

На правах рукописи



Шагарова Анна Александровна

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ПОВЫШЕНИЯ
ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ АВИАЦИОННОЙ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ ДЕКАМЕТРОВОГО
ДИАПАЗОНА**

Специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ульяновск – 2016

Работа выполнена на кафедре «Телекоммуникации» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет»

Научный руководитель: **Гладких Анатолий Афанасьевич**,
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Овечкин Геннадий Владимирович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Вычислительной и прикладной математики» Рязанского государственного радиотехнического университета

Корсунский Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, главный специалист ФНПЦ АО «НПО «Марс», г. Ульяновск

Ведущая организация: ЗАО «Институт телекоммуникаций», 194199, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 5

Защита состоится 17 февраля 2017 г. в 12.00 на заседании диссертационного совета Д219.003.02 при Федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего образования «Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики» (ФГОБУ ВО ПГУТИ) по адресу: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого д. 23, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» и на сайте www.psuti.ru/science/diss-ob.

Автореферат разослан «____» _____ 201 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 219.003.02,
доктор технических наук, профессор



А.И. Тяжев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Представляемая диссертационная работа основана на исследованиях и разработках осуществляемых на кафедре «Телекоммуникации» ФГБОУ ВО УлГТУ под руководством заведующего кафедрой, заслуженного деятеля науки и техники РФ, д.т.н. профессора К.К. Васильева.

В ходе работы над диссертацией автор опиралась на труды Л.М. Финка, Л.Ф. Бородина, В.П. Шувалова, В.М. Охорзина, Д. Д. Кловского, В.И. Комашинского, В.Ф. Комаровича, В.Н. Рисухина, С.Н. Назарова и зарубежных авторов G. Clark, G.D. Forny, R.W. Hamming, W.W. Peterson, R.T. Chien, E.R. Berlekamp, J.L. Massey, I.S. Reed, G. Solomon, R.C. Bose, J.F. Mac Williams, R. Morelos-Zaragoza, B. Sklar, J.G. Prokis и др.

Актуальность исследования определяется возрастающими требованиями к системе дальней авиационной электросвязи на базе радиосредств декаметрового диапазона волн, которые в современных условиях наряду с голосовой связью все шире используется для организации обмена оперативными данным. Это вызвано увеличением парка авиационных средств, повышением протяженности маршрутов по океаническим трассам и по маршрутам приполярных широт, увеличением длительности беспосадочных перелетов, требованиям к резкому снижению временных затрат по доставке запасных частей и выполнением на этой основе оперативного технического обслуживания воздушных судов (ВС). Важность исследования подчеркивается необходимостью совершенствования систем двойных технологий.

Основные направления совершенствования современных и развития перспективных цифровых систем связи декаметрового диапазона обусловлены методами, направленными на повышение спектральной и энергетической эффективности таких систем. Известно, что отдельно каждое из указанных направлений характеризуется своими асимптотическими параметрами, но одновременное достижение предельных значений этих показателей эффективности оказывается невозможным. Поэтому поиск приемлемых компромиссов при оптимизации указанных характеристик и режимов функционирования цифровой радиосвязи декаметрового диапазона волн приобретает особую актуальность. Наиболее действенными из допустимых решений являются использование мягких методов декодирования двоичных кодов и совместное применение сигнально-кодовых конструкций в системе недвоичных помехоустойчивых кодов. Это позволяет не только уменьшить мощность передающих устройств с одновременной оптимизацией использования ограниченного частотного ресурса, но и решить задачу снижения сложности вычислительного процесса.

В настоящее время прослеживается устойчивая тенденция перехода от алгебраических методов декодирования помехоустойчивых кодов к более эффективным алгоритмам их обработки на основе итеративных преобразований и неалгебраических методов обработки данных, вплоть до попыток применения для их реализации нейросетевых базисов и когнитивных подходов. Это обеспечивает устойчивый процесс оптимизации технологий передачи данных

по сетям, в смысле роста их пропускной способности, поскольку переход от канонических алгебраических приемов повышения достоверности данных к мягким методам обработки принятых данных способствует повышению производительности дорогостоящих сетевых компонентов.

Степень разработанности темы. Методы повышения достоверности данных в системе авиационной электросвязи декаметрового диапазона активно разрабатывались Головиным О.В., Игнатовым В.В., Семисошенко М.А., Прохоровым В.И., Шаровым А.Н. применительно к технологиям двойного назначения. Определенный вклад в развитие данной предметной области внес Назаров С.Н., раскрывший особенности применения цифровых систем связи в гражданской авиации, за счет синтеза гибридной сети связи. В работах этих авторов применение средств помехоустойчивого кодирования рассматривалось в общих чертах без детализации особенностей мягких методов декодирования, как двоичных, так и недвоичных кодов.

Цель диссертационной работы является повышение энергетической эффективности систем обмена данными авиационной электросвязи на базе радиосредств декаметрового диапазона волн на основе новых алгоритмов мягкого декодирования избыточных кодов.

Для достижения цели решаются следующие задачи:

1. Анализ и выбор оптимальных схем помехоустойчивого кодирования, удовлетворяющих потребностям современной авиационной электросвязи декаметрового диапазона волн для обеспечения требуемого уровня достоверности данных, обрабатываемых в режиме реального времени.

2. Обоснование и разработка алгоритмов неалгебраического декодирования по спискам систематических недвоичных блоковых кодов на базе вычисления признака кластера и формирования на этой основе списка наиболее вероятных комбинаций, подлежащих дальнейшей обработке декодером. Получение сравнительных характеристик для рассмотренных методов, оценка возможности реализации.

3. Разработка численных методов формирования оценок надежности символов недвоичных кодов (НДК) для эффективной реализации методов мягкого декодирования таких кодов. Проверка статистических свойств оценок с использованием имитационных моделей каналов связи, характерных для декаметрового диапазона (ДКМ) авиационной электросвязи.

4. Исследование методов итеративных преобразований в структуре произведения кодов заданной размерности с системой синхронного накопления данных, а также в системе защиты символов номера кластера при использовании НДК.

5. Оценка на основе математического моделирования потенциальных возможностей предложенных алгоритмов декодирования многомерных произведений кодов с использованием целочисленных индексов мягких решений в условиях применения каналов связи ДКМ.

Объект исследования. Объектом исследования данной диссертационной работы является системы передачи данных авиационной электросвязи

декаметрового диапазона волн, работающей в режиме реального времени с заданным уровнем достоверности.

Предмет исследования. Алгоритмы мягкой обработки помехоустойчивых кодов с низкой сложностью реализации декодера.

Научная новизна исследования.

1. Предложен подход к решению задач повышения достоверности данных передаваемых в системе декаметрового диапазона авиационной электросвязи, учитывающий возможности многомерных кодовых конструкций, позволивший эффективно сочетать мягкие методы декодирования с системой итеративных преобразований двоичных и недвоичных кодов.

2. Разработана новая концепция выработки оценок надежности символов недвоичных кодов по результатам обработки двоичной информации в непрерывном канале связи для эффективной реализации методов мягкого декодирования таких кодов.

3. Предложен и исследован метод перестановочного декодирования двоичных избыточных кодов, учитывающий передовые технологии построения перестановочных декодеров двоичных кодов с применением элементов когнитивной обработки данных и позволивший существенно снизить время обработки принятых кодовых векторов

4. Предложен метод неравновесной защиты номеров кластеров в системе списочного декодирования НДК адаптивных систем обмена данными, обеспечивающий надежную защиты номера кластера в системе списочного декодирования комбинаций НДК.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость исследования заключается в строгом обосновании метода разбиения пространства кодовых комбинаций любых линейных помехоустойчивых кодов на кластеры, номера которых упорядочиваются лексикографически. При этом комбинации всех образованных кластеров подобны комбинациям базового кластера с номером ноль через систему ключевых кодовых векторов известных приемнику априори. Это позволяет осуществлять мягкое списочное декодирование линейных кодов с использованием единственного списка, а разработанные на этой теоретической основе алгоритмы обладают простой реализацией и могут быть применены при модернизации современной и разработке перспективной авиационной электросети реального времени.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач и достижения намеченной цели использованы методы системного анализа, математического моделирования, теории вероятности, теории информационных систем, численные методы, а также методы программирования. Математическое моделирование производилось с использованием пакетов прикладных программ Mathcad и MATLAB.

Положения, выносимые на защиту:

1. Новые модели формирования индексов надежности символов НДК в системе каскадных конструкций или произведения кодов с заданной размерности.

2. Доказательство базовой теоремы о преимуществе перестановочного декодирования двоичных блоковых кодов относительно иных схем мягкой обработки подобных кодов.

3. Новый алгоритм перестановочного декодирования двоичных блоковых избыточных кодов с применением элементов когнитивного подхода к обработке данных процессором приемника при оценки линейности переставленных матриц кода и формировании порождающих матриц эквивалентных кодов в систематической форме.

4. Сокращенный алгоритм итеративных преобразований данных в системе их синхронного накопления при обработке произведений кодов размерности 3D.

Результаты диссертационных исследований по исследованию комплексных методов и алгоритмов повышения достоверности данных в системе авиационной электросвязи декаметрового диапазона использованы в организациях:

1. Авиакомпания «Волга-Днепр».

2. Ульяновском институте гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева – при внедрении в учебный процесс по специальности курсантов (студентов) 25.05.05 – Эксплуатация воздушных судов и организация воздушного движения, специализаций: 25.05.05 .01 – Организация летной работы и 25.05.05.02 – Организация использования воздушного пространства.

3. Ульяновском государственном техническом университете – при внедрении в учебный процесс по направлению 11.03.02 в курсах «Общая теория связи» и «Теория кодирования и защиты информации».

Основные положения и результаты работы докладывались на следующих конференциях: научная сессия РНТО РЭС им. Попова, посвященная Дню радио, г. Москва (2010, 2011, 2012); Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь» – RLNC, г. Воронеж (2011,2012,2014,2016); Международный научный молодежный форум «Университетское образование: традиции и инновации», г. Ульяновск (2010); Международная научная конференция студентов, аспирантов, молодых ученых «Научный потенциал студенчества в XXI веке», г. Ставрополь (2010); Международной научно-практической конференции «Проблемы подготовки специалистов для ГА и повышения эффективности работы воздушного транспорта», г. Ульяновск (2010-2012); Всероссийском конкурсе научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области технических наук в рамках Всероссийского фестиваля науки, на конкурсе молодые ученые транспортной отрасли, г. Москва (2011).

Результаты работы опубликованы в 32 печатных трудах, в числе которых 6 статей в журналах, входящих в перечень ВАК, 26 трудов и тезисов докладов на Международных и Всероссийских научно-технических и научно-практических конференциях.

Вклад автора в разработку проблемы. Во всех работах и в том числе совместных работах по теме диссертации автору лично принадлежат постановка задачи и основной вклад в разработку новых алгоритмов

декодирования помехоустойчивых кодов и методов их реализации. Результаты данной диссертационной работы соответствуют пунктам 2, 8 и 10 паспорта специальности 05.12.13.

Структура, объем и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и 2 приложений, основной материал изложен на 136 страницах, списка использованных источников из 105 наименований. Диссертация содержит 32 рисунка и 17 таблиц. Общий объем диссертации 150 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, приведен обзор работ по теме диссертации, сформулирована цель и основные задачи исследования, описан состав и структура работы, определены ее практическая и научная ценность.

В первой главе осуществляется обзор возможностей современных средств связи декаметрового диапазона, используемых в авиационной электросвязи. Показано, что крупные авиакомпании, имеющие филиалы в различных странах и осуществляющих перевозки глобального масштаба в отношении организации связи формируются с отчетливыми признаками корпоративных систем. Подобные корпорации рассматриваются международной организацией гражданской авиации (ИКАО) как один из важнейших информационных потоков, который наряду с первичными и вторичными радиолокаторами будут составлять основу перспективных комплексов управления воздушным движением, включая варианты построения самоорганизующихся сетей заинтересованных участков воздушного движения.

Осуществляется анализ возможностей передачи данных существующих отечественных средств декаметрового диапазона «Арлекин-Д», «Бизон-2М», «Ядро 1», «Ядро 2», «Микрон», «Кристалл», используемых на воздушных судах различного класса. Показано, что в настоящее время основным назначением указанных средств связи является поддержание главным образом телефонной связи. В ближайшей перспективе такой подход не будет отвечать требованиям и возможностям развития автоматизированных циклов управления по поддержанию режимов передачи данных. Требование разработки таких протоколов определяются стандартом ARINC-168, поддерживающего не только передачу речи в аналоговой форме, а также передачу цифровых данных со скоростью 2400 бит/с, при этом используется самоуправляемый доступ к радиоканалу с которым использует CSMA. Показано, что комитетом ИКАО в интенсивных системах авиационной электросвязи рассматривается концепция различных версий VDL, отличающихся скоростью передачи информации, используемыми видами модуляции, протоколами доступа и потоком передачи данных.

На основе проведенного анализа делаются выводы по возможным направлениям совершенствования средств передачи информации в авиационной электросвязи, в частности передаче данных в ДКМ диапазоне.

Ставятся задачи на исследование в выбранной предметной области и оцениваются варианты подхода к защите данных в каналах ДКМ с использованием помехоустойчивых кодов.

Во второй главе рассматриваются аналитические и имитационные модели СОД модуляции построения систем с ДКМ, учитывающих наиболее вероятные комбинации взаимодействия передатчиков и приемников в условиях деструктивных факторов характерных для данного диапазона волн. Показано, что ДКМ диапазоне кроме двоичных видов модуляции использование сложных видов преобразования сигналов ограничивается системами с QPSK. На основе этого предложены модели стирающего канала связи, позволяющее не только повысить эффективность кодовых методов защиты данных, но и выработать мягкие решения символов (MPC) λ_i ($i = \overline{0,7}$) на длине вектора n_1 двоичного кода без знания статистических характеристик непрерывного канала связи. На этой основе разрабатываются имитационные модели выработки MPC в системах с двоичными видами модуляции, которые используются в численных процедурах формирования оценок надежности недвоичных кодов (НДК), используемых в составе каскадных конструкций (КК) в работе были изучены три различных подхода к формированию подобных оценок.

Во-первых, оценивалась эффективность процедуры с целевой функцией вида

$$Q\{F; M(\lambda); \sigma^2(\lambda)\} \Rightarrow \begin{matrix} \text{sign}(F) & \text{max} & \text{min} \\ F \rightarrow (pc) & |M(\lambda)| & \sigma^2(\lambda) \end{matrix}, \quad (1)$$

где F – выполнение четности для символов внутреннего кода КК; параметр $|M(\lambda)|$ – среднее значение кортежа мягких решений для символов внутреннего кода; $\sigma^2(\lambda)$ – показатель разброса MPC внутреннего кода, вычисляемого по правилу для оценки выборочной дисперсии. Итоги испытаний модели приведены на рисунке 1.

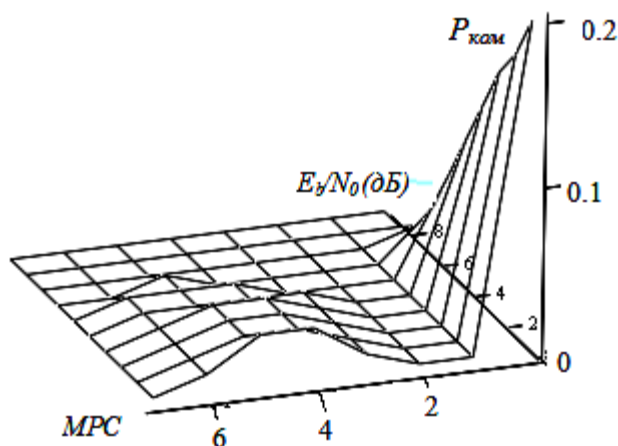


Рисунок 1 – Оценка ошибочной регистрации недвоичных символов

Испытания имитационной модели СОД с КК на основе кода РС над полем $GF(2^4)$ проводились для отношений сигнал-шум, определяемых как E_b/N_0 , в

диапазоне значений от 0 дБ до 10 дБ, где параметр E_b указывает на значение энергии сигнала, приходящейся на один бит, а N_0 – спектральная плотность гауссовского шума. Выборка в 10^6 недвоичных символов при испытании всех моделей обеспечивала требуемую статистическую погрешность полученных результатов. Установлено, что значения некоторых МРС при низких отношениях сигнал-шум хорошо коррелируют с ошибочными решениями. В явной форме это проявляется для параметров λ_4 и λ_5 . Поэтому подобные оценки (например, в процедуре Ченя) без дополнительных проверок следует применять с осторожностью. Для более тонкой классификации кортежа оценок надежности недвоичных символов в работе исследовались два метода, которые применяются в процедуре распознавания образов. Поэтому, во-вторых, исследованию подвергался метод пересечения, который обеспечивает сортировку символов НДК по убыванию. За эталонную комбинацию $n_{1\text{этал}}$ принималась комбинация, в которой все $\lambda_{i=7}$. Выражение процедуры оценки принятого вектора $n_{1\text{прин}}$ имеет вид

$$d_{\text{intersection}}(n_{1\text{этал}}, n_{1\text{прин}}) = \sum_{j=1}^{n_1} \min(n_{1\text{этал}}(j), n_{1\text{прин}}(j)). \quad (2)$$

В-третьих, исследовались особенности метрики Бхаттачария, широко используемой в системе формирования полярных кодов. Незначительным недостатком метода является соответствие ненадежных символов максимальной оценке и надежных символов минимальной оценке (сортировка по возрастанию). Аналитическое выражение процедуры имеет вид

$$d_{\text{Bhat}}(n_{1\text{эм}}, n_{1\text{нп}}) = \sqrt{1 - \sum_j \frac{\sqrt{n_{1\text{эм}}(j) \times n_{1\text{нп}}(j)}}{\sqrt{\sum_j n_{1\text{эм}}(j) \times \sum_j n_{1\text{нп}}(j)}}}. \quad (3)$$

Результаты испытаний имитационных моделей для отношения сигнал-шум равного 3 дБ представлены на рисунках 2 и 3.

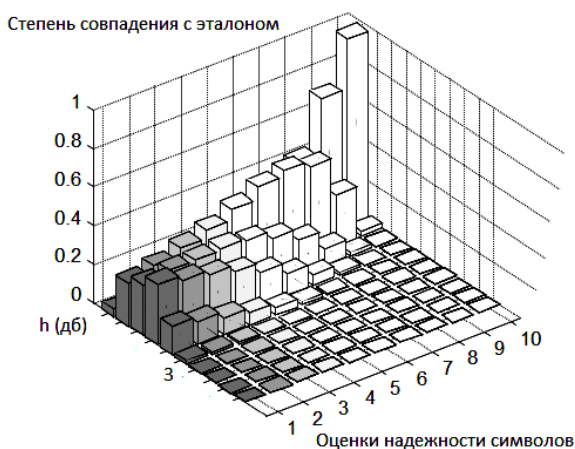


Рисунок 2 – Метод пересечения



Рисунок 3 – Метод Бхаттачария

Для практически значимых параметров отношения сигнал-шум заметна достаточно высокая контрастность оценок при использовании метрики Бхаттачария относительно метода пересечения. При снижении отношения сигнал-шум происходит перераспределение показателей количественных оценок, которое представлено на рисунках 4 и 5 (отношении сигнал-шум 0 дБ). Преимущество метода Бхаттачария по контрастности оценок сохраняется.

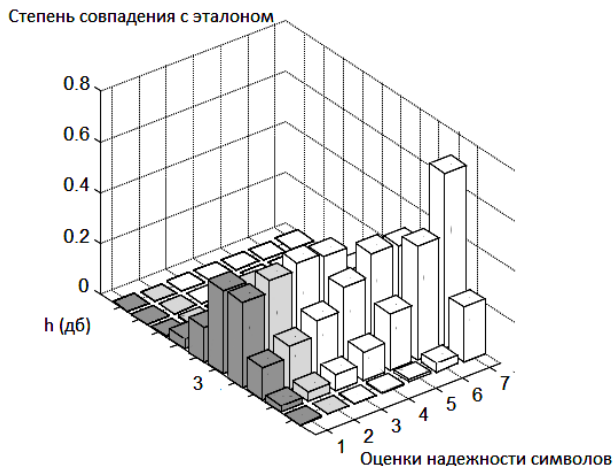


Рисунок 4 – Метод пересечения

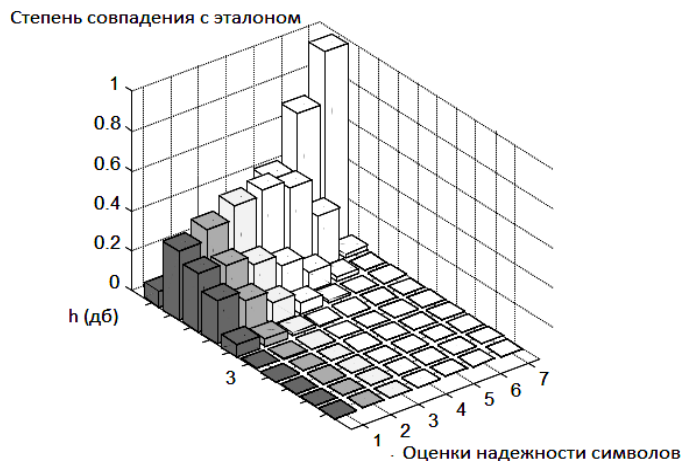


Рисунок 5 – Метод Бхаттачария

В работе предпочтение отдается методу Бхаттачария, но одновременно делается вывод о большей эффективности процедуры мягкого декодирования внутренних кодов каскадных конструкций по сравнению с мягким декодированием НДК.

Учитывая особенности передачи данных в системе авиационной электросвязи ДКМ диапазона особое внимание обращается на поиск рациональных методов построения систем связи с синхронным накоплением данных. На основании классических граничных оценок помехоустойчивых кодов, представленных на рисунке 6, даются рекомендации по формированию произведения кодов различной размерности, которые позволяют организовать передачу данных совместно с процедурой перемежения-деперемежения двоичных символов.

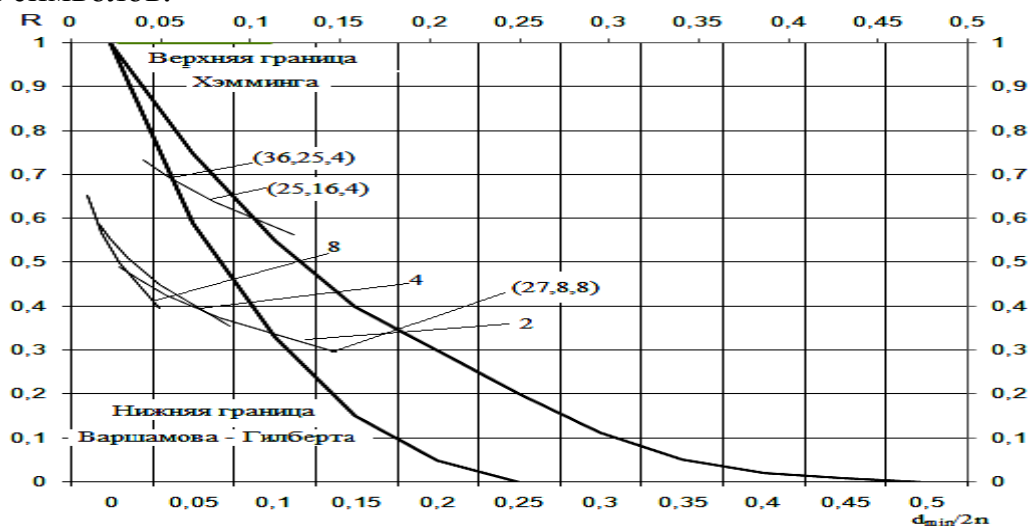


Рисунок 6 – Сравнительные характеристики кодов размерности 2D с единственной проверкой четности

Указанные границы показывают, что в среднем на одну проверку четности приходится от 3 до 5 символов, что сохраняет оптимальные характеристики таких кодов. Это позволяет эффективно использовать методы итеративных преобразований при повторах данных в условиях каналов ДКМ.

В третьей главе рассматриваются методы декодирования двоичных кодов. Сравнению подвергаются алгебраические методы, мягкие методы декодирования и их разновидности в формате кластерного (списочного) декодирования и перестановочного декодирования. Показано, что без учета сложности построения декодера для указанных методов обработки данных сохраняется соотношение по вероятности ошибочного декодирования комбинаций $P_{перест} < P_{кластер} < P_{мягк} < P_{алгебр}$. Показываются возможности трансформации перестановочного декодирования в систему когнитивного декодера, требующего увеличения памяти для фиксации непродуктивных перестановок порождающей матрицы исходного кода в матрицу эквивалентного кода. Множество МРС зафиксированных на длине n_1 принятого вектора V_{np} $\{\lambda_j\}$, где $j = \overline{1, n_1}$, ранжируются по убыванию, например, $\{\hat{\lambda}\} = (\lambda_3 \geq \lambda_{n_1} \geq \lambda_6 \geq \dots \geq \lambda_4)$, где $\lambda_3 = \lambda_{max}$, а $\lambda_1 = \lambda_{min}$. В переставленном векторе выбираются k левых разрядов с наиболее высокими значениями МРС (k – число информационных разрядов), которые с определенной вероятностью считаются принятыми верно. На основе указанной перестановки формируют матрицу перестановок P . С помощью коэффициента правдоподобия $K_{np}(h) = N_{\lambda_{np}} / N_{\lambda_{ош}}$, где $N_{\lambda_{np}}$ и $N_{\lambda_{ош}}$ – соответственно частота появления правильных и ошибочных жестких решений с конкретным значением МРС можно оценить вероятность ошибочного декодирования. Подобные показатели в работе оценивались методом имитационного моделирования. Результат моделирования представлен на рисунке 7. Как правило, $N_{\lambda_{np}} > N_{\lambda_{ош}}$, поэтому при относительно высоких отношениях сигнал-шум $K_{np}(h)$ резко возрастает и при $h = 1$ правильные оценки на 2,3 порядка превосходят ошибочные оценки такого же ранга, что повышает доверие к максимальным МРС.

Используя значения матрицы P , переставляют столбцы порождающей матрицы исходного кода G и приводят переставленную матрицу \hat{G} к систематической форме. После чего умножают выбранные k элементов на \hat{G} , получая безошибочный вектор эквивалентного кода $V_{экр}$. Умножая его на P^T , получают вектор $V_{пром}$ и, выполняя $V_{np} \oplus V_{пром} = E$, получают вектор ошибок, действовавший в канале связи. В работе предлагается на основе когнитивного принципа вырабатывать и запоминать значение P и соответствующее значение \hat{G} и извлекать их из памяти в случае появления соответствующего набора $\{\hat{\lambda}\}$.

В случае списочного декодирования по кластерам необходимо получать надежные МРС, которые должны следовать подряд. На рисунке 8 представлена оценка подобных событий для кода Хэмминга (7,4,3) и некоторых кодов БЧХ. В ходе моделирования рассматривались различные размерности номера

кластера и вероятность его восстановления по максимальным МРС. Увеличение символов в номере кластера, например, с двух до пяти, приводят к резкому снижению вероятности правильной идентификации номера кластера. Следовательно, целесообразна специфическая защита символов номера кластера, которая оказывается актуальной как для двоичной так и для НДК. Заметно, что длина комбинации номера кластера меньше значения k , но свойство группировки максимальных МРС для оценки номера кластера однозначно приводит к неравенству $P_{перест} < P_{кластер}$.

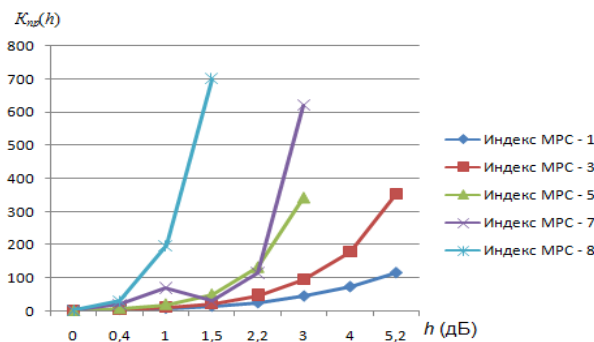


Рисунок 7 – Значение коэффициента правдоподобия

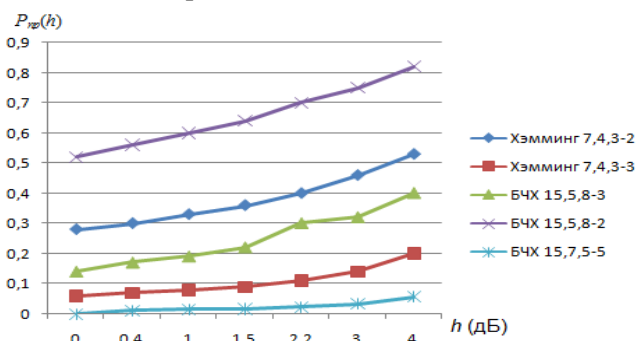


Рисунок 8 – Вероятность следования значений λ_{max} среди n_1 символов

На этой основе доказывается целесообразность использования в системе АЭС метода перестановочного декодирования на базе получения двоичных эквивалентных кодов, которые обеспечивают энергетический выигрыш от 2,1 дБ до 2,6 дБ при различных отношениях сигнал-шум.

Вероятность ошибки на комбинацию кода (7,4,3) представлены на рисунке 9, где 1 – без кодирования; 2 – исправление ошибки; 3 – исправление стираний; 4 – перестановочное декодирование. Вероятность ошибки на бит для кода (7,4,3), представлен на рисунке 10, где 1 – вероятность искажения комбинации при исправлении стираний; 2 – вероятность ошибки на бит при исправлении стираний; 3 – искажения комбинации при перестановочном декодировании; 4 – вероятность ошибки на бит при перестановочном декодировании.

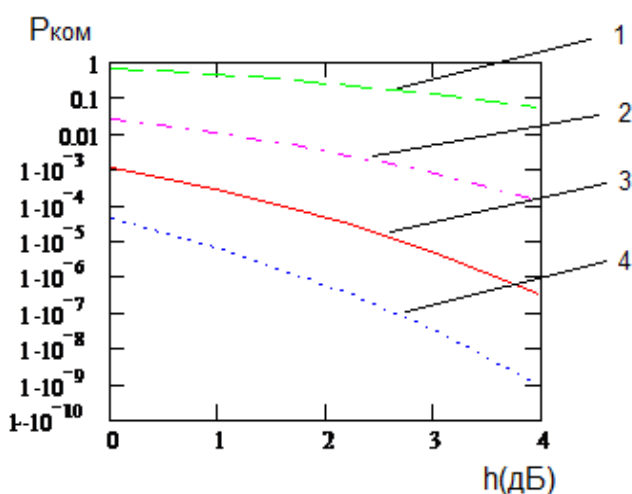


Рисунок 9 – Вероятность ошибки на комбинацию для кода (7,4,3)

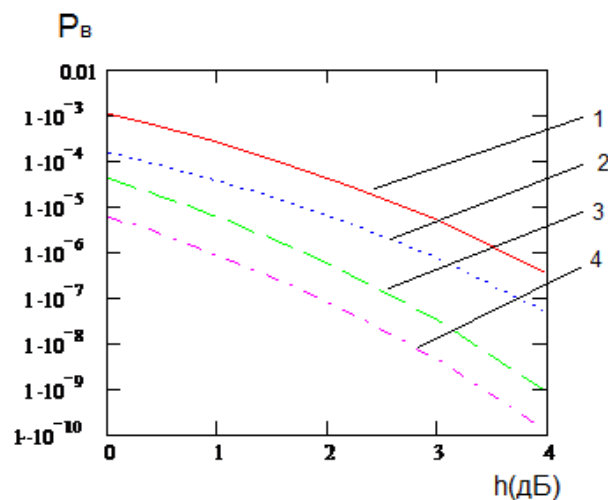


Рисунок 10 – Вероятность ошибки на бит для кода (7,4,3)

В четвертой главе исследуются комплексные методы повышения энергетической эффективности систем обмена данным за счет применения каскадных схем кодирования с использованием (НДК), изучаются методы построения произведений помехоустойчивых кодов различной размерности.

На основе свойств порождающей матрицы произвольного кода РС $G_{pc}(x)$, в которой при суммировании элементов столбцов получают вектор состоящий из примитивного элемента поля GF в нулевой степени доказывается возможность получения векторов, стоящих из примитивных элементов только одной степени. Исследуется вопрос перестановочного декодирования НДК. Показано, что применительно к таким кодам организация декодирования по принципу кластерного разбиения пространства кодовых комбинаций оказывается более предпочтительным, чем процедура поиска переставленной матрицы $G_{pc}(x)$, связанная с вычислением определителей матриц больших размерностей, выполняемых в недвоичном поле элементов.

Рассматриваются три основных алгоритма списочного декодирования НДК, дается оценка сложности реализации декодера. На основе полученных данных предложен алгоритм перестановочного декодирования таких кодов с простой процедурой поиска переставленной порождающей матрицей кода в систематической форме.

Приводится схема построения списочного декодера НДК РС на основе кластерного разбиения, в которой комплексно используются приемы мягкой обработки данных в непрерывном канале связи, система защиты номера кластера, итеративные преобразованием данных не только для внутреннего кода, но и для элементов вектора НДК, определяющих номер кластера.

В заключении формулируются основные результаты исследований.

1. Доказана недостаточная эффективность процедуры формирования оценок надежности недвоичных кодов при вычислении выборочного среднего и выборочной дисперсии значений мягких решений символов двоичного кода, когда максимум вероятности появления ошибочных символов коррелируют с высокими значениями их мягких решений.

2. Доказана целесообразность использования метода перестановочного декодирования двоичных кодов, обеспечивающего энергетический выигрыш для коротких блоковых кодов в пределах от 2,1 дБ до 2,6 дБ в зависимости от отношения сигнал-шум.

3. Показана перспективность применения системы перестановочного декодирования двоичных кодов относительно алгоритмов их списочного декодирования с использованием системы кластеров и классических схем мягкого декодирования таких кодов. Показано, что вычислительная сложность перестановочного декодера может быть снижена на пути применения элементов реализации когнитивных принципов в процедуре декодирования кодовых комбинаций.

4. Предложены и на основании статистических испытаний разработанных имитационных моделей изучены свойства методов распознавания образов применительно к выработке оценок надежности символов недвоичных кодов

для реализации процедуры Ченя и алгоритма Форни. Предпочтение отдается методу выработки оценок надежности недвоичных кодов, основанному на метрике Бхаттачария.

5. Осуществлен анализ методов адаптивной обработки недвоичных кодов РС, доказаны возможности синхронного накопления данных в условиях деградации параметров канала связи характерных для декаметрового диапазона волн используемого в авиационной электросвязи. Показана неприемлемость использования метода перестановочного декодирования для кода РС из-за сложности вычисления переставленной проверочной матрицы кода и приведения ее к систематической форме.

6. Доказана целесообразность декодирования недвоичных кодов методом кластеризации, предложены алгоритм работы подобного декодера и устройство его реализации. Доказана целесообразность восстановления номера кластера через систему итеративных преобразований недвоичных символов на базе Байесовского подхода.

Список публикаций

В издании, рекомендуемом ВАК РФ

1. Назаров, С.Н. Методы разнесенного приема в системах подвижной связи и широкополосного доступа / С.Н. Назаров, А.А. Шагарава // Автоматизация процессов управления. – Ульяновск, 2010. – №3(21). – С. 88–94.
2. Назаров, С. Н. Шумоподобные сигналы при дистанционном управлении радиостанцией по каналам дальней связи / С.Н. Назаров, А.А. Шагарава, А.И. Пятаков // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – Красноярск, 2011. – Выпуск 1(34). – С. 53–56.
3. Назаров, С.Н. Применение шумоподобных сигналов при передаче команд по каналам управления радиосвязи / С.Н. Назаров, А.А. Шагарава // Научный Вестник МГТУ ГА. – №164 (2). – С. 43–47.
4. Назаров, С.Н. Эффективность передачи информации по радиоканалам декаметрового диапазона в беспроводной сети авиационной электросвязи / С. Н. Назаров, А.А. Шагарава // Автоматизация процессов управления. – Ульяновск, 2011. – №3(25). – С. 72–76.
5. Шагарава, А.А. Методы повышения эффективности авиационной цифровой радиосвязи декаметрового диапазона / А.А. Шагарава // «Автоматизация процессов управления». – Ульяновск, 2016. – №2(25). – С. 72–76.
6. Гладких, А.А. Статистические свойства и особенности формирования мягких решений недвоичных символов избыточных кодов / А.А. Гладких, С.М. Наместников, Н.А. Пчелин, А.А. Шагарава // Автоматизация процессов управления». – Ульяновск, 2016. – №3(26). – С. 20–27.

Выборочный список основных публикаций в других изданиях

1. Назаров, С.Н. Реализация механизмов разнесенного приема в гибридной сети беспроводной передачи информации / С. Н. Назаров, А. А. Шагарова // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. М.Ф. Решетнева – № 3. – 2010. – С. 91–96.
2. Шагарова, А.А. Современное состояние и традиция развития сетей радиосвязи декаметрового диапазона / А.А. Шагарова // IV Международная научная конференция студентов, аспирантов, молодых ученых «Научный потенциал студенчества в XXI веке». – Т. 1. – Ставрополь, 2010. – С. 173–176.
3. Шагарова, А.А. Методика расчета эффективности декаметровой радиосвязи при разнесенном приеме // А.А. Шагарова, Т.В. Смирнова / Ульяновск : УВАУ ГА, 2010. – С. 208–210.
4. Назаров, С.Н. Предложение по применению сети радиосвязи ДКМ диапазона в авиационной электросвязи / С.Н. Назаров, А.А. Шагарова // XVII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь». – Т. 2. – Воронеж, 2011.
5. Шагарова, А.А. Методы разнесенного приема в системах подвижной связи // Вестник УлГТУ. – 2010. – №2. – С. 58–61.
6. Назаров, С.Н. Способы разнесенного приема широкополосного доступа в гибридных сетях беспроводной передачи информации / С.Н. Назаров, А.А. Шагарова // Сборник Трудов Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Сер. Научная сессия, посвященная дню радио выпуск LXV. – Москва, 2010. – С. 283–291.
7. Шагарова, А.А. Методика расчета эффективности декаметровой радиосвязи при разнесенном приеме / А.А. Шагарова, Т.В. Смирнова // Ульяновск : УВАУ ГА, 2010. – С. 208–210.
8. Шагарова, А.А. Применение разнесенного приема в радиосвязи декаметрового диапазона беспроводной авиационной электросети / А.А. Шагарова // Гражданская авиация: XXI век : сборник материалов III Международной молодежной научной конференции 12–13 апреля 2011 г., Ульяновск. – С. 172–173.
9. Назаров, С.Н. Совместное использование вынесенных зон ретрансляторов для обмена сообщениями с воздушными судами на различных авиатрассах / С.Н. Назаров, А.А. Шагарова // Сборник Трудов Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Сер. Научная сессия, посвященная дню радио. – Выпуск XIII-1, Москва, 2011. – С. 215–217.
10. Назаров, С.Н. Предложения по применению сети радиосвязи ДКМ диапазона в авиационной электросети / С.Н. Назаров, А.А. Шагарова

- // XVII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь». – Т. 2. – Воронеж, 2011. – С. 1219–1228.
11. Гладких, А.А. Эффективное применение средств помехоустойчивого кодирования в системе декаметрового диапазона авиационной электросвязи / А.А. Гладких, А.А. Шагарова // XXII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь». – Воронеж, 2016. – С. 147–154.
12. Программный комплекс формирования рекомендаций по развертыванию сети радиосвязи декаметрового диапазона для обеспечения управления воздушным транспортом авиационной компании / Ульяновское высшее авиационное училище гражданской авиации (институт), 05-11-10-п. Ульяновск, 2011. – С. 110.
13. Моделирование и разработка алгоритма разнесенного приема в гибридной сети беспроводной передачи информации авиационной электросвязи в системе управления воздушным движением 26-10-20-п (заключительный) / С.Н. Назаров и др. – Ульяновск : УВАУ ГА, 2010.

Шагарова Анна Александровна

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ПОВЫШЕНИЯ
ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ АВИАЦИОННОЙ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ ДЕКАМЕТРОВОГО
ДИАПАЗОНА**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 12.12.2016. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,00. Тираж 80 экз. Заказ № 425.
ФГОУ ВО «УИ ГА», 432027, г. Ульяновск, Можайского, 8/8.