



**Акционерное общество**  
**«Технологический институт адаптивных систем»**  
**(АО «ТИАС»)**

О Т З Ы В

официального оппонента, ведущего инженера-программиста отдела программного и математического обеспечения акционерного общества "Технологический институт адаптивных систем" Овсянкина Сергея Владимировича о диссертационной работе  
*Киселевой Татьяны Павловны*

*«Корреляционный метод синхронизации по границам OFDM символов кадра стандарта LTE»*  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности  
2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

**Актуальность темы**

В современных системах связи преобладают системы 4G – 5G поколений, причем технология сотовой связи LTE (The UMTS Long Term Evolution) занимает одну из лидирующих позиций в технике связи. Развитие передовых технологий современной техники связи сопровождается ростом требований к скорости и эффективности синхронизации. Актуальной задачей существующих и разрабатываемых систем связи является задача скорости и точности синхронизации базовых станций (далее – БС) с пользователями при первом включении и быстрого восстановления срывов синхронизации в сложных условиях плотной городской застройки.

Особенность построения кадров нисходящего направления центрального частотного диапазона LTE DL (Downlink – нисходящее направление передачи кадра) заключается в построении символов OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing – ортогональное частотное разделение с мультиплексированием), включающих повторяющиеся интервалы символа, что позволяет проводить синхронизацию во временной области по границам символов. В приведенных в диссертационной работе вариантах синхронизации по пикам циклической автокорреляционной функции (далее – АКФ) данный тип синхронизации в существующих системах возможен только в Гауссовском канале с достаточно высоким отношением сигнал/шум (далее – ОСШ). Острую актуальность приобретает проблема синхронизации по пикам циклической АКФ циклического префикса (далее – ЦП) в условиях Рэлеевского канала, определяемых ростом урбанизации и числа мобильных пользователей. Решение этой проблемы представлено в диссертационной работе разработкой корреляционного метода синхронизации по границам символов OFDM кадра LTE DL с применением последовательностей с хорошими корреляционными свойствами (многофазными CAZAC последовательностями Фрэнка и Задова – Чу) для заполнения конечных интервалов символов, не содержащих служебной информации.

Время синхронизации на первых этапах временной синхронизации кадра LTE сокращается за счет уменьшения интервала статистической и корреляционной обработки с четырех кадров до полукadra LTE DL. На первом этапе корреляционной синхронизации по границам символов OFDM выигрыш в значении среднего времени синхронизации до 2,6 раз по сравнению с базовым вариантом без модификации символов.

Таким образом, тема диссертации Киселевой Т.П. «Корреляционный метод синхронизации по границам OFDM символов кадра стандарта LTE» является актуальной для существующих и вновь разрабатываемых систем синхронизации с формированием кадров на основе символов OFDM технологии с учетом требования минимальных аппаратно-программных затрат.

Вход. № 64/26  
«21» 04 2026г.  
подпись

Цель диссертационной работы – повышение эффективности системы связи стандарта LTE за счёт уменьшения времени символьной и кадровой синхронизации базовой станции с пользователями достигается решением научных задач, составляющих основное содержание работы, результаты которых доказывают верность научно обоснованных положений, выносимых на защиту. Научные положения, выводы и практические рекомендации, сформулированные в диссертации, обладают высокой степенью обоснованности и достоверности. Полученные количественные характеристики (среднее время синхронизации, точность определения границ, мерит-фактор, фазовое и частотное смещение) основаны на корректно построенной физико-математической модели и подтверждены достаточным объёмом имитационного моделирования, статистической и корреляционной обработки принимаемых сигналов. Практические рекомендации по выбору окна обработки кадра, алгоритмам формирования OFDM-символов, методам статистического усреднения и восстановления синхронизации имеют чёткое алгоритмическое и математическое обоснование, что подтверждает их применимость в реальных телекоммуникационных системах. Научная достоверность и обоснованность основных положений дополнительно подтверждаются их апробацией: результаты исследований опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, а также представлены в докладах на международных и всероссийских научно-технических конференциях. Таким образом, все выносимые на защиту положения, выводы и рекомендации являются научно обоснованными, достоверными и не вызывают сомнений.

**Новизна полученных результатов исследования** подтверждается результатами исследований основных характеристик корреляционной синхронизации, приведенных в диссертационной работе:

1. Сформулированы и доказаны утверждения для определения последовательностей с хорошими корреляционными свойствами по максимуму значения мерит-фактора апериодической АКФ для ПСП, M-последовательностей и последовательностей CAZAC.
2. Доказана возможность сокращения времени синхронизации сигналов с OFDM по пикам циклической АКФ ЦП в Рэлеевском канале связи до 2,6 раза при различных вариантах модификации ЦП:

– путём заполнения ЦП и конца "пустых" символов OFDM "окна" приёма и обработки кадра LTE технологии CAZAC последовательностями без восстановления данных конца символов;

– путём заполнения ЦП и конца символов OFDM "окна" приёма и обработки кадра LTE технологии суммой данных и CAZAC последовательностей с восстановлением данных конца символов на приёмной стороне.

3. Уменьшение дробной части фазового смещения поднесущих частот OFDM символов кадра до 88% в сравнении с базовым вариантом заполнения ЦП в зависимости от вариантов профилей задержек канала и ОСШ.
4. Повышение точности определения границ символов "окна" приёма в пределах до  $\pm 2$  временных отсчёта в зависимости от варианта заполнения ЦП.

Практические рекомендации по применению разработанного метода синхронизации заключаются:

– в выборе "окна" обработки кадра в вариантах первого включения и случайной потере синхронизации;

– детальных алгоритмах формирования OFDM символов в случае с восстановлением двоичных данных пользователей, либо без восстановления на приемной стороне;

– алгоритмах статистической обработки принятого кадра при первом включении пользователя в вариантах усреднения временных отсчетов "окна" приема на интервале одного слота, либо усреднения пиков циклической АКФ ЦП по амплитуде и временному положению путем разбиения "окна" приема на слоты с вычислением циклических АКФ ЦП каждого слота и усреднение по амплитуде и временному положению соответствующих пиков циклических АКФ ЦП;

– алгоритме восстановления синхронизации по границам OFDM символов при случайной потере синхронизации.

В диссертационной работе автором представлено решение задачи повышения скорости, в среднем, в 2,6 раз и точности ~ в 10 раз синхронизации БС с пользователем по границам OFDM символов в условиях Рэлеевского канала связи при модификации символов кадра с использованием коротких CAZAC последовательностей по сравнению с базовым вариантом без модификации символов, при незначительных аппаратно-программных коррекциях, что имеет большое значение для повышения эффективности систем синхронизации во временной области при построении кадров систем связи по типу кадра LTE DL.

Замечания по диссертационной работе:

– отсутствие конкретных примеров случайной потери синхронизации ранее синхронизированных пользователей, а также срыва синхронизации при таких операциях, как хэндовер;

– желательны более подробные описания алгоритмов построения и обработки кадра LTE DL, представленных на рисунках 4.2 – 4.6;

– из CAZAC последовательностей в диссертационной работе рассмотрены только две – последовательности Задова – Чу и Фрэнка, что недостаточно с учетом широкого разнообразия существующих последовательностей, применяемых в технике связи и обработки информации.

Приведенные замечания носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором в дальнейших публикациях по теме исследования.

Диссертационная работа соискателя Киселевой Т. П. является по форме завершенной научно-исследовательской работой, выполненной Киселевой Т. П. самостоятельно на хорошем научном уровне, с достаточным качеством оформления в соответствии с установленными правилами. Работа написана технически грамотно, на хорошем литературном языке, в стиле изложения с использованием научно-технических обоснований и доказательств выдвинутых положений. Основные положения диссертационной работы отражены в публикациях в рецензируемых научных журналах и сборниках трудов научно-технических конференций. Диссертационная работа содержит достаточное количество данных проведенных исследований, имеет пояснения, теоретические обоснования, рисунки, графики. Каждую главу и работу в целом завершают выводы, отражающие выполнение задач диссертационной работы. Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, основным идеям, обоснованиям и выводам. Тема диссертационной работы актуальна. Диссертационная работа, выполненная автором, соответствует пунктам 9-14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года.

Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Киселева Татьяна Павловна заслуживает присуждения ей степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,  
ведущий инженер-программист отдела программного и  
математического обеспечения АО «ТИАС»,  
кандидат технических наук



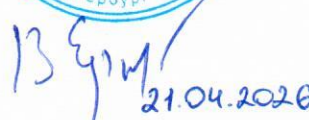
Овсянкин С.В.

«21» 04 2026 г.

Подпись официального оппонента  
удостоверяю



Начальник отдела кадров АО «ТИАС»



Ершова В.Н.

Акционерное общество "Технологический институт адаптивных систем"

Почтовый адрес: 196006, г. Санкт-Петербург, ул. Коли Томчака, д.9, лит. Б, пом. 1-Н, тел. +7 911 907-86-20, e-mail: sheynina.tiac@gmail.com