

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.02 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) (МАИ)» ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК
КАЗАЧКОВА ВИТАЛИЯ ОЛЕГОВИЧА**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «21» апреля 2015, протокол № 11

О присуждении Казачкову Виталию Олеговичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Идентификация и оценка параметров сигнала стандарта LTE» по специальности 05.12.13 - «Системы сети и устройства телекоммуникаций» принята к защите 17 февраля 2015 г., протокол № 7 диссертационным советом Д 212.125.02 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), Министерство образования и науки РФ, 125993, Волоколамское шоссе, д.4, г. Москва, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.02 - № 714/нк от 02.11.12г.

Соискатель Казачков Виталий Олегович, 1989 года рождения,

В 2012 году окончил Московский авиационный институт (государственный технический университет) (МАИ) по специальности «Средства связи с подвижными объектами».

С 2012 по 2015 год обучался в очной аспирантуре в ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), кафедра 408 «Инфокоммуникации».

Работает с 2012 г. в должности младшего научного сотрудника, а с 2015 г. в должности инженера в ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), кафедра 408 «Инфокоммуникации».

Диссертация выполнена на кафедре 408 «Инфокоммуникации» ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры 408«Инфокоммуникации», **Важенин Николай Афанасьевич**, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ).

Официальные оппоненты:

Дворкович Александр Викторович, доктор технических наук, ООО «Научно-производственная фирма САД-КОМ», генеральный директор;

Мартынов Владимир Иванович, доктор технических наук, открытое акционерное общество «Интеллект Телеком», главный специалист департамента радиотехнологий;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ОАО Московский научно-исследовательский институт радиосвязи, г. Москва в своем положительном заключении, подписанном Шатиловой Екатериной Алексеевной, генеральным директором ОАО «Московский научно-исследовательский институт радиосвязи» (МНИИРС), Нестеровым Александром Викторовичем, председателем научно-технического совета ОАО «МНИИРС», Ковалевым Валентином Николаевичем, кандидатом технических наук, ученым секретарем научно-технического совета ОАО «МНИИРС», Железновым Игорем Григорьевичем, доктором технических наук, профессором, членом научно-технического совета ОАО «МНИИРС», указала, что тема работы является актуальной и востребованной, результаты работы являются достоверными новыми научными знаниями. В отзыве подчеркнута практическая ценность работы, заключающаяся в возможности применения предложенных алгоритмов и методик в реальных телекоммуникационных системах (когнитивное радио, программно-определяемое радио и т.д.), отмечен факт внедрения результатов в ОАО «Радиотехнический институт имени академика А. Л. Минца». Также отмечено, что диссертация представляет собой самостоятельную завершенную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Казачков Виталий Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 - «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 7 работ, из которых 3 опубликованы в изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ. Общий объем публикаций 53 печатные страницы. В данных работах изложены

вопросы исследования метода определения полосы сигналов стандарта Long Term Evolution по циклическому префиксу в каналах с замираниями, реализации синхронизации по сигналам Задова-Чу в стандарте LTE для канала с замираниями, метода оценки отношения сигнал/шум сигнала Long Term Evolution в условиях идеальной и неидеальной символьной синхронизации и исследования влияния ошибок символьной синхронизации на точность методов определения текущего отношения сигнал/шум по циклическому префиксу в OFDM системах.

Основные научные работы по теме диссертации:

1. Казачков В.О. Исследование метода определения полосы сигналов стандарта Long Term Evolution по циклическому префиксу в каналах с замираниями // Интернет-журнал «Науковедение», №6 (25) 2014. <http://naukovedenie.ru/PDF/200TVN614.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

2. Казачков В.О. Исследование реализации синхронизации по сигналам Задова-Чу в стандарте LTE для канала с замираниями // Интернет-журнал «Науковедение», №1 (26) 2015. <http://naukovedenie.ru/PDF/39TVN115.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

3. Казачков В.О. Исследование метода оценки отношения сигнал/шум сигнала Long Term Evolution в условиях идеальной и неидеальной символьной синхронизации // Интернет-журнал «Науковедение», №1 (26) 2015. <http://naukovedenie.ru/PDF/40TVN115.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- от ведущей организации ОАО «Московский научно-исследовательский институт радиосвязи», отзыв положительный;

- от официального оппонента, Дворковича Александра Викторовича доктора технических наук, генерального директора ООО «Научно-производственная фирма САД-КОМ», отзыв положительный;

- от официального оппонента, Мартынова Владимира Ивановича, доктора технических наук, главного специалиста департамента радиотехнологий ОАО «Интеллект Телеком», отзыв положительный;

- от начальника научно-исследовательского отдела по радиоэлектронному оборудованию № 8307 Инженерного центра «ОКБ им. А.И. Микояна» Акционерного общества «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ» Дорофеева Евгения Леонидовича, отзыв положительный;

- от ведущего инженера ООО «Топкон Позиционинг Системз» Ионов Игорь Александровича, отзыв положительный;

- от начальника отдела 5131 АО «Концерн «Созвездие» , к.т.н. Алехина Сергея Юрьевича, отзыв положительный;

- от и.о. заведующего кафедрой «Радиотехнических приборов и антенных систем» ФГБОУ ВПО НИУ «Московский энергетический институт», д.т.н., профессора Баскакова А.И. отзыв положительный;

-от профессора кафедры «Радиоэлектронные средства» ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет», д.т.н., Прозорова Дмитрия Евгеньевича, отзыв положительный;

- от заведующего лабораторией моделирования и проектирования архитектур специальных вычислительных систем ФГБОУ ВПО «Московский физико-технический институт» , д.т.н., профессора, Дроздова Александра Юльевича, отзыв положительный;

- от начальника отдела 0231 ОАО «НПП «Радар ммс», д.т.н., доцента, Кирпанева Алексея Владимировича , отзыв положительный;

- от начальника НИО-8, ПАО «Радиофизика», к.т.н., профессора Козлова В.Н. , отзыв положительный;

- от генерального директора ООО «Технологии Радиосвязи» Бобкова Владимира Юрьевича, отзыв положительный;

- от начальника отдела 113 ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», д.т.н., Красного Владимира Петровича, отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационной работы, дан краткий обзор работы, отмечены новизна и достоверность полученных результатов, а также их практическая значимость. Отмечено, что: разработанная методика автоматического распознавания LTE сигнала обеспечивает вероятность правильной идентификации не менее 85% при отношении сигнал/шум от -5 до 30 дБ на фоне АБГШ и замираний; разработанная методика определения полосы сигнала стандарта LTE обеспечивает вероятность правильной оценки не менее 85% при отношении сигнал/шум от -5 до 30 дБ на фоне АБГШ и замираний; предложенная методика определения отношения сигнал/шум в полосе сигнала по циклическому префиксу, обеспечивает СКО оценки не более 0.11 дБ в диапазоне значений отношения сигнал/шум от -5 до 30 дБ; предложенная методика вычисления корреляционной функции для последовательностей Задова-Чу позволяет добиться снижения вероятности ложного определения максимума корреляционной функции до 18% при наличии частотной отстройки до 7.5 кГц при отношении сигнал/шум 0 дБ на фоне АБГШ и замираний. При отсутствии частотной

отстройки методика превосходит по точности известные при отношении сигнал/шум менее 12 дБ и позволяет снизить вероятность ложного определения максимума корреляционной функции до 15%; модифицированная методика идентификации вида фазовой модуляции (ФМ) на поднесущих для сигнала стандарта LTE обеспечивает вероятность правильной идентификации не менее 99% при SNR до -5 дБ для ФМ-2 и не менее 99% для ФМ-4 при SNR до 0 дБ.

В поступивших отзывах имеются следующие замечания:

1. Для рассматриваемых методов идентификации и оценки параметров сигнала стандарта LTE не приведено сравнение с границей Рао-Крамера.
2. Часть рассматриваемых методик исследована на основе имитационной модели на фоне АБГШ, при этом воздействие замираний не рассматривалось.
3. При имитационном моделировании каналов с замираниями результаты представлены для случая отсутствия эквалайзера. Однако, результаты имитационного моделирования для случая применения эквалайзера представляются более интересными в силу их большей практической значимости.
4. Утверждение о субоптимальности методов идентификации цифровой модуляции на основе распознавания образов и оптимальности методов на основе принятия решений (п. 1.1) не обосновано.
5. В диссертации не соблюдается единообразно обозначение. Например, дискретное преобразование Фурье в различных местах называется ДПФ, БПФ, DFT, FFT. Смешаны русскоязычные обозначения модуляции (ФМ-2, ФМ-4, КАМ-16, КАМ-64) и англоязычные (BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM).
6. В формуле (1.4) имеется ошибка в указании пределов суммирования для вычисления P_U . Не указано, какие величины обозначены символами f_c , f_s (формула 1.4) и $a_{сн}$ (формула 1.5). Не приведены формулы для определения величин $a_{сн}$ и $f_N(i)$ для формул (1.5)-(1.9).
7. Литературный обзор методов идентификации и оценки параметров сигналов (Глава 1) следовало бы сделать более развернутым.
8. Достоинства технологии OFDM, описанные на стр. 13, сформулированы нечетко и относятся не к технологии в целом, а к ее применению в стандарте LTE.
9. Неверно указана причина высокого значения пик-фактора сигнала OFDM (стр. 13-14).
10. Неверно указано количество поднесущих в каналах LTE (в начале стр. 17), при этом ниже, в табл. 2.2, количество поднесущих указано верно. В табл. 2.2 имеются 2

строки с названием «Ширина канала, МГц». Понятие «Защитные поднесущие» (табл. 2.2) не применяется.

11. В формулах (2.2) и (2.3) имеется опечатка в начальном индексе суммирования (стр. 24, 25).

12. Текст программы, приведенный на стр. 25-30, следовало привести в приложении.

13. Рисунки 2.15, 2.16 (стр. 34) неинформативны. Также неинформативна часть рисунков главы 5 (например, рис.5.3 на стр. 76, рис. 5.13 на стр. 83, рис. 5.24 на стр. 87).

14. В описанной имитационной модели не указаны блоки моделирования многолучевых каналов распространения. Не указана методика определения отношения сигнал/шум для таких каналов.

15. При описании имитационного моделирования работы алгоритма определения полосы сигнала (стр. 42) не указано, почему использовался ограниченный набор параметров модели сигнала LTE.

16. Не описана методика определения достоверности получаемых оценок (стр. 43, 68).

17. На приводимых графиках экспериментально полученных зависимостей (например, рис. 3.4-3.9, рис. 4.6-4.10) следовало бы указывать разброс результатов измерений.

18. В диссертации не указано, зачем необходимо оценивать параметры сигнала LTE при очень низких (например, отрицательных) значениях отношения сигнал/шум, когда сам сигнал заведомо не может быть демодулирован и декодирован.

19. Упомянутый в п. 3.2 (стр. 48) и использованный метод вычисления длительности информационного символа требует достаточно подробного описания.

20. Предложенный и описанный в главе 3 алгоритм, названный «алгоритмом автоматического распознавания сигнала LTE», позволяет установить соответствие принимаемого сигнала ряду параметров, характерных для сигнала LTE, а не строго идентифицировать этот сигнал.

21. При вычислении сигнала $S'(p)$ (формула 4.2) можно обойтись без двойного преобразования Фурье, выполнив свертку спектров сигналов S и S_1 .

22. Условие «идеальной работы системы синхронизации» (стр. 66) сделало бы предлагаемый метод практически неприменимым. Видимо, имеется в виду определенная точность синхронизации.

23. При имитационном моделировании предложенного метода оценки отношения сигнал/шум (стр. 69) рассмотрена только целочисленная ошибка временной синхронизации и не рассмотрена частотная расстройка.

24. Для повышения достоверности предложенных методов следовало бы провести моделирование их работы на сигналах, отличных от LTE.

25. К диссертации следовало бы приложить акты о внедрении. В работе также имеется ряд синтаксических и орфографических ошибок и опечаток.

26. Не рассмотрены алгоритмы фильтрации принимаемого сигнала и эквалайзинга.

27. В двух отзывах отмечено, что из текста автореферата не ясно, из каких соображений выбираются пороговое значение и количество интервалов для предложенной методики определения полосы сигнала стандарта LTE и какие значения данных параметров были использованы для представленной в автореферате зависимости.

28. В диссертации установлено, что для решения поставленной задачи целесообразнее использовать методы на основе теории распознавания образов, при этом для разработанных методик не приведено сравнение с методиками другого класса: на основе теории принятия решений.

29. Для модифицированного метода идентификации вида модуляции на поднесущих сигнала не ясен физический смысл предлагаемого преобразования сигнала.

30. Некоторые рисунки (7, 8) достаточно мелкие, что делает затруднительным восприятие их содержимого.

31. В двух отзывах отмечено, что автореферате не указан объем выборки, необходимый для обеспечения заданной точности полученных в работе результатов моделирования. Также не рассмотрен вопрос быстродействия процесса идентификации сигнала стандарта LTE.

32. В двух отзывах указано следующее: не ясно поддерживают ли разработанные алгоритмы и методики возможность работы с LTE сигналом в режиме MIMO.

33. В автореферате не описано, возможно ли применение разработанных методик для систем с ортогональным частотным мультиплексированием в целом.

34. В автореферате не отражен вопрос, связанный с оценкой быстродействия предложенных методик и алгоритмов, а также не описаны требования к необходимой вычислительной мощности устройств, реализующих разработанные алгоритмы.

35. В данной диссертационной работе предложен итерационный алгоритм идентификации сигнала стандарта LTE. При этом не указано, не обеспечит ли выполнение идентификации в два этапа проигрыш с точки зрения быстродействия в сравнении с аналогами и если да, то насколько.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области, а ведущая организация - одной из передовых организаций, занимающейся радиосвязью.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработан** алгоритм автоматического распознавания LTE сигнала.
- **разработана** методика определения полосы сигнала стандарта LTE. На имитационной модели в ходе анализа экспериментальных данных показана эффективность данной методики при наличии помех в канале.
- **разработана** методика определения отношения сигнал/шум в полосе сигнала по циклическому префиксу.
- **исследовано** влияние ошибок символьной синхронизации на точность разработанной методики определения отношения сигнал/шум в полосе сигнала по циклическому префиксу.
- **предложена** методика вычисления корреляционной функции для последовательностей Задова-Чу. Методика обеспечивает более высокую точность вычисления максимума корреляционной функции при наличии шума в канале и частотной отстройки в сравнении с известными методами.
- **доказана** эффективность применения предложенных алгоритмов и методик для идентификации и оценки параметров сигналов стандарта LTE даже при низких значениях отношения сигнал/шум.
- новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказано**, что циклический префикс может использоваться не только для борьбы межсимвольной интерференцией и выполнения процедуры символьной синхронизации, но и для идентификации и оценки полосы сигнала стандарта LTE.
- применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** метод на основе распознавания образов;
- **изложены** возможности решения в стандарте задач по идентификации и оценке параметров сигнала без использования опорных сигналов;
- **раскрыта** зависимость точности методики определения отношения сигнал/шум от ошибок синхронизации;

- **изучены** основные особенности стандарта LTE, на основе которых возможна идентификация сигнала;

- **проведена модернизация** математической модели методики идентификации вида модуляции на поднесущих для сигнала стандарта LTE, обеспечивающая высокую вероятность точной идентификации ФМ-2 и ФМ-4 сигналов даже при низких значениях отношения сигнал/шум.

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

- **разработаны и внедрены** программные реализации предложенных алгоритмов и методик идентификации и оценки сигналов стандарта LTE;

- **определены** направления практического использования предложенных алгоритмов и методик идентификации и оценки сигналов стандарта LTE в системах когнитивного радио, программно-определяемого радио, в адаптивных системах, пассивных радиоизмерительных системах и т.д.;

- **создана** комплексная модель эффективного применения теории распознавания образов для идентификации и оценки параметров сигналов стандарта LTE, модель реализована в виде программно-алгоритмического комплекса;

- **представлены** рекомендации по дальнейшему развитию направления исследования.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для экспериментальных работ был проведен анализ характеристик модели и успешная верификация имитационной модели генератора сигнала стандарта LTE.

- **теория** подтверждается результатами сравнительного анализа с существующими решениями задач подобного рода, результаты имитационного моделирования подтверждают точность разработанных алгоритмов и методик;

- **идея базируется** на разработке математических моделей, методик и алгоритмов для идентификации и оценки параметров сигнала стандарта LTE на основе априорной информации о структуре и характеристиках такого сигнала;

- **использовано** обоснованное сравнение авторских данных и полученных ранее по рассматриваемой тематике;

- **установлено** совпадение авторских результатов с результатами независимых источников;

- **использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в разработке и исследовании представленных в работе алгоритмов и методик идентификации и оценки параметров сигнала стандарта

LTE - а именно, автоматического распознавания LTE сигнала, методика определения полосы, определения отношения сигнал/шум, вычисления корреляционной функции для последовательностей Задова-Чу, идентификации вида модуляции на поднесущих. Представленные в работе имитационные модели и программно-алгоритмическое обеспечение выполнены лично автором. Лично автором выполнена подготовка публикаций по представленной работе.

Диссертационный совет отмечает, что диссертационная работа Казачкова Виталия Олеговича является законченным научным исследованием, в котором решена актуальная научно-техническая задача идентификации и оценки параметров сигнала в сетях телекоммуникаций стандарта LTE и соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

На заседании «21» апреля 2015 года диссертационный совет принял решение присудить Казачкову В.О. ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 1.

Председатель
диссертационного совета Д 212.125.02
д.т.н., профессор

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.125.02
к.т.н., доцент



В. А. Шевцов

А. М. Петраков

21.04.2015