

О Т З Ы В

**официального оппонента главного специалиста Федерального научного
производственного центра акционерного общества «Научно-
производственное объединение «Марс», кандидата технических наук,
Корсунского Андрея Сергеевича на диссертацию
Шагаровой Анны Александровны «Исследование методов и алгоритмов
повышения достоверности данных в системе авиационной электросвязи
декаметрового диапазона», представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13
«Системы, сети и устройства телекоммуникаций»**

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа А.А. Шагаровой посвящена проблемам мягкой обработки линейных помехоустойчивых кодов в целях повышения энергетической эффективности систем авиационной электросвязи на базе применения инновационных методов и алгоритмов неалгебраического декодирования таких кодов в каналах декаметрового диапазона.

Как известно, бортовые средства авиационной электросвязи играют важную роль в организации безопасности воздушного движения, взаимодействуют с различными автоматизированными системами управления воздушным движением, системами информационного обеспечения экипажей воздушных судов навигационной и метеорологической обстановкой и системами телекоммуникационных технологий, которые включают средства спутниковой, ультракоротковолновой (УКВ) и коротковолновой (КВ) связи. Каждое из указанных средств обладает своими достоинствами и недостатками. Например, средства УКВ–радиосвязи составляют основу комплексов автоматического зависимого наблюдения радиовещательного типа (АЗН-В). Естественно, подобные комплексы действуют на дальностях прямой видимости радиосредств в зоне аэропортов и крупных авиационных центров. С 2017 года системы АЗН-В требуют постоянной фиксации местоположения воздушных судов, с момента ввода в эксплуатацию воздушного судна и вплоть до его утилизации. Для этого создается специальная группировка спутниковых средств связи, в основе которой находятся аппараты Iridium второго поколения. Последнее обстоятельство является критичным для воздушных судов государственной авиации. Именно это обстоятельство выводит на первый план средства декаметрового диапазона волн для взаимодействия с наземными службами, поскольку у них имеется возможность выбора нескольких рабочих частот в отличие от систем АЗН-В, которые используют только одну рабочую частоту 1090 МГц со всеми вытекающими из этого проблемами.

Таким образом, тема диссертационной работы А.А. Шагаровой, посвященная разработке эффективных алгоритмов демодуляции сигналов с формированием мягких решений символов (MPC) двоичных кодов на базе модификации модели классического стирающего канала и с использованием полученных значений MPC для выработки оценок надежности недвоичных кодов в условиях действия неизвестных мешающих факторов, способствующих снижению вычислительных затрат в процессоре приемника, является *актуальной* как в теоретическом, так и в практическом плане.

Структура диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений общим объемом 150 страниц.

Во введении определена предметная область исследования, обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи работы, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту. Приводятся сведения об апробации результатов исследований.

В первой главе методически верно на основе обобщения известных методов оценки параметров радиоканалов ДКМ–диапазона, при их использовании для обмена дискретной информацией, делаются выводы о необходимости защиты обрабатываемых данных алгоритмическими и кодовыми методами. Анализируются различные возможности передачи данных с использованием отечественных средств связи указанного диапазона. Показано, что большинство воздушных судов отечественного производства оснащены тем или иным типом радиостанций, которые в значительной мере традиционно используются для обмена голосовыми сообщениями.

С учетом современных тенденций развития автоматизированных систем различного назначения, предназначенных для использования в авиационной электросвязи, а также требований к воздушным судам государственного назначения в главе развиваются принципы применения указанных средств для обмена данными.

Обобщая известные работы других авторов, работающих в данной предметной области, соискательницей приводятся аналитические соотношения для оценки вероятностей ошибок на бит и на комбинацию для различных условий состояния ионосферы и методов обработки данных в точке приема. Показано, что в наземных приемных радицентрах необходимо осуществлять разнесенный прием, а на борту из-за отсутствия возможности разнесенного приема – максимально использовать корректирующие возможности избыточных кодов в сочетании с методами перемежения/деперемежения символов и повтора данных. С учетом особенности каналов связи ДКМ–диапазона, показано преимущество классических видов модуляции перед сигнально-кодовыми конструкциями.

В заключительной части главы ставятся задачи исследования и оцениваются наиболее действенные пути достижения научных целей.

Вторая глава диссертации посвящена разработке и исследованию алгоритмов формирования МРС двоичных кодов и оценок надежности недвоичных кодов (НДК). Задача приобретает особый смысл в условиях применения каскадных конструкций на базе НДК типа Рида-Соломона. Для объективной оценки различных подходов к решению поставленной задачи автором работы разрабатываются различные имитационные модели, результаты испытаний которых позволяют судить о целесообразности применения того или иного решения на практике. Все математические модели строятся на базе лицензионного комплекса программ Matlab и Mathcad.

В результате исследований установлено, что формирование МРС в стирающем канале связи с широким интервалом стирания обеспечивает формирование индексов двоичных символов, адекватных условиям приема. Однако использование МРС двоичных символов для оценки надежности символов НДК с применением выборочного среднего и выборочной дисперсии по кортежу бит, составляющих символ НДК, не отвечает требованиям адекватности оценки условиям приема. Автор работы справедливо видит проблему в системе усреднения оценок МРС и для ухода от такого метода формирования оценок предлагает использовать метод распознавания образов. Изучаются два метода: метод пересечения и метод Бхаттачария.

В главе приводятся соответствующие аналитические выражения для реализации указанных методов и основные результаты испытаний имитационных моделей. На основе испытаний показано, что метод пересечения не обеспечивает получения монотонных характеристик по оценкам надежности в широком диапазоне отношений сигнал-шум, что отрицательно сказывается на процедуре декодирования комбинаций НДК. Метод Бхаттачария обеспечивает монотонность оценок, но требует более сложной реализации вычислительного процесса.

По итогам главы делается один из главных выводов диссертационной работы: основной результат по мягкому декодированию каскадных конструкций должен решаться на этапе декодирования внутреннего кода.

Третья глава в работе занимает особое место, поскольку развивает метод перестановочного декодирования на базе когнитивной процедуры обработки данных. Это стало возможным благодаря тому, что автором работы подмечена особенность классического перестановочного декодера, заключающаяся в повторении трудоемких вычислительных действий по поиску порождающих матриц эквивалентных кодов даже в том случае, если конкретное сочетание надежных номеров столбцов порождающей матрицы уже встречалось в работе декодера.

В диссертации предлагается запоминать как положительные, так и отрицательные решения декодера по обработке сочетаний номеров столбцов, которые формируются в ходе оперативной работы декодера. Следовательно, при повторении подобных сочетаний столбцов, например в следующих сеансах работы декодера, не возникает необходимости вновь вычислять

параметры переставленной матрицы эквивалентного кода в систематической форме. Это означает, что подобные сочетания номеров столбцов матрицы исходного кода можно генерировать заранее, что определяет суть режима обучения декодера. Таким образом состояния декодера до оперативной работы и режима обучения отличаются от его состояния после выполнения названных действий степенью заполнения когнитивной карты этого устройства.

Применение перестановочного декодера однозначно обеспечивает энергетический выигрыш в системе связи, поскольку декодирование двоичного кода выполняется за пределами метрики Хэмминга.

В четвертой главе основное внимание уделяется описанию алгоритмов списочного декодирования недвоичных кодов и кодов-произведений. Оценивается энергетический выигрыш в таких системах, даются рекомендации по формированию структурных схем декодеров и применению дополнительных действий при реализации режима декорреляции ошибок. Описываются новые методы итеративных преобразований данных, характерные для НДК.

В заключении диссертационной работы подводятся окончательные итоги.

В приложениях приводятся результаты имитационного моделирования систем и структурная схема декодера НДК, обладающая новизной технического решения.

Название диссертации верно отражает ее содержание, а ее материалы достаточно полно изложены в научных публикациях автора. Основные результаты диссертации опубликованы в 6 статьях изданий из перечня ВАК, а также ряде тезисов докладов научных конференций различного уровня.

Новизна исследований и полученных результатов

В качестве научной новизны результатов, полученных автором, можно отметить следующее:

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

2. Разработана новая концепция выработки оценок надежности символов НДК 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 комбинаций.

4. Преложен метод неравновесной защиты номера списка в системе списочного декодирования НДК адаптивных систем обмена данными, обеспечивающий надежную защиту номера кластера.

Практическую значимость полученных результатов составляет реализация возможностей перестановочных декодеров с использованием когнитивных подходов, что открывает новые возможности при декодировании блоковых избыточных кодов, включенных в систему когнитивного «радио».

Обоснованность полученных результатов обеспечивается строгим учетом закономерностей алгебраической теории групп, колец и полей, детальным анализом матричных преобразований и выполнением требований к формированию параметров имитационных моделей, позволяющих получить статистически достоверные данные в ходе испытаний.

Структура и составные части диссертации выстроены логично и увязаны по смыслу.

Значимость результатов для науки и практики

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, что позволяет осуществлять мягкое списочное декодирование линейных кодов с использованием единственного списка, а разработанные на этой теоретической основе алгоритмы обладают простотой реализации и могут быть применены при модификации современных и разработке перспективных информационно-управляющих комплексов реального времени.

Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждается соответствующими актами о внедрении основных результатов диссертации в ООО «Авиакомпания «Волга-Днепр» (г. Ульяновск); Ульяновском институте гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева – при внедрении в учебный процесс по специальности курсантов (студентов) 25.05.05 – «Организация летной работы» и специальности 25.05.05.02 – «Организация использования воздушного пространства»; 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».

Замечания по диссертационной работе

1. В первой главе неполно выполнен обзор существующих и используемых в настоящее время на практике моделей двоичных непрерывных каналов связи и возможностей исследования на их основе

закономерностей формирования мягких решений символов для декодирования используемых избыточных кодов.

2. Из материала второй главы не совсем понятно, каким образом могут быть сформированы индексы достоверности недвоичных символов в системе сигнально-кодовых конструкций. Формирование подобных оценок может носить более продуктивный характер, чем их выработка на основе МРС двоичных символов.

3. По итогам исследования имитационных моделей распознавания образов в процедуре выработки оценок надежности символов недвоичных кодов приведены данные только для кодов с тривиальной проверкой четности. Не ясны причины отсутствия проверок статистических свойств оценок при использовании избыточных кодов с минимальным расстоянием, превосходящим значение «два».

4. Изложение материала параграфа 4.2 носит избыточный характер, а в пункте 2 заключения не обозначен режим работы декодера, относительно которого определен указанный в этом пункте энергетический выигрыш, получаемый за счет применения перестановочного декодера.

5. Замечен ряд стилистических ошибок: отдельные специфические авиационные аббревиатуры, особенно в первой главе на страницах 21, 22, 23, 24 приведены без их расшифровки, что затрудняет чтение материала. На странице 31, в выражении 1.4, размерность физической величины «дБ» оказалась под знаком корня. Параметр h_0^2 (по сути отношение сигнал-шум) введен в текст диссертации на 31-й странице, а его толкование дано только на 34-й странице работы.

Заключение

Отмеченные недостатки и вынесенные замечания не влияют на общую оценку диссертации. Она представляет собой законченную работу, содержащую обоснованное теоретическое и практическое решение задачи разработки научно-технических основ обеспечения эффективного функционирования систем авиационной радиосвязи декаметрового диапазона волн.

Таким образом, диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны и изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит большой вклад в развитие авиационной электросвязи и теории кодирования избыточных кодов с позиций новых решений, базирующихся на особенностях когнитивных процессов.

Тема диссертации соответствует специальности 05.12.13 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций». Основные результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в 32 научных трудах, из которых 6 статей опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Представляемая к защите работа полностью удовлетворяет требованиям к кандидатским диссертациям, которые установлены «Положением о порядке

присуждения ученых степеней...» ВАК России, а ее автор, Шагарова Анна Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Официальный оппонент
главный специалист Федерального научного производственного центра
акционерного общества «Научно-производственное объединение «Марс»
кандидат технических наук

Корсунский Андрей Сергеевич

А.С. Корсунский

«27» января 2017 г.

Подпись главного специалиста ФНПЦ АО «НПО «Марс»,
кандидата технических наук, А.С. Корсунского заверяю

Ученый секретарь Ученого совета
ФНПЦ АО «НПО «Марс»

Т.Н. Масленникова

«27» января 2017 г.