

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.391.8:629.056.8

Леонтьева  
Ольга Александровна

Модуль помехоустойчивого кодирования и перемежения  
передающего тракта спутниковой системы

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-45 80 01 «Системы, сети и устройства  
телекоммуникаций»

---

Научный руководитель:  
Липкович Эдуард Борисович  
доцент

---

Минск 2016

## ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При проектировании современных систем телекоммуникаций одной из важнейших является задача обеспечения высокой достоверности передачи данных. К наиболее эффективным методам решения данной задачи следует отнести применение корректирующих кодов, в разработке которых теория помехоустойчивого кодирования в последние десятилетия достигла значительных успехов. Применение помехоустойчивого кодирования в цифровых системах передачи данных позволяет получить энергетический выигрыш кодирования, а его можно использовать для уменьшения требуемой мощности передатчика, повышения скорости передачи данных, уменьшения размеров очень дорогих антенн, повышения дальности связи, экономии полосы пропускания и улучшения многих других важных свойств систем передачи данных.

О важности развития алгоритмов помехоустойчивого кодирования говорят ежегодно появляющиеся тысячи публикаций, посвященных данной тематике. Основу современной теории кодирования составляют работы В.А. Котельникова и К. Шеннона. В дальнейшем эти работы развивались многими российскими и зарубежными исследователями, такими как В.В. Зяблов, К.Ш. Зигангиров, В.В. Золотарев, А. Витерби, Дж. Месси, Р. Галлагер, Д. Фorni, Л.М. Финк, В.Л. Банкет, А.Э. Нейфах, Дж. Возенкрафт, Е. Берлекэмп, Э.Л. Блох и другие.

**Актуальность проблемы.** В настоящее время теории кодирования известно всего несколько методов кодирования/декодирования, обеспечивающих работу вблизи пропускной способности канала. Среди них можно выделить активно развивающиеся за рубежом турбо и турбоподобные коды. Однако данные методы все еще обладают достаточно большой вычислительной сложностью, что затрудняет их практическое применение в высокоскоростных телекоммуникационных системах, скорость передачи данных по которым составляет сотни и тысячи Мбит/с. В связи с этим возникает задача поиска более простых, а, соответственно, более надежных и дешевых в практической реализации методов кодирования/декодирования. Эта задача, учитывая постоянный рост скоростей обмена информацией, с каждым годом становится все актуальнее.

На сегодняшний день схема кодирования, основанная на комбинации кодов BCH и LDPC является одной из лучших по соотношению эффективности и сложности практической реализации. В связи с жесткими ограничениями на занимаемую сигналом полосу частот, активно применяются многопозиционные системы модуляции, такие как многопозиционная квадратурно-амплитудная модуляция. По результатам проводимых научным сообществом исследований, применение кодов BCH и LDPC совместно с многопозиционной модуляцией улучшает помехоустойчивость сигналов. Поэтому задача развития методов помехоустойчивого кодирования с целью повышения их эффективности при максимально возможном сохранении простоты практической реализации является актуальной. Таким образом, организация помехоустойчивого кодирования в системах телекоммуникаций является одним из важнейших средств обеспечения высокой достоверности передачи данных.

**Цель и задачи исследования.**Целью диссертационной работы является разработка алгоритмов помехоустойчивого кодирования на основе битового перемежения, кодирования BCH и LDPC, обеспечивающих высокую достоверность передачи информации в высокоскоростных каналах передачи телекоммуникационных систем и характеризующихся предельно малой сложностью практической реализации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

провести анализ существующих методов помехоустойчивого кодирования с целью выбора направления дальнейших исследований;

проанализировать алгоритмы помехоустойчивого кодирования и перемежения, определенные стандартом DVB-S2

составить алгоритмы работы кодеров BCH и LDPC, а так же блока битового перемежения;

осуществить моделирование процессов помехоустойчивого кодирования.

**Методы исследования.**Проводимые исследования основываются на теории полей Галуа, теории кодирования и теории вероятностей, а так же методов формирования и обработки телекоммуникационных сигналов. Для проведения численных расчетов использовались программные пакеты: MSExcel 2010, Mathcad 13. Программное обеспечение, необходимое для решения поставленных в диссертации задач, реализовано в средеMatLAB 2010.

**Достоверность результатов.**Достоверность полученных результатов подтверждается при сопоставлении теоретических данных с результатами имитационного моделирования, полученными при помощи разработанной в диссертации математической модели приемопередающего тракта.

**Апробация работы.** Результаты работы были представлены на 51 СНТК студентов, аспирантов и магистрантов БГУИР и на XX Международной НТК «Современные средства связи», по результатам диссертации опубликована одна работа.

**Практическая ценность.**Полученные математические модели могут быть использованы для оптимизации параметров подсистем кодирования и модуляции спутниковых систем связи.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 главы, заключения и приложений. Работа содержит 69 страниц машинописного текста, 31 рисунок, 9 таблиц и список литературы из 17 наименований.

## БАЗОВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Разработанная структурная схема подсистемы помехоустойчивого кодирования и перемежения систем спутникового телевизионного вещания DVB-S/S2.

2. Разработанные алгоритмы работы кодеров BCH и LDPC и перемежителя.
3. Разработанные математические модели модуляторов и демодуляторов 8-PSK, 16-APSK, 32-APSK.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, даётся краткая характеристика её разработанности, определяются объект и предмет исследования, цель и задачи, указана теоретико-методологическая основа, формулируются основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Первая глава «Анализ методов реализации помехоустойчивого кодирования в системе DVB-S2» включает в себя различные вариации построения радиопередающих трактов и их техническое обоснование и состоит из группы подразделов.

В подразделе 1.1 «Общая характеристика системы DVB-S2» указаны причины разработки нового стандарта спутникового вещания, кратко рассматривается структура передающего тракта спутниковой системы DVB-S2, описываются достоинства новой схемы помехоустойчивого кодирования, основанной на комбинации BCH и LDPC кодов, обеспечивающей более эффективное использование канального ресурса.

В подразделе 1.2 «Двоичные коды BCH» описывается общий алгоритм построения кодов BCH, рассматриваются примеры построения порождающих полиномов, оценивается эффективность использования кодов BCH по сравнению с кодами Хэмминга. Особое внимание уделяется рассмотрению вариантов реализации кодеров BCH для произвольных циклических кодов, которые могут быть реализованы по одной из двух схем: по порождающему и проверочному полиномам. Перечисляются особенности функционирования этих схем при работе с информационными последовательностями больших длин (кодированные слова, используемые в системах стандарта DVB-S2 имеют длину от 32 000 до 54 000 бит) и обосновывается их практическая применимость.

Подраздел 1.3 «Коды с низкой плотностью проверок на четность» посвящен рассмотрению класса линейных блочных кодов LDPC. В подразделе представлена классификация кодов с низкой плотностью проверок на четность, описана их структура, представлены методы построения проверочных матриц, доказывающаяся эффективность кодов LDPC. Так же в подразделе предложены варианты аппаратной реализации данного вида кодов.

В подразделе 1.4 «Битовое перемежение» описываются существующие типы устройств перемежения, доказывающаяся эффективность использования устройств перемежения как самостоятельно, так и вместе с помехоустойчивым кодом, а так же рассматриваются варианты реализации блоков перемежения сим-

волов передаваемой последовательности на передаче для борьбы с пакетными ошибками путём их разнесения во времени.

Во второй главе «Выбор и обоснование структурной схемы подсистемы перемежения, кодирования и модуляции передающего тракта спутниковой системы» представлены основные технические требования к разрабатываемой системе. Согласно техническим требованиям, представленным в стандарте DVB-S2, вычислены размеры блоков информационных данных на входе и выходе кодеров BCH и LDPC в зависимости от выбранной скорости кодирования, определены корректирующие способности кодов, приведены параметры генераторных полиномов кода BCH для длинного и короткого кодов, описана структура кадра перед блоком перестановки бит. В главе представлена структурная схема подсистемы битового перемежения, кодирования и модуляции, разработанная в соответствии со всеми вышеперечисленными требованиями, которая реализована программно в пакете MatLAB.

Третья глава «Разработка субмодуля помехоустойчивого кодирования» посвящена описанию разработанных алгоритмов работы субмодуля помехоустойчивого кодирования, отвечающего требованиям, сформулированным в стандарте DVB-S2. В подразделах 3.1 «Структурная схема BCH-кодера (внешнее кодирование)», 3.2 «Алгоритм LDPC-кодирования» и 3.3 «Структурная схема битового перемежителя» приведены разработанные структурные схемы кодеров BCH и LDPC, и битового перемежителя соответственно.

В четвертой главе «Моделирование процессов помехоустойчивого кодирования» разработана имитационная модель системы в среде MatLAB. Линия связи разбита на 3 части – передающий тракт, приемный тракт и непосредственно беспроводной канал. Блоки передающего тракта реализованы на основании разработанных в главе 3 алгоритмов, приемный тракт реализован при помощи системных функций среды MatLAB. Есть возможность сравнения сигналов после прохождения каждого из блоков обработки.

В подразделе 4.1 «Разработка алгоритма моделирования» описана блок-схема алгоритма моделирования. В подразделе 4.2 «Оценка помехоустойчивости спутникового канала связи с АБГШ» приведены временные и частотные графики, полученные при прохождении сигналов по разработанной математической модели приемопередающего тракта, а так же проведен анализ результатов моделирования и определены критические значения ОСШ, при которых гарантируется квазибезошибочная работа системы. Результаты представлены для режимов модуляции 8-PSK и допустимых эффективных скоростей кодирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сформулировать основные выводы и результаты.

В диссертационной работе проведено детальное исследование методов кодирования помехоустойчивыми кодами. Показано, что схема FEC-кодирования на основе кодов BCH и LDPC является одной из наилучших с точки зрения соотношения эффективности и сложности реализации. Анализ уже существующих систем, реализующих помехоустойчивое кодирование, позволил сформулировать требования к разрабатываемой системе, техническое обоснование которых представлено в разделе 2.

В результате разработки схемы модуля помехоустойчивого кодирования предложены варианты структурных и функциональных схем кодера BCH и перемежителя, реализующих процесс помехоустойчивого кодирования, используемой в цифровом телевидении стандарта DVB-S2. Описаны алгоритмы кодирования LDPC. Разработан алгоритм битового перемежения, применение которого позволяет повысить помехоустойчивость системы за счет разнесения во времени пакетных ошибок, что позволяет получить дополнительный выигрыш от применения кодирования.

Проведен эксперимент по оценке помехоустойчивости кодека, предусмотренного стандартом DVB-S2, при котором кодер и декодер вида 8-PSK были реализованы на основе разработанных в дипломном проекте алгоритмов. Произведено моделирование работы кодека помехоустойчивого кодирования гауссовских каналов связи. Данное программное средство позволяют оценить возможность применения разработанных алгоритмов в сетях передачи данных, оценить влияние аддитивного белого гауссовского шума на помехоустойчивость сигнала, закодированного по схеме, где в качестве внешнего кодера используется кодер BCH, а в качестве внутреннего – кодер LDPC.

Таким образом, задачи, которые были поставлены перед началом проектирования, успешно реализованы.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[А-1] Леонтьева, О. А. Моделирование радиотракта с двухступенчатым помехоустойчивым кодированием в среде MATLAB / О. А. Леонтьева, А. Л. Хоминич // Современные средства связи: материалы XX Международной НТК, 14-15 октября 2015 г., г. Минск. – Минск.: УО ВГКС, 2015. – С. 99-100.