

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 55.2.002.01
НА БАЗЕ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И
ИНФОРМАТИКИ» (подведомственного Министерству цифрового
развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело N _____

Решение диссертационного совета от 10.06.2026 г. N 161 о присуждении гражданке *Ермаковой Анастасии Всеволодовне* ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация *«Повышение эффективности систем радиодоступа на основе циркулярных матриц многопозиционных линейных рекуррентных последовательностей»* по специальности 2.2.13 – *«Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»* принята к защите «6» апреля 2026 г., протокол № 153 диссертационным советом 55.2.002.01 на базе ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (далее МТУСИ), Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8а, Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 244/нк от 03 марта 2016 г., изменения в составе утверждены Приказами Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 37/нк от 30.01.2019, № 599/нк от 15.10.2020, №804/нк от 16.12.2020 г., № 331/нк от 12.04.2021г., № 679/нк от 24.06.2022г., № 1215/нк от 12.10.2022г., № 29/нк от 20.01.2025 г.,

№433/нк от 26.05.2025 г., №910/нк от 25.09.2025, №36/нк от 26.01.2026, 315/нк от 20.04.2026.

Соискатель Ермакова Анастасия Всеволодовна «9» августа 1997 года рождения, в 2025 году окончила аспирантуру МТУСИ по направлению подготовки 11.06.01 - «Электроника, радиотехника и системы связи». Кандидатские экзамены сданы в 2024 году (имеется справка о сдаче экзаменов, выданная в 2026 г. МТУСИ). Работает главным специалистом Службы «Эфир» Дирекции Программ АО Первый канал, младшим научным сотрудником в НИО «Отдел организации научной работы и публикационной активности» (ООНРиПА) МТУСИ и ассистентом кафедры «Радиооборудование и схемотехника» МТУСИ.

Диссертация выполнена на кафедре «Радиооборудование и схемотехника» МТУСИ.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Горгадзе Светлана Феликсовна, профессор кафедры «Радиооборудование и схемотехника» МТУСИ.

Официальные оппоненты:

1. Лисничук Александр Александрович – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Радиоуправление и связь» ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина».

2. Бокк Герман Олегович – д.т.н., руководитель направления отдела развития радиointерфейса ООО «НИРИТ-СИНВЭЙ Телеком Технолоджи».

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (далее СПбГУТ), г. 2026 в своем положительном заключении, подписанном Глушанковым Евгением Ивановичем, д.т.н., профессором, профессором кафедры «Радиотехника», указала, что диссертация имеет значение для снижения сложности реализации и повышении

помехоустойчивости систем радиодоступа за счет применения БПФ в базисе функций ВК и использования многопозиционных ЛРП, является актуальной. Результаты, полученные в диссертации, могут быть полезными при дальнейшем развитии целого ряда наземных и спутниковых систем радиодоступа, имеющих важное народнохозяйственное и военное значение.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 13 работ, из них 3 - работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, 3 работ, индексируемых в международной базе SCOPUS и 7 публикаций в других индексируемых научных журналах и изданиях, 14 свидетельств об официальной государственной регистрации программ для ЭВМ. Также результаты прошли апробацию и были доложены на международных конференциях.

Основные публикации:

1. Ермакова, А. В. Синхронизация многозначных линейных рекуррентных последовательностей на основе обобщенного быстрого преобразования Фурье / А. В. Ермакова, С. Ф. Горгадзе // Электросвязь. – 2025. – № 4. – С. 74-86. – DOI 10.34832/ELSV.2025.66.4.009. – EDN JVFZEY (Личный вклад автора – 80%).
2. Горгадзе, С. Ф. Многостанционный доступ на основе циркулярных матриц многопозиционных линейных рекуррентных последовательностей / С. Ф. Горгадзе, А. В. Ермакова, А. Ю. Кудряшова // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2025. – Т. 19, № 3. – С. 37-53. – DOI 10.36724/2072-8735-2025-19-3-37-53. – EDN BYRCCD (Личный вклад автора – 75%).
3. Горгадзе, С. Ф. Групповые сигналы на основе симметричных ортогональных матриц и обработка многолучевых сигналов / С. Ф. Горгадзе, А. В. Ермакова, А. Ю. Кудряшова // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2025. – Т. 19, № 10. – С. 21-34. –

DOI 10.36724/2072-8735-2025-19-10-21-34. – EDN AMTGTV
(Личный вклад автора – 75%).

4. A. V. Ermakova and S. F. Gorgadze, "Method for Transforming Matrix Circulants of Multiposition Linear Recurrence Sequences Into Matrices of Vilenkin-Crestenson Functions," 2025 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russian Federation, 2025, pp. 1-7, doi: 10.1109/IEEECONF64229.2025.10947700 (Личный вклад автора – 80%).
5. A. V. Ermakova, "Improving the Energy Efficiency of 5G and 6G Systems with Linear Recurrent Sequence Synchronization Methods in the Vilenkin-Crestenson Function Basis," 2025 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), Tyumen, Russian Federation, 2025, pp. 1-9, doi: 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079349 (Личный вклад автора – 100%).
6. Vu, S. D. Fast Spectral Transformations in the Truncated Walsh-Hadamard Basic and Synchronization of M-like Sequences / S. D. Vu, A. V. Ermakova, S. F. Gorgadze // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2024. – Vol. 7, No. 1. – P. 623-628. – DOI 10.1109/SYNCHROINFO61835.2024.10617540. – EDN RCVAKI (Личный вклад автора – 75%).
7. Горгадзе, С. Ф. Синхронизация последовательностей Голда на основе быстрого преобразования в усеченном базисе функций Уолша-Адамара / С. Ф. Горгадзе, Ш. Д. Ву, А. В. Ермакова // Радиотехника и электроника. – 2024. – Т. 69, № 2. – С. 137-145. – DOI 10.31857/S0033849424020045. – EDN KMVICC (Личный вклад автора – 65%).
8. Горгадзе, С. Ф. Синхронизация м-последовательностей на основе быстрого преобразования Адамара / С. Ф. Горгадзе, Ш. Д. Ву, А. В.

- Ермакова // Радиотехника и электроника. – 2024. – Т. 69, № 2. – С. 122-136. – DOI 10.31857/S0033849424020031. – EDN KMXKJN (Личный вклад автора – 75%).
9. Vu, S. D. Fast Spectral Transformations in the Truncated Walsh-Hadamard Basic and Synchronization of M-like Sequences / S. D. Vu, A. V. Ermakova, S. F. Gorgadze // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2024. – Vol. 7, No. 1. – P. 623-628. – DOI 10.1109/SYNCHROINFO61835.2024.10617540. – EDN RCVAKI (Личный вклад автора – 65%).
10. Горгадзе, С. Ф. Эффективность вариантов многостанционного доступа для сотовых сетей 5G и 6G / С. Ф. Горгадзе, А. В. Ермакова // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2022. – Т. 14, № 2. – С. 19-26. – DOI 10.36724/2409-5419-2022-14-2-19-26. – EDN JSJBHS (Личный вклад автора – 80%).
11. Макаров, П. О. Изоморфное отображение матриц дискретно экспоненциальных функций / П. О. Макаров, А. В. Ермакова // Технологии информационного общества: Сборник трудов XIX Международной отраслевой научно-технической конференции, Москва, 11–13 марта 2025 года. – Москва: МТУСИ, 2025. – С. 91-94. – EDN QBOJZL (Личный вклад автора – 80%).
12. Ермакова, А. В. Использование неортогональных поднесущих на основе сегментов m-последовательностей для формирования групповых сигналов систем мобильной связи / А. В. Ермакова // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 23-29. – EDN ADKJXI (Личный вклад автора – 100%).
13. Горгадзе, С. Ф. Эффективность технологий IDMA и CDMA при малом коэффициенте расширения спектра / С. Ф. Горгадзе, А. В. Ермакова // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки

сигналов. – 2023. – Т. 13, № 2. – С. 22-29. – EDN XYLBJY (Личный вклад автора – 80%).

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024618362 Российская Федерация. Программа вычисления и исследования статистических характеристик двумерных автокорреляционных шумоподобных сигналов: № 2024617404: заявл. 10.04.2024: опубл. 10.04.2024 / С. Ф. Горгадзе, Ш. Д. Ву, А. В. Ермакова; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики». – EDN QRMIZJ (Личный вклад автора – 60%).
15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025689994 Российская Федерация. Программа построения и вычисления кодов Холла (кодов с одноуровневыми периодическими функциями): заявл. 07.10.2025: опубл. 01.11.2025 / А. В. Ермакова, И. С. Кретьова, А. Ю. Кудряшова; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (Личный вклад автора – 80%).
16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025689433 Российская Федерация. Программа синхронизации передатчика и приемника обрабатывающего шумоподобные сложные сигналы: заявл. 07.10.2025: опубл. 28.10.2025 / А. В. Ермакова; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (Личный вклад автора – 100%).

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025689303 Российская Федерация. Программа обнаружения сигналов Фрэнка: заявл. 07.10.2025: опубл. 27.10.2025 / А. В. Ермакова; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (Личный вклад автора – 100%).
18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025688526 Российская Федерация. Программа построения кодов с минимальной аperiodичностью: заявл. 07.10.2025: опубл. 21.10.2025 / А. В. Ермакова, И. С. Кретьова, А. Ю. Кудряшова; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (Личный вклад автора – 80%).
19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025688523 Российская Федерация. Программа обработки M-последовательностей максимальной длины: заявл. 07.10.2025: опубл. 21.10.2025 / А. В. Ермакова; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (Личный вклад автора – 100%).
20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025688470 Российская Федерация. Программа построения и вычисления кодов Виленкина-Крестенсона различной длины: заявл. 07.10.2025: опубл. 21.10.2025 / А. В. Ермакова; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (Личный вклад автора – 100%).

21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025688389 Российская Федерация. Программа построения и вычисления кодов Фрэнка различной длины: заявл. 07.10.2025: опубл. 20.10.2025 / А. В. Ермакова; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики». – EDN XCTZFM (Личный вклад автора – 100%).
22. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025687869 Российская Федерация. Программа вычисления и построения кодов Якоби: заявл. 07.10.2025: опубл. 15.10.2025 / А. В. Ермакова, И. С. Кретьева, А. Ю. Кудряшова; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики». – EDN DJHSFG (Личный вклад автора – 80%).
23. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025687665 Российская Федерация. Программа построения АКФ и ВКФ для построения шумоподобных сложных сигналов: заявл. 07.10.2025: опубл. 15.10.2025 / А. В. Ермакова; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики». – EDN ABEJJI (Личный вклад автора – 100%).
24. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025664152 Российская Федерация. Программа вычисления элементов максимальных мультипликативных групп расширенных полей Галуа: заявл. 19.05.2025: опубл. 03.06.2025 / А. В. Ермакова, А. С. Соловьев; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики». – EDN AYSSMJ (Личный вклад автора – 80%).

25. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025660707 Российская Федерация. Программа исследования вероятностных характеристик правильного обнаружения СлС и вычисления сложности алгоритмов быстрого преобразования в полном и усеченном базисе Адамара: заявл. 18.04.2025: опубл. 25.04.2025 / С. Ф. Горгадзе, Ши. Д. Ву, А. В. Ермакова, П. О. Макаров; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики». – EDN EXUNEO (Личный вклад автора – 60%).

26. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025618134 Российская Федерация. Программа вычисления вероятности ошибки модуляции UFMC в сетях сотовой связи 5G: заявл. 20.03.2025: опубл. 02.04.2025 / М. В. Дорофеев, А. В. Ермакова, П. О. Макаров; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики». – EDN HWQAKX (Личный вклад автора – 80%).

27. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025616459 Российская Федерация. Программа вычисления и исследования статистических характеристик p -ичных рекуррентных линейных последовательностей: заявл. 17.02.2025: опубл. 17.03.2025 / С. Ф. Горгадзе, А. В. Ермакова; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский

технический университет связи и информатики». – EDN QFUZYQ
(Личный вклад автора – 75%).

Недостовверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, отсутствуют.

На диссертацию и автореферат поступило 15 положительных отзывов от ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ), официальных оппонентов Лисничука Александра Александровича и Бокк Германа Олеговича, Общества с ограниченной ответственностью «Телерент» (ООО «Телерент»), Общества с ограниченной ответственностью «Радиокомп» (ООО «Радиокомп»), Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ», Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», Федерального

государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»».

Были отмечены следующие недостатки:

1. Наличие и значения количественных оценок выигрышей обобщенного БПФ в базисе функций Виленкина-Крестенсона, по сравнению с традиционным БПФ, по числу элементарных арифметических операций известны еще с начала 60-х годов, и не являются научным достижением данной работы, что не подчеркивается ни в тексте диссертации, ни в автореферате. Следовало бы изложить результаты работы так, чтобы было понятно, что в ней обоснована лишь возможность и целесообразность использования обобщенного БПФ для формирования и обработки сигналов систем радиодоступа.
2. В разделе, посвященном синхронизации многолучевых сигналов, рассмотрена только синхронизация многопозиционных ЛРП. То есть все научные и важные для практических приложений результаты диссертации по данной проблеме относятся только к ускоренной синхронизации псевдослучайных последовательностей (ПСП). Было бы целесообразно в первом разделе данной диссертации привести обзор соответствующих результатов, подчеркнув, что они относятся лишь к двоичным ПСП, чего не сделано.
3. В разделе 2 диссертации в таблице 2.3 порядок следования элементов мультипликативной группы расширенного поля Гауа соответствует циклическому сдвигу строк матрицы-циркулянта

влево на один символ, в то время как матрица, приведенная в данной таблице, сдвинута вправо.

4. В диссертации оценка выигрыша по вычислительным затратам при реализации БПФ на цифровом процессоре выполнена без учета операций с памятью, которые являются одними из самых затратных. Также не учтено, что указанный выигрыш может зависеть не только от числа необходимых элементарных арифметических операций, но и от способа реализации алгоритма; способ такой реализации может зависеть от структуры алгоритма и типа используемого устройства; сравнение алгоритмов разных вариантов БПФ по эффективности их реализации на современных цифровых сигнальных процессорах в диссертации не произведено.
5. На стр. 12 и в п.2 заключения присутствует сомнительное утверждение о том, что системы с OFDM теряют синхронизацию при доплеровских сдвигах частот от 300 Гц. Но нужно заметить, что для диапазона 2.1 ГГц такой сдвиг возникает на скоростях 150-160 км/ч, при которых пассажиры скоростных поездов работают в сети LTE без проблем.
6. Вывод о возможности сведения алгоритма преобразований ВК к алгоритму, содержащему два (или три) этапа блочных преобразований БПФ-ОБПФ с переадресацией (и соответствующая структура рис. 1.17), сформулирован исключительно на основе иллюстративного примера (см. стр. 50-52), что затрудняет оценку общности результата, и не позволяет понять почему автор в работе не воспользовался известными универсальными алгоритмами быстрого преобразования ВК, которые, например, можно найти в работах Машарского С.М. (2002) или Сюзева В.В. (2014), а вместо этого применил технику смешивания чужеродных базисов Фурье и ВК. При этом нужно заметить, что в диссертации автор постоянно критикует свойства базисных функций преобразования Фурье.

7. Следует отметить большое число погрешностей оформления. Так на стр. 18, 109, 111, 112 в показателях e_{pr} пропущена мнимая единица; допущены погрешности в вычислении произведения матриц формул (2.15), (2.16); на стр. 84 сомнительное замечание о том, что любая матрица (2.35) размерности $N \times m$, может быть преобразована в матрицу (2.36) 8×8 ; на рис. 3.3 не понятно какие логические соединения при пересечении имеют взаимодействие, а какие нет; на стр. 18 и 121 полином $f(x)$ записан с ошибкой; на стр. 28 таблица 1.1. приведена в формате 3GPP для многолучевых моделей, но вместо номеров лучей данные первого столбца обозначены как «номер варианта модели».
8. Не проработаны принципы построения и не исследованы характеристики обратного канала связи, хотя и предложен общий подход к его организации с выравниванием по времени кадров абонентов с использованием сверхдлинных синхросигналов и обработкой группового сигнала на базовой станции в соответствии с алгоритмом, предложенным в диссертации для многолучевого нисходящего канала связи с циклическими префиксами; но это возможно лишь в том случае, если сигналы абонентов обратного канала разделяются по времени, и каждому абоненту предоставлен один или несколько разноразмерных ресурсных блоков в течение кадра.
9. Указанный в п.3 Практической ценности выигрыш по пропускной способности в 25% при использовании одновременно нескольких действительных частей циркулярных матриц ЛРП для организации группового сигнала, по сравнению с передачей только одной полной матрицы, является явно заниженным, поскольку очевидно, что этот выигрыш должен быть в число раз, равное числу одновременно используемых матриц.

10. В табл.2.3 второго раздела диссертации структура синтезированной циркулярной матрицы не соответствует структуре ее мультипликативной группы, приведенной в той же таблице.
11. 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.
12. 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.
13. В автореферате на рисунках 9 и 10 приведены результаты моделирования вероятности ошибки на информационный символ при различных задержках между первым и вторым лучом в канале. Делается вывод о выигрыше в 3..5 дБ, по сравнению со случаем использования OFDM сигналов. В автореферате не указано для какой вероятности ошибки на информационный символ достигается такой выигрыш. Наиболее вероятно, что эти выигрыши указаны для вероятности ошибки 10^{-7} и менее. Результаты компьютерного моделирования приведены без использования помехоустойчивого кодирования. Все современные системы связи обязательно используют помехоустойчивое кодирование. Типичные значения рабочей вероятности ошибки на символ BPSK модуляции, в канале с аддитивным белым гауссовским шумом, для современных LDPC/Turbo/Polar кодов находятся в диапазоне 10^{-1} ... 10^{-2} . Из рисунка 10 видно, что для вероятности ошибки 5×10^{-2} разница между кривыми OFDM и кривыми для симметричных и ортогональных матриц (COM) для всех типов модуляции становится существенно меньше чем для вероятности 10^{-7} . Таким образом,

заключение о выигрыше в 3...5 дБ СОМ относительно OFDM не применимо к реальным системам.

14. В заключении в пункте 2 указывается, что предложен метод построения системы радиодоступа, обладающих низкой чувствительностью к доплеровским сдвигам частоты, достигающимся за счет непрерывного слежения за смещениями шумоподобного синхросигнала по частоте и задержке для движения абонента со скоростью до 500 км/ч. Утверждается, что стандартные схемы OFDM теряют синхронизацию при сдвигах частоты свыше 300 Гц. Не указано, что значит стандартные схемы OFDM и о каких параметрах OFDM сигналов в этих схемах идет речь. Значение несущей частоты радиосигнала также не указано. Стандарт 5G-NTN использует OFDM сигналы и предусматривает работу со спутниками на низких орбитах, значения смещения частот сигналов и скорости их изменения, существенно превосходят рассматриваемые автором 1400 Гц и 100 Гц/с (для несущей частоты 2 ГГц и высоты космического аппарата 600 км, погрешность по частоте несущей превышает 35 кГц, скорость изменения частоты достигает 300 Гц/с).

15. В автореферате представлены пять вариантов построения кадра с присоединённым синхросигналом (с. 18–19), однако ни в одном из них не конкретизировано, для какого типа канала связи - восходящего или нисходящего — они предназначены, а также не оговорены условия их применимости (однолучевой или многолучевой канал, стационарная или высокая мобильность абонентов, наличие либо отсутствие циклических префиксов как системное требование и т.п.). Такая неопределённость затрудняет оценку практической реализуемости предложенных решений и их сравнительной эффективности в различных сценариях, поскольку структура кадра и способ введения синхросигнала могут критически

зависеть от направления передачи и характеристик среды распространения.

16. В части, посвящённой синхронизации многолучевых сигналов, рассматривается только синхронизация многопозиционных ЛРП, значимые результаты по этой проблеме касаются исключительно ускоренной синхронизации псевдослучайных последовательностей (ПСП). Было бы целесообразно привести обзор этих результатов и подчеркнуть, что они относятся лишь к двоичным ПСП, однако это не было сделано.
17. В автореферате приведено 5 вариантов кадровой структуры передаваемого группового сигнала с присоединенным синхросигналом, однако ни для одного из них не специфицированы ни направление передачи (восходящее или нисходящее), ни условия применимости (тип канала распространения, мобильность абонентов, наличие циклических префиксов).
18. В автореферате приводится утверждение о достижении выигрыша в количестве арифметических операций, вместе с тем, остаётся не прояснённым вопрос о сохранении указанного выигрыша в условиях реальной аппаратной реализации с учётом издержек, связанных с передискретизацией, хранением табличных коэффициентов и выполнением дополнительных операций, необходимых для слежения за сигналом.
19. В автореферате указано, что выводы о возможности оценки частот, фаз и мощностей шумоподобных сигналов опираются на результаты другой диссертации, выполненной под тем же научным руководством, «чего не сделано» в обзоре. При этом в первом разделе действительно отсутствует целенаправленный анализ этих результатов и чёткое указание на то, что они относятся только к двоичным ПСП. Как следствие, трудно понять, в какой мере предыдущие наработки переносятся на изучаемые в диссертации р-

ичные последовательности. Количественные оценки выигрыша обобщённого БПФ в базисе функций Виленкина-Крестенсона относительно классического БПФ по числу элементарных арифметических операций известны ещё с начала 1960-х годов и не являются самостоятельным научным результатом данной работы. Однако этот факт никак не акцентирован ни в диссертации, ни в автореферате. В изложении результатов следовало сделать акцент не на самом выигрыше, а на том, что в работе обоснована лишь возможность и целесообразность применения обобщённого БПФ именно для задач формирования и обработки сигналов в системах радиодоступа.

20. На стр. 9 не приводится расшифровка терминов DS-CDMA и IDMA при их первом упоминании. Также было бы правильно привести ссылки на ресурсы или публикации, где эти технологии описаны. На рис. 1 ось ординат обозначена как «Выигрыш». На мой взгляд было бы уместно подобрать другой синоним. В автореферате, как и в самой работе, присутствует большое количество математических символов и формул. Однако, не каждый символ имеет расшифровку после формулы, а также не на все формулы имеются ссылки в тексте. Кроме того, присутствуют пунктуационные ошибки (стр. 3, строка 5 и т.д.)
21. В автореферате отсутствует описание алгоритма обработки шумоподобного сигнала в условиях многолучевого распространения, что затрудняет оценку универсальности предложенных в автореферате решений.
22. В выводах второго раздела необходимо указать, насколько именно достигается выигрыш по числу операций.
23. 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. Указанные в автореферате значения выигрыша «на практике» (3 раза вместо 3.5, 4 раза вместо 5) не сопровождаются описанием методики их получения.

24. Заявленное возрастание вычислительной сложности приёмного тракта в 2,3-3 раза при разделении 2-3 лучей требует дополнительного обоснования точки зрения применимости в устройствах с ограниченными ресурсами энергопотребления и вычислительной мощности (устройства IoT, датчики, носимые модули). Кроме того, не указано, как меняется сложность при увеличении числа лучей более 3.
25. В части, посвящённой синхронизации многолучевых сигналов, рассматривается только синхронизация многопозиционных ЛРП, значимые результаты по этой проблеме касаются исключительно ускоренной синхронизации псевдослучайных последовательностей (ПСП). Было бы целесообразно привести обзор этих результатов.
26. Из рисунка 1 не понятно в каких единицах определён выигрыш. Однако ранее указывается, что величина определена в размах.
27. Из автореферата не ясно как был произведён анализ рисунка 1., при котором было показано, что при $m \rightarrow \infty$ достигается значение выигрыша $\zeta = 3,5$.
28. Не совсем понятно, в следствии чего наблюдается разница выигрыша в 5 раз, полученного с помощью аналитического выражения для при использовании операции умножения с фиксированной точкой и на практике, когда выигрыш составляет около 4 раз (см. стр. 4)
29. В автореферате, к сожалению, имеются опечатки, например, стр. 10 «превообразный элемент мультипликативной группы», должен скорее всего читаться как «первообразный элемент мультипликативной группы».

30. Из автореферата не следует какова должна быть минимальная разрядность АЦП для обеспечения корректной работы устройства, представленного на рисунке 2.
31. В автореферате показано, что вычислительная сложность алгоритма обработки сигналов, формируемых на основе циркулярных матриц ЛРП, в двухлучевом канале при разделении сигналов лучей в 2-3 раза больше, чем в случае традиционного OFDM, где разделение сигналов в многолучевом канале не проводится. Такое увеличение сложности обработки может быть критично для маломощных устройств, при этом не приводится экспериментальная практическая оценка возможности использования алгоритма обработки сигналов. Кроме того, не указано, как меняется сложность обработки при дальнейшем увеличении числа лучей.
32. В автореферате описан вариант построения системы радиодоступа, обладающей за счет непрерывного слежения за синхросигналом низкой чувствительностью к доплеровским сдвигам частоты, возникающих при движении абонента с постоянной скоростью до 500 км/ч (до 1400 Гц относительно несущей), оценка получена на модели, не ясно, насколько точность модели будет соответствовать экспериментальным данным с учетом пик-фактора, параметров канала распространения, многолучевости, помеховой обстановки и пр. Желательно было бы дополнить представленный в автореферате материал экспериментальными данными.
33. В выводах второго раздела необходимо указать, насколько именно достигается выигрыш по числу операций.
34. В автореферате для каждого из вариантов не уточняется, для какого типа канала связи (восходящего или нисходящего) он предназначен, а также не оговариваются условия применимости (однолучевой или многолучевой канал, стационарный или высокомобильный режим работы абонентов, необходимость использования циклических

префиксов как системное требование и т.п.). Указанная неопределённость затрудняет оценку практической реализуемости предложенных решений и их сравнительной эффективности в различных сценариях, поскольку структура кадра и способ встраивания синхросигнала могут существенно зависеть от направления передачи и характеристик среды распространения.

35. В автореферате отсутствует описание алгоритма обработки шумоподобного сигнала в условиях многолучевого распространения. В данном контексте следовало бы рассмотреть применение модификации rake-приёмника, использующей синхронное гетеродинирование и квазигогерентное сложение лучей на основе предварительно измеренных (с точностью до фазовых сдвигов) значений их несущих частот.

36. Указано, что вычислительная сложность приёмного тракта возрастает в 2,3-3 раза при разделении 2-3 лучей, что может оказаться критичным для устройств с ограниченным энергопотреблением. При этом не приводятся данные о том, как меняется сложность при использовании большего количества лучей.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты и представители ведущей организации имеют значительное количество публикаций, близких к теме диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– показано, что применение БПФ в базисе ВК с плавающей точкой вместо классического БПФ (базис ДЭФ) при размере преобразования $N=2048$ дает максимальный выигрыш по числу арифметических операций от 2,1 до 3,5 раз относительно OFDM: для $N=256-1024$ выигрыш составляет от 2,1 до 2,8 раза, а при $N=2048$ достигает 3,5 раза;

– предложен вариант построения системы радиодоступа, обладающих низкой чувствительностью к доплеровским сдвигам частоты, достигающимся за счет непрерывного слежения за смещениями шумоподобного синхросигнала по частоте и задержке, что обеспечивает стабильность синхронизации в условиях движения абонентов с постоянной скоростью до 500 км/ч (1400 Гц) и более, а также при ускорении до 30...50 м/с² (скорость изменения частоты не более 100 Гц/с) при увеличении объема ОЗУ до 100 КиВ с учетом возможности передискретизации синхросигнала в 5 раз,

– разработан новый способ подавления взаимных помех при одновременном использовании нескольких систем ортогональных сигнатур в общем радиоканале, позволяющий повысить пропускную способность пропорционально числу используемых систем за счет применения обобщенного БПФ, дает возможность увеличения скорости передачи данных до 25% при увеличении вычислительной сложности алгоритма обработки пропорционально увеличению числа используемых систем сигнатур;

– оценивание параметров сверхдлинного синхросигнала и его многолучевых копий по действительной и мнимой частям их основных корреляционных пиков позволяет обеспечить точность оценки фазовых сдвигов частот сигналов лучей порядка 5^0 - 7^0 , а также погрешность сдвига по времени этих сигналов, не превышающую 0,1 тактового интервала; это позволяет реализовать возможность квазикогерентного разделения сигналов лучей, что обеспечивает приближение статистических характеристик многолучевого канала к гауссовскому и достижение энергетического выигрыша до 3–5 дБ относительно классического OFDM; вычислительная сложность приемного тракта возрастает в 2,3–3 раза по числу операций комплексного умножения при разделении сигналов 2...3 лучей, по сравнению с OFDM.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что получены новые результаты в области использования теории ускоренного декодирования циклических p -ичных блоковых кодов максимальной длины на основе обобщенного БПФ для формирования и обработки групповых сигналов систем радиодоступа.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанные методы и алгоритмы внедрены в АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» и в учебный процесс МТУСИ, получено 13 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, а практическая реализация позволяет снизить вычислительную сложность обработки сигналов в 3,5 раза, обеспечить устойчивость к доплеровскому сдвигу до 500 км/ч и получить энергетический выигрыш 3–5 дБ по сравнению с классическим OFDM.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается использованием адекватных современных методов исследований, соотнесением результатов, полученных на основе теоретических исследований и результатов компьютерного моделирования, а также широкой апробацией на международных и российских конференциях.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном получении соискателем всех выносимых на защиту научных результатов. Из работ, опубликованных в соавторстве, в диссертацию включена только та их часть, которая выполнена лично соискателем.

Диссертация Ермаковой Анастасии Всеволодовны является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной задачи – снижения сложности реализации и повышения помехоустойчивости систем радиодоступа за счёт применения обобщённого быстрого преобразования Фурье в базисе функций Виленкина–Крестенсона и циркулярных матриц многопозиционных линейных рекуррентных последовательностей.

По новизне, уровню научной проработки и практической значимости полученных результатов работа отвечает требованиям п.п. 9-10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842, а ее автор Ермакова Анастасия Всеволодовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 - «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

На заседании «10» июня 2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Ермаковой Анастасии Всеволодовне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против 0.

Председатель
диссертационного совета



А.С. Аджемов

Врио ученого секретаря
диссертационного совета

Н.В. Кленов

Заключение совета составлено «10» июня 2026 г.