

## О Т З Ы В

официального оппонента Дворковича Александра Викторовича на диссертацию Казачкова Виталия Олеговича «Идентификация и оценка параметров сигнала LTE», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

### **Актуальность избранной темы**

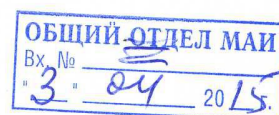
Телекоммуникационные системы играют все возрастающую роль в жизни современного общества. Внедрение систем мобильной связи четвертого поколения, к которому относятся системы LTE, позволяет абонентам широкие возможности по работе с мультимедийным контентом, делая доступными услуги, предоставляемые ранее только в фиксированных системах связи. Это объясняет востребованность систем LTE и взрывной рост производства аппаратуры для нее.

В то же время методы и алгоритмы обработки сигналов LTE, реализуемые в этой аппаратуре, не являются оптимальными как с точки зрения помехоустойчивости, так и с точки зрения вычислительной сложности. Разработка новых методов и алгоритмов цифровой обработки сигналов LTE позволит существенно улучшить качество сервисов, получаемых абонентом сотовой связи.

В связи с бурным развитием элементной базы и ее производительности становятся реально востребованными системы программно-определяемого радио (SDR) и когнитивного радио (CRS), в которых распознавание, демодуляция и декодирование сигналов осуществляется программным способом.

Разработка алгоритмов надежного распознавания и оценки параметров сигналов в сложных условиях, связанных с многолучевостью распространения и значительным уровнем шумов, позволит значительно расширить использование систем SDR, перспективность которых общепризнанна.

Таким образом, тема диссертации «Идентификация и оценка параметров сигнала LTE» для современного уровня развития систем цифровой обработки сигналов в телекоммуникационных системах является актуальной. Ее развитие в диссертации Казачкова В.О. имеет важное



теоретическое и практическое значение как для отрасли телекоммуникаций, как и для ряда смежных научно-технических областей.

### **Новизна исследования и полученных результатов**

Наиболее значимые новые научные результаты диссертации состоят в следующем.

1. Разработан новый алгоритм определения полосы сигнала LTE, устойчивый к гауссовским шумам и замираниям сигнала, вызванным многолучевым распространением и эффектом Доплера.
2. Разработан новый алгоритм детектирования синхросигнала стандарта LTE, повышающий надежность детектирования в условиях шумов и замираний, а также при частотной расстройке принимаемого сигнала. На базе этого алгоритма построен метод определения направления передачи сигнала LTE.
3. Разработана новая методика определения отношения сигнал/шум по циклическому префиксу символов сигнала LTE.
4. Предложена модификация методики идентификации вида модуляции поднесущих, позволяющая различать модуляцию BPSK и QPSK при значительном уровне шумов.

Перечисленные результаты представляют практическую ценность для разработки новых устройств, работающих со стандартом LTE, особенно устройств SDR.

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений, сформулированных в диссертации**

Положения диссертации, выносимые на защиту, являются обоснованными и логически связанными. Выводы, отражающие прикладное значение диссертационной работы, подтверждены проведенными исследованиями.

Новизна и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждены апробацией на следующих всероссийских и международных научных конференциях:

- Московская молодежная научно-практическая конференция «Инновации в авиации и космонавтике 2013» (МАИ, Москва, 2013);
- Московская молодежная научно-практическая конференция «Инновации в авиации и космонавтике 2014» (МАИ, Москва, 2014);
- V Международная научно-практическая конференция «Современные концепции научных исследований» (Москва, 2014);
- 13-ая Международная конференция «Авиация и космонавтика - 2014» (МАИ, Москва, 2014).

Полученные результаты подтверждены с помощью имитационного моделирования разработанных алгоритмов и методик, а также с помощью сопоставления с аналогами, описанными в современной научно-технической литературе.

### **Значение для науки и практики результатов и выводов диссертанта**

Разработанные Казачковым В.О. методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов стандарта LTE имеют существенное теоретическое и практическое значение. В частности, следует отметить следующее:

- разработана и верифицирована тестовая модель генерации сигнала с параметрами, соответствующими сигналам стандарта LTE, что позволило проводить имитационное моделирование как известных алгоритмов обработки этих сигналов, так и новых предлагаемых методик, обеспечивая адекватное сравнение их работы в условиях помех, частотной расстройки и пр.;
- разработан слепой метод оценки полосы принимаемого сигнала LTE, превосходящий стандартные методы, устойчивый к замираниям и позволяющий добиться высокой точности оценки занимаемой полосы сигнала при очень низких отношениях сигнал/шум (до -5 дБ);
- разработан метод повышения надежности детектирования синхросигналов стандарта LTE, использующих последовательности Задова-Чу; предложенный метод позволяет существенно снизить вероятность ложного обнаружения синхросигналов при наличии замираний, высоком уровне шумов и частотной расстройке принимаемого сигнала;
- предложена и апробирована модификация методики идентификации вида модуляции поднесущих, позволившая надежно различать модуляцию BPSK и QPSK как в восходящем, так и в нисходящем потоке при значительном уровне шумов (до 0 дБ и менее);
- разработана методика оценки отношения сигнал/шум по циклическому префиксу символа OFDM сигнала LTE, эффективно работающая в широком диапазоне значений ОСШ (от -5 до 30 дБ) после синхронизации и эквализации сигнала;
- разработан программно-алгоритмический комплекс в среде MATLAB/Simulink, реализующий моделирование сигнала LTE с различным уровнем шумов и замираниями, а также все оцениваемые и предложенные методы цифровой обработки сигнала LTE; этот комплекс может применяться для проведения дальнейших работ по теме диссертации, а также в учебных дисциплинах, связанных с подготовкой специалистов в области подвижной связи и инфокоммуникационных технологий.

### **Опубликование основных результатов диссертации в научной печати**

Основное содержание диссертационной работы отражено в 7 научных работах, в том числе в трех статьях в журналах, рекомендованных ВАК.

### Замечания по содержанию и оформлению

1. Утверждение о субоптимальности методов идентификации цифровой модуляции на основе распознавания образов и оптимальности методов на основе принятия решений (п. 1.1) не обосновано.
2. 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). Список сокращений и условных обозначений неполон.
3. 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  $a_{cn}$  (формула 1.5). Не приведены формулы для определения величин  $a_{cn}$  и  $f_N(i)$  для формул (1.5)-(1.9).
4. Литературный обзор методов идентификации и оценки параметров сигналов (Глава 1) следовало бы сделать более развернутым.
5. Достоинства технологии OFDM, описанные на стр. 13, сформулированы нечетко и относятся не к технологии в целом, а к ее применению в стандарте LTE.
6. Неверно указана причина высокого значения пик-фактора сигнала OFDM (стр. 13-14).
7. 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.
8. В формулах (2.2) и (2.3) имеется опечатка в начальном индексе суммирования (стр. 24, 25).
9. Текст программы, приведенный на стр. 25-30, следовало привести в приложении.
10. 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).
11. В описанной имитационной модели не указаны блоки моделирования многолучевых каналов распространения. Не указана методика определения отношения сигнал/шум для таких каналов.
12. При описании имитационного моделирования работы алгоритма определения полосы сигнала (стр. 42) не указано, почему использовался ограниченный набор параметров модели сигнала LTE.
13. Не описана методика определения достоверности получаемых оценок (стр. 43, 68).
14. На приводимых графиках экспериментально полученных зависимостей (например, рис. 3.4-3.9, рис. 4.6-4.10) следовало бы указывать разброс результатов измерений.
15. 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.

16. Упомянутый в п. 3.2 (стр. 48) и использованный метод вычисления длительности информационного символа требует достаточно подробного описания.
17. 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.
18. При вычислении сигнала  $S'(n)$  (формула 4.2) можно обойтись без двойного преобразования Фурье, выполнив свертку спектров сигналов  $S$  и  $S_1$ .
19. Условие «идеальной работы системы синхронизации» (стр. 66) сделало бы предлагаемый метод практически неприменимым. Видимо, имеется в виду определенная точность синхронизации.
20. При имитационном моделировании предложенного метода оценки отношения сигнал/шум (стр. 69) рассмотрена только целочисленная ошибка временной синхронизации и не рассмотрена частотная расстройка.
21. Для повышения достоверности предложенных методов следовало бы провести моделирование их работы на сигналах, отличных от LTE.
22. К диссертации следовало бы приложить акты о внедрении.

В работе также имеется ряд синтаксических и орфографических ошибок и опечаток.

Тем не менее, приведенные выше замечания принципиально не снижают научной и практической ценности представленной диссертационной работы.

#### **Мнение о научной работе соискателя в целом**

Диссертационная работа «Идентификация и оценка параметров сигнала LTE» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная и практическая задача разработки новых методов и алгоритмов цифровой обработки сигналов стандарта LTE в сложных условиях мобильного приема. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

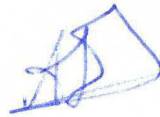
**Оформление диссертации** соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

#### **Заключение**

Диссертационная работа «Идентификация и оценка параметров сигнала стандарта LTE» полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на

соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Казачков Виталий Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Официальный оппонент,  
Генеральный директор  
ООО «НПФ «САД-КОМ»,  
доктор технических наук



А.В. Дворкович

1.04 2015

Подпись доктора технических наук  
А.В. Дворковича заверяю  
Заместитель Генерального директора  
ООО «НПФ «САД-КОМ»



С.В. Русанова

