

**ЗАКРЫТОЕ  
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ИНСТИТУТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ»**

ул. Кантемировская, д.5,  
Санкт-Петербург, 194100  
тел. (812) 740-77-07, факс 740-77-08  
[office@itain.spb.ru](mailto:office@itain.spb.ru)  
ОКПО 59452298,  
ОГРН 1027801538600  
ИНН/КПП 7802199182/780201001

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор

ЗАО «Институт телекоммуникаций»

доктор технических наук, профессор

С. П. Присяжнюк

«   » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу Шагаровой Анны Александровны, выполненной на тему «Исследование методов и алгоритмов повышения достоверности данных в системе авиационной электросвязи декаметрового диапазона», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

**Актуальность темы научного исследования**

С борта современного воздушного судна возможно ведение связи по спутниковым каналам, в системе ультракоротковолновой радиосвязи и в системе декаметрового диапазона волн.

Развитие парка воздушных судов различного класса и назначения, повышение интенсивности эксплуатации воздушных судов и длительности беспосадочных перелетов, прокладка новых воздушных трасс в приполярных широтах и над районами с малой плотностью населения, повышение плотности загрузки авиарейсами большинства современных аэропортов и, как следствие, развития средств автоматизации управлением воздушным движением привели к повышению требований к бортовым системам радиосвязи, играющих главную роль в авиационной электросвязи по направлениям «Земля – борт» и обратно. С развитием средств малой авиации и беспилотных летательных аппаратов возникают новые задачи в области авиационной электросвязи для обеспечения

взаимодействия подобных воздушных судов и аппаратов в ограниченной зоне воздушного пространства.

Среди автоматизированных комплексов следует в первую очередь отметить системы ADS-B (Automatic dependent surveillance-broadcast), предоставляющие пилотам в кабине самолета и диспетчерам на наземном пункте возможность оценивать трафик движения воздушных судов с большей точностью, чем это осуществляется в системах вторичной локации. Система позволяет в реальном времени выводить на дисплей экипажа воздушного судна аэронавигационную информацию, что значительно расширяет осведомленность экипажей воздушных судов о погодных условиях и способствует повышению безопасности полетов.

Указанная система работает только в УКВ диапазоне и только на одной частоте, что является недостатком с точки зрения организации связи, поскольку во избежании коллизий такая связь требует разнеса во времени сообщений, поступающих от разных воздушных судов на одном временном интервале и естественно требует радиоканалов прямой видимости. Однако более важным и скрытым недостатком представленной системы является принудительное ежесекундное информирование с борта воздушного судна наземных служб о своих координатах.

Очевидно, что по своим показателям устойчивости, скрытности и др. подобная система категорически не удовлетворяет требованиям, предъявляемым в государственной авиации или авиации силовых ведомств. Для решения аэронавигационных задач (особенно при выполнении зарубежных полетов) целесообразно использовать спутниковые системы, имеющие свои недостатки при организации связи в приполярных широтах или системы декаметрового диапазона волн. При использовании последних недостаточно изучены вопросы передачи данных и защиты их от разнообразных мешающих факторов.

В этой связи тема диссертационной работы Шагаровой А.А., направленной на повышение эффективности систем обмена данными при организации авиационной электросвязи в декаметровом диапазоне волн на основе новых

алгоритмов мягкого декодирования помехоустойчивых кодов, является актуальной. Работа приобретает особое значение, поскольку эффективному управлению бортами государственной авиации в настоящее время уделяется пристальное внимание в силу глобализации воздушных трасс и возможностей организации дальних беспосадочных перелетов.

**Во введении** определена предметная область исследования, обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи работы, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Приводятся сведения об апробации и реализации результатов исследований.

**В первой главе** анализу подвергаются проблемы авиационной цифровой электросвязи, рассматриваются пути разрешения возникающих противоречий на основе новых достижений в области организации такой связи, учитывающей сетевые структуры наземных служб и возможности организации приема данных, поступающих с борта воздушного судна, на нескольких приемных центрах. Совершенно очевидно, что качественный прием данных на борту в основном ложится на оконечные устройства, поскольку организация разнесенного (пространственно) приема данных практически исключается.

В главе рассматриваются различные подходы к организации именно наземных служб, представляется тренд востребованности связи ДКМ диапазона (по данным зарубежных компаний) при условии реализации новых технических решений в организации указанной связи. В ходе анализа рассматриваются достоинства и недостатки всех трех видов связи (спутниковые системы, системы УКВ диапазона и системы ДКМ диапазона). Справедливо подчеркивается, что все отечественные воздушные суда, в том числе и малой авиации, имеют на борту радиосредства ДКМ диапазона.

Интерес вызывает обобщенный материал, представляющий направления совершенствования систем обработки данных на базе когнитивных принципов. В последующих главах это направление развивается на примере построения перспективных декодеров помехоустойчивых кодов. Соискатель предлагает рассматривать работу средств исследуемого диапазона волн комплексно,

рассматривая помехоустойчивое кодирование как часть когнитивной системы. Анализу подвергается когнитивный цикл воздушной трассы, косвенно указывая на возможности эффективного использования достоинств систем с предварительно программируемыми частотами.

На основании анализа предметной области делаются выводы по главе.

**Во второй главе** автором работы рассматриваются методы повышения спектральной и энергетической эффективности передачи цифровой информации, учитывающих особенности организации связи в декаметровом диапазоне волн. Для этого разрабатываются аналитические и имитационные модели каналов связи с различными видами модуляции, оцениваются возможности применения в исследуемых системах сигнально-кодовых конструкций. Предпочтение отдается мягким методам декодирования данных, в связи с чем изучаются различные подходы к решению задачи формирования мягких решений символов двоичных кодов. На основании аналитического моделирования процессов, происходящих в каналах декаметрового диапазона волн авиационной электросвязи, доказываемая целесообразность использования именно двоичных систем модуляции, обеспечивающих максимальное Евклидово расстояние.

Предлагается использовать известный метод стирающего канала связи с широким интервалом стирания для формирования мягких решений и оценивать эффективность метода при различных отношениях сигнал-шум коэффициентом правдоподобия, что дает объективное представление о возможностях метода в конкретных сложившихся условиях приема данных на борту воздушного судна.

Отдавая предпочтение двоичным видам модуляции, автор работы исследует возможности формирования оценок надежности символов недвоичных кодов. Для этого изучаются возможности формирования таких оценок в некоторых видах сигнально-кодовых конструкций, при этом рассматриваются и анализируются подходы к реализации кодов произведений различной размерности. Предпочтение отдается каскадным конструкциям на основе недвоичных кодов Рида-Соломона. Важно отметить, что эффективность предлагаемых конструкций композиций

избыточных кодов изучаются с использованием классических границ для помехоустойчивых кодов.

Предлагаются различные варианты использования итеративных преобразований данных на борту, способствующих повышению достоверности принятых данных.

В работе убедительно доказывается, что использование мягких решений двоичных символов для выработки оценок надежности символов недвоичного кода в каскадных конструкциях не является оптимальным. Выясняются причины этого явления и в этой связи исследуются иные подходы к решению этой задачи. На основе имитационных моделей изучается два метода, часто используемых в системах распознавания образов: метод пересечения и метод Бхаттачария. Доказывается эффективность последнего. Делается вывод о том, что в системе каскадных конструкций основные усилия по формированию оценок надежности символов недвоичных кодов необходимо выполнить на этапе обработки внутреннего кода.

**Третья глава** в работе по своей научной значимости занимает центральное место. Автор работы проводит исследование методов декодирования двоичных кодов на основе реализации алгоритмов декодирования избыточных блочных кодов с использованием упорядоченных статистик. Рассматриваются варианты построения декодеров таких кодов с использованием преобразований исходного кода к некоторому эквивалентному коду, что позволяет найти вектор ошибок, действовавший в канале связи при передаче конкретной комбинации кода. Суть заключается в том, что при реализации такого подхода двоичных код в большинстве случаев реализует свойство максимальной декодируемости кода, которое в явном виде проявляется только в системе недвоичных кодов. Развитие алгоритмов перестановочного декодирования в работе является логическим продолжением выводов, вытекающих из исследований, проведенных во второй главе.

Однако автор работы в своих исследования определяет слабое место в алгоритмах перестановочного декодирования, заключающееся в большом объеме

матричных вычислений в ходе поиска порождающей матрицы эквивалентного кода в систематической форме. Указанное условие является необходимым в реализации перестановочного декодирования. Описанные действия повторяются раз за разом, даже если происходит повтор кодовых векторов, что является высоковероятным событием.

Новаторский подход в диссертационной работе заключается в том, что в процедуру перестановочного декодирования вводится когнитивный процесс. Декодер предлагается «обучить» распознавать варианты перестановок и по ним из базы данных извлекать готовые образцы порождающих матриц эквивалентных кодов, что сокращает время поиска нужного вектора эквивалентного кода. Это происходит за счет исключения из алгоритма действий по вычислению определителя переставленной матрицы, вычислений по поиску собственно переставленной матрицы и действий приведения переставленной матрицы в систематическую форму. Следовательно, декодер в отсутствие оперативной работы можно обучить распознавать по конкретным перестановкам результаты положительного или отрицательного исхода в процедуре формирования комбинаций эквивалентного кода. Предложенный алгоритм является новым, позволяющим реализовать в большинстве случаев корректирующие возможности именно двоичных блоковых кодов за пределами метрики Хэмминга.

**В четвертой главе** рассматриваются различные методы декодирования недвоичных кодов Рида-Соломона, которые являются основой выбранных автором работы каскадных конструкций. Даются общие рекомендации по трансляции методов перестановочного декодирования двоичных кодов на аналогичную процедуру декодирования указанного типа недвоичных кодов. Показываются трудности в реализации подобных алгоритмов и ставится задача на дальнейшее исследования методов перестановочного декодирования в системе недвоичных кодов. Основная трудность заключается в построении декодера, осуществляющего все операции в расширенных полях Галуа. Поэтому автор диссертационной работы развивает методы лексикографического (по сути списочного) декодирования подобных кодов.

Предлагается по номеру кластера ограничивать список комбинаций входящих в него и подлежащих дальнейшей обработке, для чего номер кластера обеспечивается более надежной защитой. Вводится понятие неравновесной защиты отдельных символов недвоичного кодового вектора, которые определяют номер кластера. Конкретный алгоритм, обладающий новизной технического решения, приведен в Приложении В к работе.

В заключении даются общие выводы по работе.

**Научная новизна** результатов исследования определяется тем, что:

1. Предложен подход к решению задачи 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 самолетов 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 недвоичных кодов адаптивных систем обмена данными, обеспечивающий надежную защиту номера кластера в системе списочного декодирования комбинаций недвоичных кодов.

**Достоверность полученных результатов** определяется корректностью используемого математического аппарата, основанного на методах теории вероятностей и математической статистики, теории оптимального приема сигналов в стохастических каналах связи, алгебраической теории групп, колец и

полей. Аналитическое и имитационное моделирование проводилось с использованием языков программирования высокого уровня.

Структура и основные разделы диссертационной работы логично выстроены и взаимосвязаны, что отвечает требованиям системного подхода к исследованию поставленной научной задачи. Материалы диссертации и автореферата в литературном и профессиональном отношении, за редким исключением, изложены грамотно, язык изложения доказательный. Оформление диссертации соответствует предъявляемым требованиям. Опубликованные работы отражают содержащиеся в диссертации научные результаты, а также основные аспекты их практической реализации. Автореферат диссертации отражает основные положения диссертационной работы.

**Практическая значимость** результатов исследований составляют новый подход к реализации метода перестановочного декодирования двоичных блоковых кодов с применением когнитивной процедуры обработки данных, позволяющей сократить время поиска вектора эквивалентного кода и реализовать введенную в код избыточность за пределами метрики Хэмминга.

Предложен новый алгоритм списочного декодирования недвоичных кодов Рида-Соломона, отличающийся новизной технического решения и позволяющий реализовать списочное декодирование кодовых векторов в системе сокращенного списка, что дает выигрыш по сложности реализации декодера и времени обработки данных.

Разработанные автором алгоритмы декодирования блоковых систематических кодов могут быть реализованы программно-аппаратным способом с использованием отечественных средств микроэлектроники. Полученные данные рекомендуется использовать также в учебном процессе в ВУЗах страны по направлениям подготовки «Общая теория связи», «Радиотехника», «Теория помехоустойчивого кодирования», «Телекоммуникации» и «Защита информации».



## **Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по диссертационной работе**

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, в ней получены значимые теоретические и практические результаты, работа выполнена соискателем самостоятельно. Вместе с тем, к диссертационной работе имеются следующие замечания:

- из материалов диссертации неясно, насколько (например, по числу элементарных операций) сокращается время обработки данных или объем вычислений в системе перестановочного декодирования двоичных кодов при введении процедуры когнитивной обработки данных (раздел 3.2 диссертации);

- не указан алгоритм обработки данных, относительно которого в работе определялся энергетический выигрыш кода, представленный в пункте 2 заключения по диссертации;

- в работе нет четких указаний по построению алгоритмов итеративных преобразований символов недвоичных кодов, представляющих часть оригинального алгоритма декодирования таких кодов;

- отдельные фрагменты диссертационной работы не вычитаны, например на странице 78 диссертационной работы даются ссылки на выражение (4) и рисунок 6, которые в диссертации отсутствуют, видимо текст страницы скопирован и вставлен в диссертационную работу из публикации автора; замечен повтор формул, характеризующих систему итеративных преобразований: выражение (2.9) на странице 69 и выражение (4.1) страница 104 диссертации; замечен ряд стилистических ошибок: страница 64 «...1024x 1024 бит, что составляет 1 Кбит», что составляет естественно 1 Мбит, страница 77 на рисунке 3.2 приведен код БЧХ (15,5,8), который не существует, есть код БЧХ (15,5,7).

Однако отмеченные недостатки не оказывают решающего влияния на оценку работы.

**Выводы:**

1. На основе изучения диссертации и автореферата, можно заключить, что представленная диссертационная работа выполнена на актуальную тему и является законченным научным трудом. В ней получено новое решение научной задачи повышения достоверности данных в авиационной электросвязи декаметрового диапазона.

2. По степени актуальности, глубине проработки научной задачи, теоретической и практической значимости полученных результатов диссертационная работа полностью отвечает требованиям раздела II «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Шагарова Анна Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Диссертация рассмотрена, обсуждена и одобрена на расширенном заседании научно-исследовательского отдела-1, протокол № 2 от 30 января 2017 года.

И.о. начальника НИО-1  
кандидат технических наук, доцент

Георгий Ревмирович Овчинников

Научный секретарь  
кандидат технических наук

Михаил Юрьевич Аванесов