещаться сразу после ссылки на них в тексте. Иллюстрации следует размещать так, чтобы их можно было рассматривать без поворота ПЗ. Если такое расположение невозможно, иллюстрации располагают так, чтобы для их рассматривания надо было повернуть ПЗ по часовой стрелке.

Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.

Все иллюстрации (фотографии, схемы, чертежи и пр.) именуются рисунками. Рисунки следует выполнять на той же бумаге, что и текст. Рисунки нумеруются последовательно в пределах раздела арабскими цифрами. Номер рисунка должен состоять из номера раздела и порядкового номера рисунка, разделенных точкой, например: “Рисунок 1.2” (второй рисунок первого раздела). При ссылке на рисунок следует указывать его полный номер, например: “(рисунок 1.2)”. Повторные ссылки на рисунок следует давать с сокращенным словом “смотри”, например: “(см.рис. 1.2)”.

Иллюстрации должны иметь наименование, и при необходимости – поясняющие данные. Слово “рисунок”, его номер и наименование помещают ниже изображения и пояснительных данных симметрично иллюстрации. Например, “Рисунок 1.2 – Графическое изображение алгоритма”.

Иллюстрации, на которых изображаются графики, выполняются различно в зависимости от того, отображают ли они лишь качественный характер или же количественное соотношение между аргументом и функцией.

Первый вид графиков изображается на плоскости, ограниченной осями координат, заканчивающимися стрелками. При этом слева от стрелки оси ординат и под стрелкой оси абсцисс проставляется буквенное обозначение соответственно функции и аргумента, без указания их единиц измерений.

Вдоль осей допускается указывать условные координаты некоторых характерных точек.

Графики, по которым можно установить количественную связь между независимой и зависимой переменными, должны снабжаться координатной сеткой, логарифмической или равно-

мерной. Буквенные обозначения переменных проставляются вверху слева от левой границы координатного поля и справа под нижней границей поля.

Единицы измерения (размерности) проставляются в одной строке с буквенными обозначениями переменных и отделяются от них запятой.

Численные значения аргумента и функции вписываются против линий координатной сетки соответственно в одну строку с буквенным обозначением под нижней границей координатного поля и в один столбец с буквенным обозначением слева от левой границы координатного поля. Следует избегать чрезмерно мелкой координатной сетки, причем допускается в целях лучшего чтения графика промежуточные числовые значения проставлять через одну или две клетки. Поле, образованное координатной сеткой, следует использовать рационально так, чтобы не оставались пустые строки и столбцы клеток.

Если на одном графике необходимо разместить семейство кривых, то их следует изображать либо различными линиями (например, сплошной, пунктирной, штрихпунктирной), либо проставлять около них на свободных местах цифры или буквы, которые должны быть разъяснены в поясняющих данных к рисунку или в тексте, либо делать возле них краткие поясняющие подписи, не затрудняющие чтение графика.

Если на одном графике необходимо разместить две различные функциональные зависимости, то обозначение и размерность одной из них следует помещать вдоль левой границы координатного поля, а другой вдоль правой границы координатного поля. При этом на поле графика возле кривых должны быть приведены соответствующие буквенные обозначения.

Если графики иллюстрируют экспериментальные зависимости, полученные в результате однократного проведения прямых или косвенных измерений, то обязательно проставление координат экспериментальных точек. Координаты могут быть указаны различными символами (значками), например, # и т.п. Расшифровка символов приводится в подрисуночной надписи или в тексте.

При ссылке в тексте на использованную литературу следует приводить порядковый номер по списку литературы, заключен-

ный в квадратные скобки и, в необходимых случаях, страницы, например: [18, с. 75].

Список литературы оформляют следующим образом. Заголовки “Список литературы” располагают симметрично тексту, прописными буквами. В список литературы входят все те литературные источники, на которые имеются ссылки в ПЗ. Список литературы выполняют в соответствии с ГОСТ 7.1-84 “Система информационно-библиографической документации. Библиографическое описание произведений печати”. Примером может служить список рекомендуемой литературы к типовым проектам, помещенный в настоящих методических указаниях.

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЙ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

### 4.1 Задаваемые параметры и характеристики

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  $K_c$ , бит;
- 3) средняя скорость на входе канала  $V_c$ , слов/с;
- 4) тип корректирующего кода;
- 5) тип манипуляции;
- 6) способ уплотнения каналов;
- 7) Битовая вероятность ошибки на выходе *демодулятора* в прямом канале  $P_0$ ;
- 8) спектральная плотность мощности аддитивного белого шума на входах приемников прямого и обратного каналов  $N_0$ , Вт/Гц;
- 9) затухание в прямом и обратном каналах  $G_{дб}$ .

Численные значения параметров, тип корректирующего кода, тип манипуляции и способ уплотнения каналов даны в Приложении 1.

Номер варианта  $N$  студенты выбирают по формуле

$N=P$ , если  $P < 50$  и  $N=P-50$ , если  $P \geq 50$ .

где  $P$  – значение двух последних цифр номера зачетной книжки студента (00, ..., 99) или задается преподавателем.

## 4.2 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 синхросигнала;

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.

## 5 РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА

1) *Внимательно прочитать методические указания.*

2) Предположить, каково назначение СПИ, т.е. определить физический смысл передаваемых параметров, исходя из заданных значений длины слова и скорости передачи на выходе канала.

3) Определить скорость ввода информационных символов в одном канале  $V_{вх}$ .

4) Исходя из заданного способа уплотнения каналов, типа корректирующего кода и требований к синхронизации определить *укрупненную структурную схему СПИ*. Структурная схема уточняется в процессе проектирования.

5) Выбрать такие значения длины кодовой комбинации  $n$  и числа информационных символов  $k$  из числа допустимых для заданного кода, которые наиболее удобны для передачи кодовых слов, выдаваемых источниками. При этом  $k$  информационных позиций в кодовой комбинации можно заполнять произ-

вольным образом (размещая несколько слов от одного источника или от разных источников, разбивая слова на части и размещая их в разных комбинациях и т. п.). При временном уплотнении каналов изложенное выше определяет алгоритм работы мультиплексора. Учесть, что следует передавать и специальные **синхросигналы**, помогающие в пункте приема определять **начало кодовых слов** и их декодирование, произвести **сборку слов источников и их распределение по каналам**. Возможно использование укороченного кода за счет уменьшения числа информационных символов до требуемого значения  $k_1$ .

6) Определить, какие виды синхронизации (тактовая, канальная, кадровая, цикловая (кодového слова) и др.) необходимо обеспечить, какие специальные синхросигналы необходимо передавать в пункт приема по линии связи. Выбрать способ введения и численные значения параметров этих синхросигналов.

7) На каждом этапе: объединение каналов, кодирование, добавление синхроимпульсов, определять длительность символа группового сигнала, скорость передачи символов. Обязательно приводить временные диаграммы (кода, кадра, цикла и т. д.) с указанием длительностей всех элементов.

8) Учитывая длительность символа на входе модулятора и заданный способ модуляции, определить длительность радиоимпульса (сигнала) на входе приемника.

9) При выбранных параметрах кода определить вероятность того, что **кодová комбинация будет передана повторно**. Оценить требуемое **относительное увеличение скорости передачи** в прямом и обратном каналах и изменение длительности сигнала, обусловленное этим фактором. Учитывать его при проведении расчетов мощности передатчика.

10) Учитывая степень когерентности системы, по полученной длительности сигнала и заданной битовой вероятности ошибки при демодуляции принимаемого сигнала в прямом канале определить требуемую мощность передатчика.

11) По битовой вероятности ошибки на выходе демодулятора и кодовому расстоянию  $d_{\text{код}}$  определить битовую вероятность ошибки на выходе декодера  $p_{\text{вых}}$ . При этом иметь в виду, что декодер должен лишь обнаруживать ошибки, а в канале **переспроса также возможно появление ошибок, допустимую ве-**

*личину которых следует определить.*

12) Определить длительность сигнала и мощность передатчика в канале переспроса, имея в виду, что в ответ на каждую кодовую комбинацию, переданную в прямом канале, в канале переспроса передается один бит (подтверждение правильного приема либо требование на повторную передачу этой же комбинации).

13) Вычисления пп. 5-12 повторить 2-3 раза с целью подбора наилучших характеристик кода и параметров синхросигналов, обеспечивающих **минимальную мощность передатчика и битовую вероятность ошибки на выходе декодера** в прямом канале.

14) Определить избыточность кода, группового сигнала, а также **среднее время безошибочной работы** в одном канале  $T=1/(V_{\text{вх}} p_{\text{вых}})$ , где  $V_{\text{вх}}$  – средняя скорость на входе канала, бит/с., а  $p_{\text{вых}}$  – битовая вероятность ошибки на выходе декодера с учетом канала переспроса.

15) При выбранной мощности передатчика и используемых параметрах корректирующего кода вычислить битовую вероятность ошибки на выходе демодулятора, вероятность ошибки при приеме кодового слова и битовую вероятность ошибки на выходе декодера **в режиме исправления** ошибки. Повторения кодовых комбинаций и организации канала переспроса в этом случае не требуется.

16) (**Частотное уплотнение каналов**). Найти ширину спектра для каждого из канальных сигналов после модулятора первой ступени, задать величины защитных частотных интервалов (методом аналогии с существующей, например стандартной аппаратурой), определить частоты поднесущих и ширину спектра группового сигнала.

(**Временное уплотнение каналов**). Учитывая спрсоб модуляции, рассчитать ширину спектра группового сигнала.

(**Кодовое уплотнение каналов**). Определить ансамбль функций Уолша, используемых для уплотнения каналов. Определить длительность расширяющих импульсов и ширину спектра группового сигнала.

(**Ортогональное частотное разделение каналов**). Определить длительность группового сигнала, частоты поднесущих и

рассчитать ширину спектра сигнала. Учесть, что спектры канальных сигналов перекрываются.

17) Задать способ сопряжения системы со стандартной аппаратурой частотного уплотнения каналов тональной частоты, а именно: выбрать групповой тракт стандартной аппаратуры (предгрупповой, первичный, вторичный и т.п.) и задать частоты несущих, необходимых для передачи группового сигнала с АМ ОБП по выбранному тракту. Определить граничные частоты и ширину спектра группового сигнала и убедиться в том, что этот сигнал может быть передан по выбранному тракту; учесть, что для прямого канала и канала переспроса должны выделяться неперекрывающиеся полосы частот. Возможна также аренда нескольких трактов одного или разных уровней для одновременного обслуживания разных групп каналов, чтобы рациональнее использовать выделяемые полосы частот.

18) На основе анализа полиномов для циклического кода составить детальные функциональные схемы кодера и декодера корректирующего кода или промоделировать работу кодера и декодера в среде программирования Matlab.

19) Выбрать и описать способы селекции синхросигналов в приемной части установки, привести структурную схему устройства тактовой синхронизации.

20) Составить детальные функциональные схемы модулятора и демодулятора в первой ступени уплотнения.

21) Составить подробные функциональные схемы передающей и приемной части СПИ.

## 6 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Определяя предполагаемое назначение СПИ, нужно учитывать скорость передачи в одном канале и количество двоичных разрядов  $K$  в слове на выходе источника. Возможно, слово представляет один отсчет непрерывного процесса. Например, скорость в 2 слова (отсчета) в секунду приемлема для передачи значений направления и скорости ветра при метеорологических наблюдениях, скорости движения конвейера, количества сделок на электронных торгах и т.п. Более высокая скорость в 100 слов в секунду слишком высока для перечисленных примеров, но



вполне подходит для случая радиолокационного измерения расстояния до летящей ракеты либо для описания хода быстропротекающей химической реакции.

Учтите, что **длина слова  $K_c$**  (не путать с количеством **информационных символов  $k$** ) определяет относительную величину модуля максимальной ошибки *представляемых данных источника информации, а именно*,  $u_{i\phi} = 0,5^{\hat{E}+1}$ . Например, при  $K_c=16$  имеем  $u_{i\phi} = 0,00076\%$ , что явно излишне при передаче данных о направлении и скорости ветра, но более подходит для передачи значений координат движущегося объекта.

Допустимые значения  $n$ ,  $k$  и  $r$  циклического кода БЧХ определяются в соответствии с формулами и таблицами, приведенными в [1, 2, 9]. Не следует без особой необходимости использовать укороченный код [1]. При использовании укороченного кода следует учесть, что на кодер следует подавать  $k$  информационных символов, заполняя  $k-k_1$  позиций, например, нулями. После кодирования добавленные символы следует удалить. Эти же процедуры необходимы и при декодировании.

Задав численные значения параметров кода, следует приступить к составлению детальных временных диаграмм для канальных и группового сигналов. На этих диаграммах должны быть указаны расположение на временной оси и длительности всех элементов сигналов ( кадров, канальных интервалов, кодовых комбинаций, передаваемых импульсов, кодовых слов от источников информации и т.д.) и количество бит в каждом элементе.

Важным этапом при проектировании СПИ является обеспечение синхронности работы. В общем случае система синхронизации должна определять следующие синхропараметры сигнала:

- частоту и фазу несущего колебания (частотная ЧС и фазовая ФС синхронизация);
- временные границы принимаемых импульсов (тактовая синхронизация)
- моменты, соответствующие началу кодовых слов (цикловая синхронизация ЦС)
- моменты, соответствующие началу и концу груп-

повых сигналов в многоканальных СПИ (кадровая синхронизация КС).

Чтобы обеспечить кадровую или цикловую синхронизации в конце кадра или цикла добавляют синхросигнал (один или несколько двоичных символов). *Отличительной особенностью синхросигнала является то, что эта группа двоичных символов (синхрогруппа) всегда одна и та же и повторяется периодически.* Нужно стремиться, чтобы избыточность, вызванная введением синхросигналов, была минимальной.

Хорошо, если в СПИ с ВРК в кадре размещается целое число всех остальных перечисленных элементов сигналов. Тогда можно передавать лишь кадровый синхросигнал и предусмотреть для него еще один, дополнительный канал. В СПИ с ЧРК, КРК и ОЧРК самым крупным элементом в каждом канале, скорее всего, окажется комбинация на выходе кодера, и точно так же нужно стремиться к тому, чтобы в ней помещалось целое число слов с выхода источника информации. Если на  $k$  информационных позициях не удастся разместить целое количество слов от источника, придется в конце каждого слова перед кодированием добавить другой синхросигнал (как правило, здесь достаточно одного бита, который всегда принимает одно и то же значение, например единицы).

При временном уплотнении каналов, если не удастся добиться кратности длительностей кадра и кодового слова (цикла), возможно использование двух синхросигналов – кадрового и циклового. При разработке структурной схемы следует указать устройства формирования и приема соответствующих синхросигналов [1, 3, 4, 5, 14].

После того, как определены параметры всех синхросигналов, можно найти значение необходимых битовой скорости передачи (бит/с) в одном канале  $V_1$  и суммарной битовой скорости передачи  $V$ . Следует учесть увеличение битовой скорости передачи, вызванное повторными передачами кодовых комбинаций при обнаружении ошибок. Вероятность того, что кодовая комбинация будет передана повторно, равна вероятности возникновения в этой кодовой комбинации таких ошибок, которые могут быть обнаружены, то есть

$$P_{\text{повт}} = \sum_{q=1}^{d_{\text{код}}-1} P(q), \quad (3)$$

где величина каждого слагаемого определяется по биномиальной формуле [1]. Требуемое относительное увеличение скорости передачи (одновременно и в прямом, и в обратном каналах) из-за двукратной, трехкратной и т.д. повторных передач равно

$$V_{\text{п}} / V = (1 - P_{\text{повт}}) \sum_{j=0}^{\infty} (j + 1) P_{\text{повт}}^j. \quad (4)$$

Длительность импульсов (сигналов после модулятора)  $\tau$ , передаваемых в одном канале в системе с ЧРК, ОЧРК и КРК определяется по формуле  $\tau_1 = m/V_1$ . В групповом сигнале в системе с ВРК  $\tau = m/V$ , где  $m$  – кратность модуляции, т. е. количество бит, передаваемых в одном импульсе [1, разд. 2.8], [3]. Например, при использовании модуляции КАМ-16 получаем значение  $m = 4$ .

Как отмечалось выше, расчеты длительности сигнала на выходе модулятора нужно произвести несколько раз, при разных параметрах  $(n, k)$  заданного линейного блочного кода и с учетом используемых синхросигналов, так как каждый раз требуется обеспечивать необходимые виды синхронизации. Выбирается вариант, который дает максимальную длительность сигнала. При этом ширина спектра сигнала и требуемая мощность передатчика будут минимальными.

На следующем этапе по заданной битовой вероятности ошибки на выходе модулятора  $p_b$  следует определить требуемую мощность сигнала на входе демодулятора. Вероятность ошибки при демодуляции принимаемого импульса  $p_b$  зависит от отношения сигнал/шум  $q$ , метода манипуляции и степени когерентности СПИ. Отношение сигнал/шум по энергии на входе приемника системы с ВРК определяется выражением  $q^2 = P\tau/N_o$ . Для системы с ЧРК, ОЧРК и КРК величину  $q^2$  вычисляют аналогично, но нужно учесть, что мощность  $P$  делится между  $M$  одновременно принимаемыми сигналами.

Вероятность ошибки при демодуляции двоичного импульса в приемнике когерентной СПИ равна

$$p_2 = 1 - \Phi(z), \quad (1)$$

где  $\hat{O}(z)$  – интеграл вероятности,

$z = q$  в случае использования ФМ и  $z = q/\sqrt{2}$  для АМ и ЧМ с ортогональными сигналами [1, 3, 4].

Значения  $\Phi(z)$  для  $|z| < 3$  приведены в [1, приложение 3], а также в большинстве учебников по теории вероятности. Они вычисляются во многих прикладных математических пакетах программ (Matlab, Mathcad, Excel и др.).

При использовании  $M$ -позиционных методов манипуляции, где  $M = 2^m$ , вероятность ошибки определяется приближенными соотношениями [1, раздел 5.2.], [2, 3] с использованием данных таблицы [1, приложение 3].

Если при демодуляции импульса возникла ошибка, то есть демодулятор вместо правильного (действительно переданного) значения  $M$ -ичного сигнала выдал какое-то другое из остальных  $M-1$  его возможных значений, то при большом отношении сигнал/шум ( $q > 3 \dots 4$ ) очень велика вероятность, что этим другим значением окажется ближайший сосед [1]. Поэтому количество ошибочных бит  $m_{\text{ош}}$  из их общего числа  $m$  зависит от способа нумерации  $M$  возможных значений импульса [1, разд. 3.5]. Используя код Грея [1], эту нумерацию можно провести так, что номера ближайших соседей будут отличаться не более чем в одном двоичном разряде, то есть  $m_{\text{ош}} = 1$ . Если нумерация сделана обычным двоичным кодом по возрастанию номеров либо в произвольном (случайном порядке), то  $m_{i\phi} \approx m/2$ . В итоге битовая вероятность ошибки на выходе демодулятора (на входе декодера) равна

$$p_{\phi} \approx p_M m_{\text{ош}} / m. \quad (2)$$

Приведенные выражения связывают длительность сигнала, мощность передатчика и битовую вероятность ошибки на выходе модулятора.

Методика вычисления вероятности ошибочного декодирования  $(n, k)$ -комбинации  $p_{\text{ош}}$  и битовой вероятности ошибки на выходе декодера  $p_{\text{вых}}$  при наличии канала переспроса подробно описаны в пособии [1, разд. 3.6], [2].

Расчет параметров сигнала и битовой вероятности ошибки при демодуляции принимаемого радиоимпульса в канале переспроса производится аналогично. При этом необходимо учесть следующие особенности: никакие синхросигналы в каналах переспроса передавать не нужно; применение многопозиционных методов манипуляции нежелательно; возможно использование любых методов уплотнения каналов и, в случае необходимости, любых методов помехоустойчивого кодирования группового сигнала в обратном канале.

Чтобы составить детальные функциональные схемы кодера и декодера корректирующего кода, следует сначала выбрать методы кодирования и декодирования. Кодировать и декодировать циклические коды удобнее с использованием производящего или проверочного полиномов. Из этих вариантов следует выбирать метод, требующий меньших аппаратных затрат, при этом первоначальная оценка может быть сделана путем сравнения степеней соответствующих полиномов. Логические элементы, из которых составляются схемы, и их функции описаны в [1]. Схему анализатора остатка (синдрома) в декодере можно не приводить – достаточно описать его функции.

Если схема оказывается громоздкой, поскольку содержит большое количество практически однотипных узлов, можно привести лишь часть из них (обычно первый и последний), а для остальных в пояснительной записке привести алгоритм, описывающий способ их включения.

Для кодирования и декодирования кода с проверкой на четность достаточно иметь один счетный триггер для подсчета количества единиц (импульсов) в кодовой комбинации.

Не следует забывать, что на схемах должны быть указаны цепи для подачи тактовых импульсов разных частот, под управлением которых работают кодер и декодер, а также регистры памяти (буферные регистры), в которых производится объединение, хранение и распределение цифровых потоков. Тактовые частоты формируются путем деления частоты генератора с наибольшей в данной СПИ частотой следования импульсов. Чаще всего максимальной является скорость передачи на входе модулятора. **На схемах нужно указать коэффициенты деления максимальной тактовой частоты.**

В системе с ВРК нерационально иметь свой кодер в каждом канале, поэтому обычно применяется общее кодирующее устройство, которое включается после мультиплексора каналов и осуществляет поочередное кодирование всех канальных сигналов. В целях экономии тот же прием можно использовать и в системе с ЧРК с последующим демультимплексированием закодированных кодовых комбинаций.

Полоса частот, требуемая для передачи канального (при ЧРК) или группового (при ВРК) цифровых сигналов определяется длительностью передаваемых радиоимпульсов и выбирается в соответствии с [1, разд. 2.8]. В случае необходимости допускается небольшое (на 10-20%) уменьшение полосы частот по сравнению с приведенной выше рекомендацией. Полоса частот группового сигнала в системе с ЧРК определяется как сумма полос канальных сигналов с учетом защитных интервалов, необходимых для уменьшения межканальных искажений [1, 4].

При определении полосы частот группового сигнала в системе с ОЧРК нужно учесть, что спектры канальных сигналов перекрываются [1, 7, 9,13] и ортогональность достигается кратностью поднесущих канальных частот частоте следования сигналов.

В системах с КРК полоса частот группового сигнала определяется длительностью импульса ортогональной двоичной последовательности, используемой для определения номера канала – в нашем случае это функции Уолша [1, 4, 6, 7]. Осуществляется прямое расширение спектра, при этом *каналообразующая последовательность* перемножается с каждым импульсом *информационной*, затем осуществляется перенос сигнала на несущую частоту. При определении ширины спектра следует учитывать кратность используемой модуляции.

При разработке функциональных схем модулятора и демодулятора следует воспользоваться литературой [1, 3, 6, 9, 13]. Следует учесть, что в системах с ОЧРК сформировать большое количество когерентных ортогональных поднесущих в передатчике и приемнике технически невозможно. Поэтому производится цифровой синтез квадратурных составляющих группового сигнала с использованием обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ) в передатчике и прямого быстрого преобразова-

ния Фурье (БПФ) в приемнике. Перенос низкочастотных квадратурных составляющих на несущую частоту осуществляется в квадратурном модуляторе [3].

При разработке способа сопряжения СПИ с аналоговой аппаратурой частотного уплотнения телефонных каналов для передачи групповых сигналов по одному или нескольким арендуемым стандартным трактам следует иметь в виду, что арендовать можно лишь тракт целиком, но не его часть. Например, можно арендовать канал тональной частоты с полосой пропускания 3100 Гц, первичный групповой тракт с полосой 48 кГц и т.д. (см. Приложение 3). При этом несущие частоты канальных сигналов в СПИ с ЧРК либо несущая частота группового сигнала при использовании ВРК должны быть заданы таким образом, чтобы спектр группового сигнала полностью помещался между граничными частотами арендуемого тракта, также приведенными в Приложении 3.

Нерационально арендовать тракт, полоса пропускания которого намного больше полосы частот, занимаемой групповым сигналом. В этом случае  $M$  каналов лучше разбить на несколько одинаковых независимых групп, и для каждой группы фактически использовать собственную многоканальную СПИ и арендовать групповой тракт с меньшей полосой.

При работе декодера в режиме **исправления ошибок** в повторении кодовых комбинаций нет необходимости. С учетом этого следует определить длительность сигнала на входе приемника, отношение сигнал/шум и битовую вероятность ошибки на выходе демодулятора [1, 3]. Затем определить битовую вероятность ошибки на выходе декодера и сравнить с соответствующей вероятностью при работе декодера в режиме обнаружения ошибок.

Функциональные схемы передающей и приемной частей разрабатываемой системы передачи информации нужно представлять в виде отдельных чертежей.

**В пояснительной записке обязательно должны быть ссылки на источники используемых вами схем и математических выражений.**

- **Курсовые проекты, не отвечающие данным требованиям, на проверку не принимаются.**

- **Курсовые проекты, содержащие идентичные текстовые и расчетные фрагменты, рассматриваются как выполненные не самостоятельно и будут возвращаться со смежной задачей на курсовое проектирование.**

## ЛИТЕРАТУРА

1. ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ: Учебное пособие / Акулиничев Ю. П., Бернгардт А. С. – 2015. 196 с.  
<https://edu.tusur.ru/training/publications/5858>
2. Акулиничев Ю.П. Теория электрической связи: Учебное пособие. – Томск:ТУСУР, 2007. – 214с.  
Часть 1, 2005. – 129 с; Часть 2, 2007. – 89 с.
3. Акулиничев Ю.П. Теория электрической связи. Часть 1. Учебно-методическое пособие. – Томск, ТМЦДО. – 2005 г. – Часть 2. – 2007 г..
4. Гаранин М.В., Журавлев В.И., Кунегин С.В. Системы и сети передачи информации: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2001. - 336 с.
5. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов/ Вячеслав Ильич Иванов, Владимир Николаевич Гордиенко, Григорий Николаевич Попов и др; Ред. Вячеслав Ильич Иванов. - 2-е изд.. - М.: Горячая линия-Телеком, 2003. - 232с.
6. Пуговкин А.В. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей.Часть 1. Системы передачи: Учебное пособие.- Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2002.-107с.
7. Ипатов В. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. М.: Техносфера, 2007.– 488с.
8. Тепляков И.М. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учеб. Пособие. – М.: Радио и связь,2004. -328 с.
9. Радиосистемы передачи информации: Уч. пос /В.В. Васин и др.;под ред.И.Б Федорова и В.В.Калмыкова.-М. Гор. Линия-Телеком,2005-472с.



10. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
11. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 432 с.
12. Чернега В. С., Василенко В. А., Бондарев В. Н. Расчет и проектирование технических средств обмена и передачи информации: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1990. – 224 с.
13. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е изд.: Пер. с англ. - М: Изд. дом. “Вильямс”, 2003. – 1104 с.
14. Волков Л.Н. и др. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики.: Учебное пособие. М.: Эко – Трендз, 2005г..
15. В.А.Васин и др. Радиосистемы передачи информации: Учебное пособие для вузов/ под ред. И.Б. Федорова и В.В. Калмыкова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 472 с.
6. Уайндер С. Справочник по технологиям и средствам связи. Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 429 с.
17. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Под ред. Д.Б. Зимины, 2-е изд. – М.: Радио и связь, 2000. – 248 с.
18. Андрианов В.И., Соколов А.В. Средства мобильной связи. – СПб.: ВНУ-Санкт-Петербург, 1998– 256с.
19. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи. Изд. 2-е. – М.: Техносфера, 2006.-288с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

### Задание на проектирование

N	M	K <sub>c</sub>	V <sub>c</sub>	Тип кода	Метод модул.	Метод уплотн.	P	N <sub>o</sub>	G <sub>об</sub>	Степ. когер
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	56	6	10	Цикл.- 5	АМ	Част.	1E-3	6,413E-11	55	Неког.
2	12	16	25	Цикл.- 5	КАМ-4	Врем.	1,3E-4	1,131E-11	60	Когер.
3	56	8	60	Цикл.- 3	ЧМ	Част.	5E-4	1,708E-11	57	Неког.
4	12	12	90	Цикл.- 3	ФМ	Врем.	3E-3	3,742E-15	53	Неког.
5	122	8	890	Пр. Чет.	КАМ-64	ОЧРК	3E-4	1,051E-11	63	Когер.
6	60	4	15	Цикл.- 5	ФМ-4	ОЧРК	5E-5	5,918E-14	68	Когер.
7	96	16	160	Цикл.- 3	ЧМ	Врем	3E-5	2,847E-15	59	Неког.
8	7	6	25	Цикл.- 3	ФМ	Код.	1,5E-3	2,475E-15	62	Когер.
9	36	4	410	Цикл.- 5	КАМ-16	ОЧРК.	4E-5	1,762E-11	61	Когер.
10	40	4	10	Цикл.- 5	АМ	Врем.	2E-3	1,42E-13	58	Неког.
11	96	10	40	Пр. Четн	КАМ-64	ОЧРК.	4E-4	1,927E-15	51	Когер.
12	56	10	10	Цикл.- 5	ФМ	Код.	1.7E-3	1,28E-13	54	Когер.
13	72	4	165	Цикл.- 5	КАМ-4	ОЧРК.	6E-3	5,291E-12	65	Когер.
14	28	6	360	Цикл.- 3	ДФМ	Врем.	7E-4	1,773E-12	63	Когер.
16	112	8	10	Цикл.- 3	ФМ	Код.	1.4E-4	1,056E-14	70	Когер.
17	40	6	280	Цикл.- 5	ЧМ	Врем.	3.7E-4	4,452E-11	72	Когер.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
18	60	8	100	Цикл.- 3	КАМ-64	Част.	7E-4	1,113E-13	71	Когер.
19	72	10	15	Цикл.- 5	ФМ	Врем.	3.7T-4	1,027E-11	50	Когер.
20	44	8	415	Пр. Четн	АМ	Врем.	4.7E-4	6,003E-14	54	Неког.
19	4	8	1135	Цикл.- 3	КАМ-16	Част.	2.2E-3	9,517E-14	63	Когер.
20	64	4	50	Пр. Четн	КАМ-4	ОЧРК.	2.4E-3	6,215E-13	72	Когер.
21	60	8	155	Пр. Четн	ФМ	Код.	2.6E-3	1,041E-12	67	Когер.
22	24	4	105	Цикл.- 3	ДФМ	Част.	6E-4	1,094E-13	64	Когер.
23	4	8	11380	Цикл.- 3	КАМ-4	Врем.	6.3E-4	1,789E-15	55	Когер.
24	12	8	705	Пр. Четн	ФМ	Код.	6.6E-4	1,1E-12	66	Когер
25	108	6	10	Пр. Четн	ДФМ	ОЧРК.	6.9E-4	1,184E-11	57	Когер.
26	62	8	110	Пр. Четн	ФМ	Код.	7.1E-4	1,342E-13	58	Неког.
27	72	8	30	Цикл.- 3	КАМ-4	Врем.	8E-4	7,3E-14	67	Когер.
28	56	10	10	Цикл.- 5	ЧМ	Част.	8.3E-4	5,647E-11	56	Неког.
29	16	8	340	Пр. Четн	КАМ-16	ОЧРК.	8.6E-4	5,00E-12	68	Когер.
30	76	10	50	Цикл.- 3	КАМ-16	Част.	8.9E-4	3,337E-15	61	Когер.
31	4	8	12940	Цикл.- 3	КАМ-64	Врем.	9.E-4	2,279E-14	69	Когер.
32	58	8	220	Цикл.- 5	КАМ-4	ОЧРК.	9.3E-4	1,077E-12	54	Когер.
33	12	6	960	Цикл.- 5	КАМ-64	Врем.	9.6E-4	3,025E-15	52	Когер
34	96	6	10	Цикл.- 3	АМ	Част.	9.9E-4	1,147E-12	60	Неког.
35	30	4	25	Пр. Четн	ФМ	Код.	10.5E-4	1,707E-12	53	Когер.
36	100	10	10	Цикл.- 3	ДФМ	Част.	5.7E-4	1,876E-14	73	Когер.
37	52	4	30	Пр. Четн	КАМ-64	ОЧРК.	1.7E-3	2,009E-14	65	Когер.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
38	40	4	820	Цикл.- 3	ДФМ	Част.	4.7E-4	9,98E-12	70	Когер.
39	24	8	140	Пр. Четн	ДФМ	Врем.	3.7E-4	3,961E-14	67	Когер.
40	32	8	15	Цикл.- 3	ФМ	Код.	7.7E-4	1,448E-12	63	Когер.
41	92	6	10	Пр. Четн	АМ	Врем.	5.1E-4	2,838E-11	57	Неког.
42	92	6	395	Цикл.- 3	КАМ-16	ОЧРК.	3.7E-4	9,652E-12	60	Когер.
43	12	4	25	Цикл.- 5	ЧМ	Врем.	5.3E-4	5,319E-14	53	Когер.
44	20	8	240	Цикл.- 3	КАМ-16	Част.	4.3E-4	3,646E-14	64	Когер.
45	80	10	10	Цикл.- 3	ФМ	Код.	6E-4	4,001E-11	55	Когер.
46	24	10	160	Пр. Четн	АМ	Част.	7Т-4	7,26E-11	73	Когер.
47	4	6	2170	Цикл.- 5	КАМ-64	Врем.	1.2E-3	2,909E-12	58	Когер.
48	12	4	350	Цикл.- 3	КАМ-16	ОЧРК.	1.2E-4	1,935E-11	63	Когер.
49	32	10	320	Цикл.- 3	КАМ-16	Врем.	3E-5	4,578E-11	69	Когер.

### Обозначения:

1) Тип корректирующего кода: Пр. Четн – код с проверкой на четность; Цикл.- 3 – циклический код с кодовым расстоянием 3 (либо код Хэмминга); Цикл.- 5 – циклический код с кодовым расстоянием 5.

2) Метод модуляции: АМ, ЧМ, ФМ – амплитудная, частотная с ортогональными сигналами и фазовая соответственно; ДФМ – двукратная (четырёхпозиционная) ФМ; КАМ-М – М - позиционная квадратурно-амплитудная модуляция.

3) Метод уплотнения каналов: Част. – частотный, ЧРК; Врем. – временной, ВРК, Код.- кодовый, КРК; ОЧРК- частотное уплотнение ортогональных несущих (OFDMA). 4)  $1,731E-7=1,731 \cdot 10^{-7}$ .

Таблица значений интеграла вероятности  $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$

	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441

Продолжение таблицы значений интеграла вероятности

1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986

$$1 - \Phi(z) = \Phi(-z) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}z} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \quad \text{при } z > 3.$$

Приложение 3

Характеристики стандартной аппаратуры частотного уплотнения каналов ТЧ с полосой 300-3400 Гц [1, 3, 4]

Номер ступе-ни	Частоты поднесу-щих, кГц	Полосы сигналов, кГц:	
		канальных	группо-вого
Пред-груп-по-вой	12;16; 20	12-16; 16-20; 20-24	12-24
1	64; 68; 72;...; 104; 108	60-64; 64-68; 68-72;...; 100-104; 104-108	60-108
2	420; 468; 516; 564; 612	312-360; 360-408; 408-456; 456-504; 504-552	312-552
3	1364; 1612; 1860; 2108; 2356	812-1052; 1060-1300; 1308-1548; 1556-1796; 1804-2044	812-2044
4	4152; 5448; 6744; 8040; 9336	2108-3340; 3404-4636; 4700-5932; 5996-7228; 7292-8524	2108-8524

*Примечания:*

1) во всех ступенях применяется амплитудная модуляция с нижней боковой полосой;

2) полосы канальных сигналов предгруппового сигнала и в первой ступени по 4 кГц каждая включают в себя защитные интервалы по 0,9 кГц, те же защитные интервалы остаются между пятью группами во второй ступени;

3) дополнительные защитные интервалы вводятся между канальными сигналами в третьей ступени (по 8 кГц) и в четвертой ступени (по 64 кГц).

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра радиотехнических систем (X)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой X

\_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ 201Xг.

---

Пояснительная записка к курсовому проекту по курсу  
“Теория электрической связи

Студент гр.  
(подпись) и.о.фамилия  
(дата)

Руководитель проекта  
должность и.о.фамилия  
(дата)

2016.



## Приложение 5 Определения

**Структурная схема (блок-схема)** определяет основные функциональные части изделия (установки), их назначение и взаимосвязи; она разрабатывается при проектировании (конструировании) изделия, раньше схемы др. типов, и используется при изучении структуры изделия и программы его работы, а также во время его эксплуатации.

**Функциональная схема** раскрывает процессы, протекающие в изделии и его отдельных частях; используется при изучении функциональных возможностей изделий, а также при их наладке, регулировке, контроле и ремонте.

**Принципиальная схема** определяет полный состав элементов изделия и связей между ними и, как правило, даёт детальное представление о принципе работы изделия; служит основанием для разработки др. конструкторских документов, например электромонтажных чертежей, спецификации.

**Схемы соединений (внутренних и внешних)** отображает связи составных частей изделия, способы прокладки, крепления или подсоединения проводов, кабелей или трубопроводов, а также места их присоединения или ввода.

На **схеме подключений** показывают внешние подключения изделия; эти схемы используют при монтаже и эксплуатации комплексов. **Общая схема** определяет составные части комплекса (сложного изделия) и соединения их между собой на месте эксплуатации; предназначена преимущественно для общего ознакомления с комплексами.

На **схеме расположения** показывается относительное размещение (местоположение) составных частей установки или комплекса. В СССР порядок оформления схем устанавливается ГОСТами.

*Большая советская энциклопедия. Рубрикон -  
<http://www.rubricon.com/>*