

У Т В Е Р Ж Д А Ю

Первый проректор

Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«МИРЭА – Российский технологический университет»

доктор химических наук, профессор

Н.И. Прокопов

« 18 » мая 2026 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ермаковой Анастасии Всеволодовны на тему: «Повышение эффективности систем радиодоступа на основе циркулярных матриц многопозиционных линейных рекуррентных последовательностей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

В диссертационном исследовании Ермаковой А.В. предлагается заменить обратное быстрое преобразование Фурье (БПФ), традиционно используемое при формировании OFDM-сигналов в системах радиодоступа, на обобщённое БПФ в базисе функций Виленкина–Крестенсона (ВК). Вычислительная сложность указанного преобразования по числу элементарных арифметических операций приблизительно в три раза ниже по сравнению с классическим БПФ. Результирующий дискретный сигнал после перестановки его отсчётов в порядке возрастания элементов мультипликативной группы расширенного поля Галуа приобретает структуру группового сигнала, сформированного на основе циркулярной матрицы многопозиционной линейной рекуррентной последовательности (ЛРП) максимального периода. Благодаря этому поднесущие становятся шумоподобными, занимая всю выделенную полосу частот, что обеспечивает устойчивость системы к доплеровскому сдвигу частоты, отказ от использования циклических

префиксов, возможность присоединения сверхдлинного шумоподобного синхросигнала и эффективную обработку сигнала в многолучевом канале с помощью rake-приёмника.

В работе установлено, что любые циркулярные матрицы многопозиционных ЛРП могут быть приведены к единой матрице функций ВК размерности на единицу больше, что позволяет использовать обобщённое БПФ в базисе ВК как для формирования, так и для обработки группового сигнала. Практический выигрыш в числе арифметических операций составляет от 2,1 до 3,5 раза, достигая максимума при размерности преобразования $N=2048$. Выделен класс упорядоченных матриц-циркулянтов, у которых строки и столбцы с одинаковыми номерами совпадают; применение таких матриц исключает взаимные помехи между поднесущими соседних лучей в многолучевых каналах, чем не обладают классические OFDM-системы на основе дискретных экспоненциальных функций. К информационному сигналу может быть присоединён широкополосный синхросигнал, обрабатываемый тем же типом обобщённого БПФ; предложены структура кадра, способы подавления взаимных помех при совместном использовании нескольких систем ортогональных сигнатур (обеспечивающие повышение пропускной способности до 25 %), а также генераторы на многозначных D-триггерах для преобразования циклического сдвига ЛРП в функцию ВК.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Доказана возможность преобразования r -ичной ЛРП максимального периода в любую функцию ВК путём перестановки символов в порядке возрастания элементов мультипликативной группы поля Галуа, построенного по модулю неприводимого примитивного полинома.

2. Исследованы корреляционные свойства ЛРП и впервые введённых автокорреляционных матриц ортогональных сигнатур на их основе.

3. Показано, что перемножение действительной и мнимой частей матрицы одной ЛРП даёт нулевую матрицу, тогда как перекрёстное перемножение частей матриц различных ЛРП даёт ненулевую, что позволяет разработать способ компенсации взаимных помех.

4. Установлено, что мнимая часть двумерной автокорреляционной функции любой r -ичной ЛРП не имеет центрального пика, в то время как при вычислении двумерной взаимно корреляционной функции ЛРП и её сдвинутой копии центральные пики присутствуют как у действительной, так и у мнимой частей, по соотношению уровней которых можно определить фазовый сдвиг одной последовательности относительно другой.

Теоретическая значимость обосновывается новыми результатами, полученными в области использования теории ускоренного декодирования циклических r -ичных блочных кодов максимальной длины на основе обобщенного БПФ для формирования и обработки групповых сигналов систем радиодоступа.

Практическая значимость результатов подтверждена их количественными оценками. Предложенная система радиодоступа сохраняет синхронизацию при движении абонента со скоростью до 500 км/ч (доплеровский сдвиг до 1400 Гц) и ускорении до 50 м/с², тогда как стандартные OFDM-схемы теряют синхронизацию при сдвиге частоты свыше 300 Гц. Требуемый объем оперативной памяти устройства обработки сигналов не превышает 100 КиБ. Оценка параметров сверхдлинного синхросигнала и его многолучевых копий по действительной и мнимой частям корреляционных пиков обеспечивает точность определения фазовых сдвигов частоты сигналов лучей порядка $(5-7)^\circ$ и погрешность временного сдвига не более 0,1 тактового интервала. Это позволяет реализовать квазикогерентное разделение лучей многолучевого канала с энергетическим выигрышем до 3–5 дБ в отношении сигнал/шум по мощности относительно классического OFDM. Вычислительная сложность приёмного тракта возрастает в 2,3–3 раза (при разделении двух-трёх лучей) по числу операций комплексного умножения по сравнению с OFDM.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечиваются использованием корреляционного и спектрального анализа, быстрого преобразования Фурье–Адамара, теории полей Галуа и их мультипликативных групп, статистической радиотехники, методов компьютерного моделирования, а также сопоставлением теоретических результатов с данными моделирования. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на пяти международных научно-технических конференциях в период 2022–2025 годов (Москва, Выборг, Тюмень).

По теме диссертации опубликовано 18 работ, из них: 3 – в журналах, рекомендованных ВАК; 3 – в изданиях, индексируемых Scopus. Кроме того, получено 14 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Анализ автореферата и опубликованных работ показал, что теоретические и практические результаты автора получили требуемую апробацию и опубликованы в достаточно полном объеме.

В результате анализа автореферата сформулированы следующие замечания:

1. 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).

2. 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.

Однако, указанные замечания носят рекомендательный характер и не оказывают существенного влияния на основные результаты диссертации, не снижают качества работы, а также ее общей положительной оценки.

Содержание автореферата позволяет сделать вывод о том, что работа является оригинальным исследованием, обладающим актуальностью, научной новизной, теоретической и практической значимостью.

Заключение. Диссертация Ермаковой Анастасии Всеволодовны на тему «Повышение эффективности систем радиодоступа на основе циркулярных матриц многопозиционных линейных рекуррентных последовательностей» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная научная задача, заключающаяся в комплексном рассмотрении и оптимизации процедур формирования и обработки групповых сигналов, построенных на основе циркулярных матриц r -ичных ЛРП как при прямом распространении сигнала, так и в многолучевом канале связи, включая разработку способов присоединения синхросигнала и ускоренную оценку параметров многолучевого канала связи с использованием алгоритмов быстрых спектральных преобразований.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения». Указанное соответствие подтверждается содержанием работы, ее апробацией, научной новизной, теоретической и практической значимостью.

Диссертация соответствует требованиям Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации,

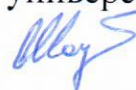
критериям раздела II «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 в редакции от 16.10.2024 г.), предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Ермакова Анастасия Всеволодовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Я, Шатовкин Роман Родионович, 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.

Я, Трубиенко Олег Владимирович, 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.

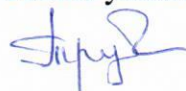
«15» мая 2026 г.

д.т.н., профессор кафедры КБ-2 «Информационно-аналитические системы кибербезопасности» Института кибербезопасности и цифровых технологий ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»



Р.Р. Шатовкин

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой КБ-2 «Информационно-аналитические системы кибербезопасности» Института кибербезопасности и цифровых технологий ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»



О.В. Трубиенко

Шатовкин Роман Родионович, д.т.н. (20.02.12 «Системный анализ, моделирование боевых действий и систем военного назначения, компьютерные технологии в военном деле»).

Трубиенко Олег Владимирович, к.т.н. (05.11.14 «Технология приборостроения»).

Почтовый адрес (рабочий): Российская Федерация, 107996, ЦФО, г. Москва, ул. Стромынка, д. 20, ауд. 216, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Институт кибербезопасности и цифровых технологий, телефон рабочий: +7 499 681-33-56. Эл. почта: shatovkin@mirea.ru.