

## ОТЗЫВ

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

Диссертационная работа Ермаковой А. В. посвящена развитию теории и методов формирования и обработки групповых сигналов, построенных на основе циркулярных матриц  $r$ -ичных линейных рекуррентных последовательностей (ЛРП), используемых в качестве широкополосных ортогональных негармонических поднесущих для формирования групповых сигналов систем связи.

Модулированные системы ортогональных функций, при формировании и обработке которых используются спектральные преобразования, в настоящее время широко используются в системах радиосвязи. Как правило используются два типа систем, являющихся частными случаями системы Виленкина-Крестенсона (ВК) – это система дискретных экспоненциальных функций (ДЭФ) и система функций Уолша-Адамара. ДЭФ применяются для формирования сигналов с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM), являющихся основой современных стандартов мобильной радиосвязи (5G, LTE). Недостатком систем, с применением OFDM сигналов, является существенная сложность реализации частотно-временной синхронизации и процедур эквализации. Применение циклического префикса позволяет снизить сложность эквалайзера OFDM сигналов, но приводит к снижению пропускной способности. В работе Ермаковой А. В. исследуется возможность преодолеть недостатки характерные для систем, использующих OFDM сигналы, за счет применения быстрого преобразования Фурье (БПФ) в

Вход. № 95/26  
«19» 05 2026г.  
подпись

базисе функций ВК и использования ЛРП в качестве базовых систем ортогональных функций при передачи информации.

Тема диссертационного исследования Ермаковой А. В., направленного на снижение сложности реализации и повышение помехоустойчивости систем радиодоступа за счет применения БПФ в базисе функций ВК и использования многопозиционных ЛРП, несомненно, **является актуальной**.

**Научная новизна** работы заключается в исследовании свойств  $p$ -ичных ЛРП и методов их обработки.

Приведенные в автореферате результаты имеют важное **практическое значение**, так как разработан метод обработки групповых сигналов на основе БПФ в базисе функций ВК, обеспечивающий снижение вычислительной сложности от 2,1 до 3,5 раз по числу арифметических операций с плавающей точкой в зависимости от размера преобразования по сравнению с традиционным БПФ в базисе ДЭФ. Разработан новый способ подавления взаимных помех при одновременном использовании нескольких систем ортогональных сигнатур в общем радиоканале, позволяющий повысить пропускную способность пропорционально числу используемых систем, при увеличении вычислительной сложности алгоритма обработки пропорционально увеличению числа использующихся систем сигнатур.

Основные результаты диссертации изложены 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, индексируемые в МБД Scopus.

#### **Замечания по автореферату:**

1. 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  $10^{-1} \dots 10^{-2}$ . Из рисунка 10 видно, что для вероятности ошибки  $5 \times 10^{-2}$  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 COM относительно OFDM не применимо к реальным системам.

2. 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).

Несмотря на имеющиеся недостатки, диссертационная работа Ермаковой А. В. является законченной научной работой, в которой рассмотрен

