

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.233.05
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»,
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 15 марта 2016 г. № 3/16
о присуждении Акмалходжаеву Акмалу Илхомовичу, гражданину
Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование эффективных алгоритмов
декодирования турбокодов в системах мобильной связи»

по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства
телекоммуникаций»

принята к защите 23 декабря 2015 года, протокол № 5/15,
диссертационным советом Д 212.233.05 на базе Федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения», Министерство образования и науки
Российской Федерации, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская,
д.67, приказ №741/нк от 08.07.2015 г.

Соискатель Акмалходжаев Акмал Илхомович, 1985 года рождения,
гражданин Российской Федерации, окончил с отличием Государственное
образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения» в 2007 году, в 2010 году окончил аспирантуру в
Государственном автономном образовательном учреждении высшего
профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный

университет аэрокосмического приборостроения». Работает техническим специалистом в ООО "Квантенна Комьюникейшенз".

Диссертация выполнена на кафедре безопасности информационных систем Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Министерство образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, Крук Евгений Аврамович, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», проректор по научной и инновационной деятельности.

Официальные оппоненты:

1. Зяблов Виктор Васильевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждения науки "Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук" (ИППИ РАН), лаборатория №3 «Информационных технологий передачи, анализа и защиты информации», заведующий лабораторией;

2. Трифонов Петр Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», кафедра «Распределенных вычислений и компьютерных сетей», доцент;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Закрытое акционерное общество «Проектно-конструкторское бюро «РИО», г. Санкт-Петербург, в своем **положительном** заключении, подписанном Шатским Николаем Ивановичем, кандидатом технических наук, начальником научно-технического центра РГАС, и утвержденном Доценко Сергеем Михайловичем, доктором технических наук, профессором, заместителем генерального директора - главным

конструктором, указали, что диссертационная работа Акмалходжаева А.И. представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Диссертация отвечает критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 № 842, а ее автор, Акмалходжаев Акмал Илхомович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 3 статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень ВАК, и 3 статьи в изданиях из перечня «Scopus». Получены акты о внедрении результатов диссертационной работы от двух организаций: ЗАО «ИКТ» и ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». В работах, опубликованных вместе с соавторами, личный вклад соискателя состоял в разработке методов и алгоритмов и непосредственном проведении экспериментальных исследований. Соавторам принадлежат консультации при написании работы. Общий объем научных изданий составляет 5,5 печатных листов.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Акмалходжаев, А.И. Новый алгоритм списочного декодирования турбокодов / А.И. Акмалходжаев, А.В. Козлов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. — 2013.— № 8 (56).— С. 20-23.
2. Акмалходжаев, А.И. Совместный списочный декодер турбокода и вокодера AMR-NB для сетей четвертого поколения / А.И. Акмалходжаев // Информационно-управляющие системы. СПб.: ГУАП — 2014.— № 2 (69). — С. 63-70.
3. Akmalkhodzhaev, A.I. New iterative turbo code list decoder / A.I. Akmalkhodzhaev, A.V. Kozlov // XIV International Symposium

"Problems of Redundancy in Information and Control Systems". — 2014. — P. 15-18.

4. Akmalkhodzhaev, A.I. Joint decoding of turbo code and AWR-WB vocoder in 3GPP LTE system / A.I. Akmalkhodzhaev // 6th International Congress on Ultra-Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). — 2014. — P. 402-406.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы из 8 организаций (все отзывы положительные):

1. ООО «НОКИА СОЛЮШНЗ ЭНД НЕТВОРКС» (подписал руководитель проектной группы ООО «НСН», кандидат технических наук, Анисимов А.В.). Замечания: **1)** результаты работы приводятся на примере передачи голосовых данных. Однако, доля голосовых данных в структуре передаваемого трафика в современных сетях составляет всего несколько процентов, поэтому было бы интересно посмотреть на результаты на примере передачи видео (которое занимает более 50% от всего объема передаваемых данных); **2)** не приводится информации о влиянии предлагаемых модификаций на энергопотребление устройства, что является достаточно важным аспектом в случае с мобильными терминалами.

2. АО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры» (подписал начальник НИС АО «ВНИИРА», доктор технических наук, профессор И.А. Вельмисов). Замечания: **1)** отсутствует процедура уменьшения размерности списка для оконной версии списочного декодера турбокода; **2)** отсутствуют пояснения к графикам, описывающим улучшение качества речи от использования предложенных алгоритмов декодирования; **3)** отсутствуют результаты оценки избыточности на выходе вокодеров в сети 3GPP LTE.

3. АО «Концерн радиостроения «ВЕГА» филиал в г. Санкт-Петербурге (подписали ведущий научный сотрудник Филиала «Концерн радиостроения «ВЕГА» в г. Санкт-Петербурге, доктор технических наук, профессор Оков И.Н. и ведущий научный сотрудник Филиала «Концерн радиостроения «ВЕГА» в г. Санкт-Петербурге, доктор технических наук,

профессор Устинов А.А., утвердил директор СПбФ АО «Концерн «ВЕГА», кандидат технических наук, старший научный сотрудник Прищепа Ю.В.). Замечания: **1)** в данной работе полагается, что использование перемежения в предлагаемых алгоритмах декодирования гарантирует их работу в условии модели канала АБГШ, что представляется спорным; **2)** в предложенном алгоритме совместного декодирования турбокода и цифрового речевого сигнала используется априорное знание статистических характеристик элементов речевого кадра и приведены результаты для русскоязычной речи, однако известно, что эти статистики существенно зависят от языка, психоэмоционального состояния и возраста говорящего, что вызывает определенные трудности при реализации такого алгоритма в современных международных телекоммуникационных сетях.

4. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (подписал профессор кафедры вычислительной техники Университета ИТМО, доктор технических наук, профессор А.Ю. Тропченко). Замечания: **1)** указано, что предложенный списочный декодер в ряде случаев позволяет перевести качество принимаемой речи из класса «удовлетворительно» в класс «хорошо» по шкале MOS. Однако, чем определяются данные классы в автореферате не указано; **2)** в основных результатах работы указано, что проведен анализ избыточности данных на выходе вокодеров для русской речи. Однако из автореферата не ясно как влияет принадлежность к той или иной языковой группе на производительность предложенных алгоритмов.

5. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича» (подписали проректор по научной работе СПбГУТ, кандидат технических наук, доцент К.В. Дукельский и начальник отраслевой научно-исследовательской лаборатории передачи дискретной информации СПбГУТ кандидат технических наук, старший научный сотрудник М.Я. Лесман). Замечания: в автореферате

практически отсутствует описание анализа сложности предположенных алгоритмов и не ясно рассматривается ли эта проблема в диссертационной работе.

6. ООО «ЦРТ-инновации» (подписал главный научный сотрудник ООО «ЦРТ-инновации», доктор технических наук, Матвеев Ю.Н.). Замечания: **1)** в автореферате не хватает сравнения сложности реализации предложенного алгоритма и группы алгоритмов декодирования по проверочной матрице; **2)** среди представленных ограничений для использования совместного декодирования турбо-кодов и кода источника указывается использование шифрования. Возникает вопрос о доле незашифрованных данных, передаваемых в современных системах связи. Настолько ли актуально совместное декодирование при широком распространении шифрования? **3)** в тексте присутствуют опечатки, например: «не смотря на то, что», «не достаточно».

7. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина) (подписал профессор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина), доктор технических наук, профессор Падерно П.И.) Замечания: **1)** изложение первого раздела в автореферате в таких объемах (почти 2 страницы) представляется излишним; **2)** в начале автореферата обозначены 4 основных результата, обладающие новизной, а в конце автореферата результатов становится 6; **3)** в разделе «Научная новизна» п. 3 изложен не очень корректно, так как получается, что разработанный алгоритм ..., учитывающий ..., значительно снижает эффективность известных алгоритмов, что не совсем понятно, так как он должен их заменить; **4)** в автореферате утверждается, что предложенные алгоритмы обладают задержкой «приемлемой для практического использования», в отличие от других алгоритмов списочного декодирования, но отсутствует численный анализ задержки для предложенных алгоритмов;

5) отсутствует сравнение алгоритмов из 2-го и 3-го разделов для случая речевого кодирования LTE, рассматриваемого в 3-ем разделе.

8. ФГБОУ ВПО «Норильский индустриальный институт» (подписала заведующая кафедрой Информационных систем и технологий ФГБОУ ВПО «Норильский индустриальный институт», кандидат технических наук, профессор Фомичева С.Г.). Замечания: **1)** оценка эффективности предлагаемого в диссертации алгоритма списочного декодирования проводилась лишь в классе турбокодов. Однако в работах G. Forney, T.J. Richardson, R.L. Urbanke, MacKay D., Зяблова В.В., Пинскера М.С. и других было показано, что с ростом длины некоторые LDPC-коды (коды с малой плотностью проверок на четность) могут превосходить турбокоды, обеспечивая высокую степень исправления ошибок при весьма малой сложности их декодирования, и приближаются к пропускной способности канала с аддитивным белым гауссовским шумом. В частности М.С. Пинскер и В.В. Зяблов показали, что сложность декодирования LDPC-кода составляет порядка $n \log n$. Какова вычислительная сложность предлагаемого автором работы списочного декодера в автореферате не указано, что затрудняет оценить предпочтительность разработанного алгоритма по сравнению с подоптимальными декодерами LDPC-кодов на конкретных их длинах; **2)** в автореферате нет упоминаний, из каких соображений выбирается глубина списка декодирования L ; **3)** из автореферата неясно, используется ли полностью параллельная и частично параллельная архитектура декодера турбокодов. В приложениях, где требуемая пропускная способность не превышает 1-2 Гб/с (например, в протоколах беспроводной связи), предпочтительной является частично-параллельная архитектура. В таком случае, действительно, наилучшим вариантом оказывается турбодекодер, пропускная способность которого оказывается достаточной, а качество работы выше, чем у других декодеров среди кодов с малой плотностью проверок на четность.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации

обосновывается их достижениями в области помехоустойчивого кодирования и беспроводных систем передачи данных и наличием соответствующих публикаций, в том числе в ведущих журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией при Минобрнауки России. Выбор ведущей организации ЗАО «ПКБ «РИО» обосновывается тем, что данная организация разрабатывает новейшие средства и комплексы связи, принимает активное участие в выполнении проектов и поставок средств и комплексов связи в обеспечение программ отечественного и экспортного кораблестроения. При этом компания использует собственные научные разработки, подтвержденные патентами РФ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны алгоритм списочного декодирования турбокода, который позволяет увеличить вероятность успешного декодирования принятых данных и повысить скорость передачи информации в системах мобильной связи; алгоритм совместного декодирования турбокода и избыточности на выходе кодера источника, который позволяет уменьшить вероятность ошибочного декодирования информационного слова в беспроводных системах связи;

предложены метод ускорения процесса списочного декодирования турбокодов на основе разбиения решетки сверточного кода на сегменты; алгоритм совместного декодирования турбокода и речевых кодеков AMR-NB и AMR-WB в сетях стандарта 3GPP LTE, позволяющий увеличить качество передачи речи;

предложены и исследованы параметры работы системы 3GPP LTE, при которых целесообразным является использование списочного или совместного декодирования турбокода для увеличения эффективности работы сети;

доказана эффективность совместного декодирования в современных сетях мобильной связи в случае наличия значительного числа некоррелированных бит в структуре информационного слова.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны научные положения, вносящие вклад в расширение существующих методик повышения эффективности декодирования турбокодов, а также обоснована необходимость учета особенностей передачи данных в современных сетях мобильной связи;

применительно к проблематике диссертации результативно и эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов использованы методы теории кодирования, теории информации и теории вероятностей;

изложены идеи и методы комплексного подхода к повышению эффективности систем передачи данных, использующих турбокоды;

раскрыты особенности применения списочного и совместного декодирования кода канала и избыточности на выходе кодера источника при проектировании приемника;

изучена избыточность на выходе речевых кодеков семейства AMR для мужской и женской русской речи, которая позволяет повысить корректирующую способность декодера канала;

проведена модернизация архитектуры декодера турбокода и приемника в сетях мобильной связи.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены алгоритмы списочного декодирования турбокодов, и алгоритмы совместного декодирования турбокода и речевых кодеков в системе 3GPP LTE, которые были использованы ЗАО «ИКБ» в рамках проектов «On LTE turbo decoding performance improvement» и «VoLTE Quality Improvement and Non-intrusive Evaluation» для увеличения эффективности работы сетей 3GPP LTE, результаты исследования используются также в

учебном процессе Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения в нескольких дисциплинах;

определены перспективны практического использования алгоритмов списочного и совместного декодирования в сетях стандарта 3GPP LTE;

создана система практических рекомендаций по учету особенностей передачи данных в задаче совместного декодирования в сетях мобильной связи;

представлены методы и технические решения для дальнейшего повышения эффективности работы мобильных сетей с использованием предложенных алгоритмов и методов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с использованием имитационного моделирования для реальных речевых данных и согласуются с имеющимися практическими результатами в данной области;

теория построена на основе собственных исследований и согласуется с известными литературными данными;

идея базируется на анализе и обобщении передовых результатов отечественных и зарубежных учёных;

использованы методы теории кодирования, теории вероятностей, теории информации и компьютерное моделирование;

установлено наличие качественного и количественного соответствия результатов, полученных в работе, с результатами независимых источников по тематике работы;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в выявлении проблемы и непосредственном выполнении всех этапов исследования; постановке задач исследования; планировании теоретических исследований и экспериментов; обработке данных и анализе полученных результатов, обобщении результатов в виде научных выводов и рекомендаций; получении и обработке

исходных данных и результатов моделирования; подготовке основных публикаций по выполненной работе; внедрении новых научных результатов в научные, учебные и промышленные предприятия; апробации результатов исследования.

На заседании 15 марта 2016 года диссертационный совет принял решение присудить **Акмалходжаеву Акмалу Илхомовичу** ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 10 докторов наук по специальности 05.12.13, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 18, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя диссертационного совета Д 212.233.05
доктор технических наук, профессор



Бестугин Александр Роальдович

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.233.05
кандидат технических наук, доцент



Овчинников Андрей Анатольевич

«15» марта 2016 года

