

«Утверждаю»

Проректор по науке и инновациям

М.Ю. Грязнов

«27» ноября «2025»



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Мохсени Тимура Исхаковича на тему
«Относительная передача информации на основе хаотических
радиоимпульсов», представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.3.4 – «Радиофизика»

Диссертация Мохсени Т.И. выполнена в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН и продолжает цикл исследований, которые ведутся в ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН по тематике применения хаотических колебаний для задач передачи информации. Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме разработки новых принципов построения систем связи с использованием динамического хаоса. Автором предложена и исследована прямохаотическая схема относительной передачи/приема информации, которая позволяет устранить фундаментальные ограничения, присущие традиционным некогерентным хаотическим схемам связи. Работа посвящена методу передачи информации, основанному на относительной схеме модуляции хаотического сигнала. Относительные методы модуляции не требуют наличия копии опорного хаотического сигнала в приемнике, что необходимо для осуществления когерентных методов приема. Существующие схемы относительной передачи (DCSK, CDSK, FM-DCSK) обладают критическим недостатком – необходимостью реализации задержек с длительностью, сопоставимой с длительностью бита, что технологически неприемлемо для микроволнового диапазона. Предложенная автором схема относительной передачи направлена на устранение указанных противоречий и свободна от этих недостатков.

Проделанная работа актуальна не только с принципиальной и методологической точек зрения, но также интересна в практическом отношении, так как ее результаты уже могут быть использованы в реальной аппаратуре беспроводной связи на хаотических сигналах.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

Во **Введении** обоснована актуальность диссертационной работы, определены цели и задачи исследований, сформулированы научная новизна и положения, выносимые на защиту, изложено краткое содержание работы.

В **первой** главе проведен систематический обзор существующих хаотических схем относительной передачи, а также некогерентной ПХСС. Анализ методов DCSK, CDSK, FM-DCSK и ПХСС проведен критически и аргументированно, с четким выделением их недостатков. Для всех рассмотренных схем относительной передачи характерно наличие задержек большой длительности, что затрудняет их практическую реализацию и обосновывает необходимость разработки новых подходов.

Вторая глава содержит основной результат — структурную схему предлагаемого метода относительной передачи данных с детальным описанием принципов работы передатчика и приемника. Ключевым отличием является использование задержек небольшой длительности, что делает схему технически реализуемой. Представленная математическая модель в виде системы дифференциально-разностных уравнений с запаздыванием адекватно описывает процессы в схеме и подтверждена результатами компьютерного моделирования в MATLAB. Показана успешная передача непрерывного потока данных.

Третья глава посвящена аналитическим оценкам помехоустойчивости. Автором получено теоретическое соотношение для вероятности ошибки на бит (*BER*) с учетом внутренних шумов схемы, обусловленных неполной ортогональностью задержанных друг относительно друга компонент сигнала. Важным результатом является выявление асимптотического поведения: при стремлении отношения сигнал/шум к бесконечности вероятность ошибки стремится к предельному значению, зависящему от процессинга сигнала. Проведен анализ возможности применения сигналов с процессингом от 10 до 10^6 , что охватывает сверхширокополосный и гиперширокополосный диапазоны.

В **четвертой** главе описан оригинальный подход к организации множественного доступа. Предложен метод разделения каналов на основе набора различных временных задержек в приемопередатчиках, обеспечивающий некоррелированность «чужих» сигналов. Показано, что число одновременно работающих пар приемопередатчиков может исчисляться десятками при пропускной способности более 1 Мбит/с на пару.

В **пятой** главе представлен созданный экспериментальный макет предложенной схемы относительной передачи. Макет работал в диапазоне 200–500 МГц. В качестве канала связи использовался кусок высокочастотного кабеля. Приведено описание и результаты экспериментов по непрерывной передаче данных со скоростью 167 Кбит/с.

В **Заключении** суммируются полученные результаты и делаются выводы.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– Впервые предложена прямохаотическая схема относительной передачи информации, использующая задержки малой длительности, что устраняет ключевой технический барьер существующих решений.

– Получена аналитическая оценка помехоустойчивости с учетом внутренних шумов схемы, порождаемых ей самой и внешних шумов гауссовского типа.

– Разработан и исследован метод множественного доступа для предложенной схемы.

– Создан и экспериментально исследован макет предложенной схемы относительной передачи.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

– Предложена схема относительной передачи, технически реализуемая в микроволновом диапазоне без использования громоздких линий задержек.

– При больших значениях базы хаотического сигнала источника схема может потенциально работать в условиях отрицательных SNR.

– Предложенный метод множественного доступа открывает перспективы для создания пиринговых сверхширокополосных сетей без централизованного управления.

– Результаты могут быть использованы при разработке систем связи для Интернета вещей, беспроводных сенсорных сетей и робототехники.

Личный вклад автора включает участие в разработке схемы относительной передачи, компьютерное моделирование, аналитические расчеты, участие в разработке и создании лабораторного макета предложенной схемы и проведение экспериментов с ним. Результаты опубликованы в 54 работах, включая 18 статей в изданиях ВАК РФ, 11 из которых индексируются в SCOPUS/Web of Science, 11 в Белом списке.

В целом работа хорошо написана, логика изложения прозрачна. Обзор литературы охватывает основные направления исследований в смежных областях и позволяет зафиксировать место предлагаемого решения среди других работ в этой области.

При общей высокой оценке работы следует отметить следующие аспекты, требующие дальнейшей проработки:

1. Экспериментальный макет реализован для относительно низкочастотного диапазона (200-500 МГц) и проводного канала. Для полной проверки предположений о технической реализуемости в микроволновом диапазоне желательны эксперименты на более высоких частотах (3-10 ГГц) в беспроводном канале.

2. Исследование множественного доступа проведено для синхронизированных систем с одинаковыми параметрами. В реальных условиях

необходим анализ влияния ошибок синхронизации, разброса мощностей сигналов и многолучевого распространения.

3. В аналитических оценках использовано упрощенное предположение о нормальном распределении случайных величин. Для малых значений процессинга ($K < 30$) это может вносить погрешность, требующую экспериментальной верификации.

Вместе с тем указанные замечания не влияют на общее положительное впечатление от работы и не снижают ее ценность.

Диссертация Мохсени Т.И. представляет собой целостное законченное научное исследование, содержащее теоретически и экспериментально обоснованные результаты, и по объему результатов, достоверности, научной и практической значимости выводов диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24.09.2013, а ее автор Мохсени Тимур Исхакович, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – «Радиофизика».

Диссертационная работа и заключение обсуждены на заседании кафедры Нейротехнологий Института биологии и биомедицины Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» «27» ноября 2025 г., протокол № 6.

Отзыв подготовлен

Доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой Нейротехнологий Института биологии и биомедицины Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «ННГУ им. Н.И. Лобачевского», адрес: 603009 г. Нижний Новгород, пр-кт Гагарина, д. 23, корп. 1, комн. 417, тел. +7(831)462-32-27, e-mail: vkazan@unn.ru.

Казанцев Виктор Борисович

подпись

Отзыв заверен

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23. (831) 462-30-03 unn@unn.ru



ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ

НАЧАЛЬНИК УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ
ННГУ им. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО

Т.А. ЛАПОНОГ