

ОТЗЫВ

**на автореферат Ермаковой Анастасии Всеволодовны на тему:
«Повышение эффективности систем радиодоступа на основе циркулярных
матриц многопозиционных линейных рекуррентных
последовательностей»**

**на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.2.13 - Радиотехника, в том числе системы и устройства
телевидения**

В представленном автореферате диссертационной работы Ермаковой Анастасии Всеволодовны рассматривается использование матриц-циркулянтов многопозиционных линейных рекуррентных последовательностей (ЛРП) в качестве широкополосных ортогональных негармонических поднесущих для формирования групповых сигналов систем мобильной связи и радиодоступа, причём указанные системы функций предлагаются в качестве альтернативы дискретным экспоненциальным функциям (ДЭФ), применяющимся для формирования сигналов с ортогональным мультиплексированием и частотным разделением (OFDM), которые в настоящее время являются доминирующими в таких стандартах, как LTE, 5G, Wi-Fi и цифровое телевидение.

Актуальность предложенного подхода обусловлена фундаментальными недостатками OFDM-сигналов, ограничивающими развитие систем радиодоступа. К ним относятся: сложность эффективной синхронизации (измерение задержки, сдвига частоты, фазы и мощности сигнала), что вынуждает использовать циклические префиксы, снижающие пропускную способность до 25%; необходимость передачи пилот-сигналов для эквалайзера, дополнительно уменьшающая ёмкость канала на 5–10%; неустойчивость к доплеровскому сдвигу (200–250 Гц ведёт к срыву синхронизации), что ограничивает применение в подвижных объектах и вынуждает сокращать число поднесущих (практически не более 1200 при размерности Быстрого преобразования Фурье (БПФ) 2048); наличие релеевских замираний с проигрышем по мощности до 20 дБ по сравнению с гауссовским каналом; жёсткую привязку к размерности ресурсного блока, не позволяющую повышать пропускную способность за счёт увеличения вычислительной производительности БПФ. Утверждение о низком уровне внеполосных излучений OFDM является сомнительным, поскольку фильтрация в радиотракте неизбежно искажает спектр и порождает межсимвольную интерференцию.

Вход. № 77/26
«30» 04 2026
подпись

В автореферате диссертационной работы Ермаковой Анастасии Всеволодовны показано, что все перечисленные выше проблемы, присущие OFDM-сигналам, могут быть успешно решены при построении группового сигнала системы радиодоступа на основе совокупности различных по структуре полных ортогональных систем дискретных функций, сформированных с использованием циркулянтных матриц многопозиционных линейных рекуррентных последовательностей. Принципиально важным является то, что формирование и обработка такого сигнала могут быть реализованы с помощью БПФ не в классическом гармоническом базисе, а в базисе функций Виленкина–Крестенсона (ВК), что обеспечивает значительный выигрыш в вычислительной эффективности: по критерию числа элементарных арифметических операций БПФ в базисе ВК имеет примерно в три раза меньшую сложность по сравнению с традиционным БПФ той же размерности. Тема диссертационной работы и её основная цель, состоящая в снижении сложности реализации и повышении помехоустойчивости систем радиодоступа за счёт применения БПФ в базисе функций ВК и использования многопозиционных линейных рекуррентных последовательностей, являются безусловно актуальными.

Практическая значимость. Применение обобщённого БПФ в базисе ВК вместо классического ДЭФ обеспечивает выигрыш по числу арифметических операций до 3,5 раз при $N=2048$. Предложенная система радиодоступа обладает низкой чувствительностью к доплеровским сдвигам за счёт непрерывного слежения за шумоподобным синхросигналом, что позволяет сохранять синхронизацию при скоростях абонентов до 500 км/ч (1400 Гц) и ускорениях 30–50 м/с², тогда как стандартный OFDM теряет синхронизацию уже при 300 Гц. Разработан способ подавления взаимных помех при одновременном использовании нескольких систем ортогональных сигнатур, позволяющий повысить пропускную способность до 25% пропорционально числу систем. Оценивание параметров синхросигнала по корреляционным пикам обеспечивает точность оценки фазовых сдвигов порядка 5–7° и временной погрешности не более 0,1 тактового интервала, что даёт энергетический выигрыш 3–5 дБ относительно OFDM при росте вычислительной сложности в 2,3–3 раза (для 2–3 лучей). Практическая значимость также подтверждена внедрением основных результатов диссертации в АО «Объединённая двигателестроительная корпорация» и в Московском техническом университете связи и информатики, о чём имеются соответствующие акты.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории ускоренного декодирования циклических r -ичных блочных кодов максимальной

длины на основе обобщённого БПФ в базисе ВК применительно к формированию и обработке групповых сигналов в системах радиодоступа.

Достоверность результатов, полученных в работе, подтверждается использованием адекватных современных методов исследования, соответствием результатов, полученных на основе теоретических исследований и результатов компьютерного моделирования, а также широкой аработкой на международных и российских конференциях. Основные результаты опубликованы в 18 печатных изданиях, 3 из которых размещены в журналах, входящие в перечень ВАК. Получены 14 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ, 3 публикации, индексированные в МБД Scopus.

Замечания по автореферату диссертации:

1. В автореферате утверждается выигрыш по числу арифметических операций до 3,5 раз при $N=2048$, однако неясно, достигается ли этот выигрыш в реальной аппаратной реализации с учётом накладных расходов на передискретизацию, хранение коэффициентов и дополнительные операции слежения.

2. Вычислительная сложность приёмного тракта возрастает в 2,3–3 раза для разделения 2–3 лучей, что может быть критично для маломощных устройств. Не указано, как меняется сложность при увеличении числа лучей более 3.

Тем не менее, указанные недостатки носят редакционный характер и не снижают ценности результатов. На основании вышеизложенного, считаю, что диссертация Ермаковой Анастасии Всеволодовны на тему: «Повышение эффективности систем радиодоступа на основе циркулярных матриц многопозиционных линейных рекуррентных последовательностей» является законченной научно-исследовательской работой, и соответствует паспорту специальности 2.2.13. - «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения». По новизне, уровню научной проработки и практической значимости полученных результатов работа отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), а её автор, Ермакова Анастасия Всеволодовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Я, Шейкин Дмитрий Александрович, даю свое согласие на включение своих персональных данных, содержащихся в настоящем отзыве, в документы,

связанные с защитой диссертации Ермаковой Анастасии Всеволодовны, и их дальнейшую обработку.

Технический директор
ООО «Телерент»
инженер по специальности
«Радиосвязь, радиовещание и
телевидение»



Д.А. Шейкин

29.04.2026 г.

Подпись Д.А. Шейкина заверяю:

Иванов Иван Иванович
ООО «Телерент» Лошенина О.В.



Общество с ограниченной ответственностью «Телерент»

Адрес: 127427, г. Москва, ул. Академика Королева, д. 19

Адрес электронной почты: BUH@TELERENT.TV