

## 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 автореферате, выполненном Ермаковой А. В., рассматривается применение циркулярных матриц многопозиционных линейных рекуррентных последовательностей (ЛРП) в качестве широкополосных ортогональных негармонических поднесущих. На основе предлагаемых наборов функций формируются групповые сигналы для систем мобильной связи и радиодоступа. Указанные функции позиционируются как альтернатива дискретным экспоненциальным функциям (ДЭФ), лежащим в основе ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM), которое в настоящее время является стандартом для технологий LTE и 5G. Актуальность темы обусловлена системными ограничениями OFDM, препятствующими дальнейшему развитию радиointерфейсов. К числу таких ограничений относятся: необходимость точной синхронизации (оценка задержки, частотного сдвига, фазы и уровня сигнала), для обеспечения которой вводятся циклические префиксы, снижающие полезную пропускную способность до 25%; выделение пилотных тонов для эквалайзера, что дополнительно уменьшает ресурс на 5–10%; высокая чувствительность к эффекту Доплера (сбой синхронизации наблюдается уже при сдвиге 200–250 Гц), что ограничивает применение системы на высокоскоростных объектах и вынуждает сокращать число поднесущих (реалистичное значение — не более 1200 при размере БПФ 2048). В каналах с релеевскими замираниями энергетические потери достигают 20 дБ по сравнению с гауссовским каналом, а жёсткая детерминированность размеров ресурсного блока не позволяет наращивать пропускную способность за счёт использования более производительных реализаций БПФ. Представляется также дискуссионным тезис о низком уровне внеполосных излучений OFDM, поскольку аналоговая фильтрация неизбежно искажает спектр и порождает межсимвольную интерференцию.

Бход. № 114/26  
« 02 » 06 2026 г.  
ПОДПИСЬ

Решение перечисленных проблем видится в формировании группового сигнала на основе нескольких полных ортогональных систем дискретных функций различной структуры, порождаемых циркулянтными матрицами многопозиционных ЛРП. Существенным аспектом является то, что как синтез, так и обработка такого сигнала могут быть реализованы посредством быстрого преобразования Фурье (БПФ) не в традиционном гармоническом базисе, а в базисе функций Виленкина–Крестенсона (ВК). Данный подход обеспечивает значительное снижение вычислительной сложности: при одинаковой размерности БПФ в базисе ВК требует примерно втрое меньше элементарных арифметических операций по сравнению с классическим вариантом. Таким образом, тема диссертации и её основная цель - уменьшение сложности реализации и повышение помехоустойчивости систем радиодоступа за счёт применения БПФ в базисе ВК и многопозиционных ЛРП - представляются актуальными.

Применение обобщённого БПФ в базисе ВК позволяет сократить объём вычислений до 3,5 раза (при  $N = 2048$ ). Разработанная система радиодоступа характеризуется слабой чувствительностью к доплеровскому сдвигу благодаря непрерывному сопровождению шумоподобного синхросигнала: устойчивая связь обеспечивается при скоростях до 500 км/ч (что соответствует сдвигу около 1400 Гц) и ускорениях 30–50 м/с<sup>2</sup>, тогда как классический OFDM утрачивает синхронизацию уже при сдвиге 300 Гц. Предложен метод подавления взаимных помех при одновременном функционировании нескольких систем ортогональных сигнатур в общей полосе частот, обеспечивающий прирост пропускной способности до 25% пропорционально числу используемых систем. Оценка параметров синхросигнала по центральным пикам корреляционных функций позволяет измерять фазовые сдвиги с точностью 5–7°, а временные задержки — с погрешностью не более 0,1 тактового интервала; это даёт энергетический выигрыш 3–5 дБ по сравнению с классической OFDM при увеличении сложности приёмника в 2,3–3 раза (для 2–3 лучей). Внедрение результатов в АО «Объединённая двигателестроительная корпорация» и в МТУСИ подтверждено соответствующими актами.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методов ускоренного декодирования циклических р-ичных блочных кодов максимальной длины на основе обобщённого БПФ в базисе ВК применительно к построению и обработке групповых сигналов для систем радиодоступа.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием современного математического и методологического аппарата, согласованностью теоретических положений с данными имитационного моделирования, а также апробацией на ряде международных и всероссийских конференций. Основное содержание диссертации отражено в 18 печатных работах (из них 3 - в изданиях, рекомендованных ВАК, 14 зарегистрированных программам для ЭВМ и 3 публикациях, индексируемых в базе данных Scopus).

Замечания по автореферату:

1. В выводах второго раздела необходимо указать, насколько именно достигается выигрыш по числу операций.

2. 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.

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, Дроздова Вера Геннадьевна, 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

Должность, степень

  
26.06.26

Заведующий кафедрой ТСиВС,  
СибГУТИ, к.т.н.  
Дроздова Вера Геннадьевна

Подпись Дроздовой В.Г. заверяю:





Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики».

630102, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Кирова, д. 86.

телефон: +8 383 2698252