

ОТЗЫВ

на диссертационную работу

Рошупкина Якова Викторовича

«Когерентный и самокогерентный прием двух- и многопозиционных сигналов в волоконно-оптических системах передачи», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – системы, сети и устройства телекоммуникаций

1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки

Цель исследования автора заключалась в повышении эффективности (энергетической, спектральной, информационной) волоконно-оптических систем (ВОЛС) передачи данных за счет улучшения структуры и параметров передающих и приемных устройств. Поставленная цель достигалась путем разработки моделей, проведения теоретических исследований и компьютерного моделирования, исследования эффективности предложенных структур передающих и приемных устройств, выявления закономерностей и определения оптимальных параметров систем передачи.

На основании сказанного можно утверждать, что содержание диссертационной работы Рошупкина Якова Викторовича «Когерентный и самокогерентный прием двух- и многопозиционных сигналов в волоконно-оптических системах передачи» соответствует отрасли науки – технические и следующим пунктам паспорта специальности 05.12.13 – системы, сети и устройства телекоммуникаций:

2) Совершенствование существующих и разработка новых сетей, систем и устройств телекоммуникаций для достижения высокой информационной, спектральной и энергетической эффективности передачи данных, включая мультисервисные сети, коммутаторы, маршрутизаторы и протоколы таких сетей, обеспечивающие необходимый уровень качества предоставления телекоммуникационных услуг.

3) Анализ, синтез и оптимизация сетей, систем и устройств телекоммуникаций, включая разработку методов и алгоритмов оценки характеристик и настройки телекоммуникационных и мультисервисных сетей, систем и устройств.

4) Анализ, синтез и оптимизация сигналов в сетях, системах и устройствах телекоммуникаций, включая исследование и разработку новых телекоммуникационных сигналов.

5) Исследование проблем достижения потенциальной помехоустойчивости и предельной пропускной способности систем связи, включая разработку методов передачи, приема, помехоустойчивого кодирования, учитывающих динамику состояния канала связи.

2. Актуальность темы диссертации

Несмотря на высокие характеристики существующих ВОЛС, вопросы повышения их энергетической, спектральной и информационной эффективности остаются в центре внимания исследователей. Одним из ключевых направлений здесь является разработка новых видов телекоммуникационных сигналов (методов модуляции), а также алгоритмов их формирования на передающей и обработки на приемной стороне.

Наиболее высокой помехоустойчивостью обладают когерентные методы приема, при которых на приемной стороне используется опорное излучение для гетеродинирования информационного оптического сигнала. В ВОЛС в качестве такого опорного сигнала выступает излучение непрерывного лазера (локального гетеродина) либо специально сформированный на передающей стороне пилот-сигнал.

Выделение опорного сигнала при реализации синхронного приема (например, с помощью систем фазовой автоматической подстройки частоты — ФАПЧ) представляет собой сложную научно-техническую задачу. Особенно остро эта проблема встает при использовании многоуровневых форматов модуляции, требующих построения единого контура «решающее устройство (демодулятор и декодер) — ФАПЧ», из-за чего на практике часто ограничиваются квазиоптимальными устройствами (например, схемой Костаса). В ВОЛС проблема когерентного приема усугубляется предельно высокими скоростями передачи данных, ограниченными по сравнению с радиотехникой возможностями частотного разделения каналов и другими специфическими факторами.

Вопросы применения перспективных видов модуляции в ВОЛС и реализации их когерентного приема не нашли достаточного освещения в литературе. В связи с этим диссертационная работа Рощупкина Я.В. является актуальной и представляет несомненный практический интерес.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации и научных положений, которые выносятся на защиту

Научная новизна результатов, полученные в диссертационной работе Рощупкина Я.В. является несомненной и состоит в обосновании новых технических решений и выявлении новых закономерностей по формированию и обработке сигналов в ВОЛС, в частности:

— показано, что для метода самокогерентного приема оптических сигналов с дифференциальной фазовой модуляцией использование отдельного усиления сигналов двух фотодиодов с их последующим вычитанием в решающем устройстве приводит к снижению мощности шумового тока до двух раз и к повышению чувствительности приемника на величину до 1,5 дБ по сравнению с усилением разностного сигнала двух параллельно включенных фотодиодов;

– в методе передачи и приема оптических сигналов с усилением несущей для формирования защитного интервала между информационными составляющими и несущей предложено использовать линейное кодирование сигнала на стороне передачи, что обеспечивает возможность избирательного усиления несущей в узкополосном усилителе Мандельштама-Бриллюэна при приеме; увеличение уровня несущей по отношению к информационным составляющим обеспечивает повышение коэффициента преобразования информационных составляющих в фотодетекторе с квадратичной характеристикой и достижение выигрыша по чувствительности до 6,64 дБ для скорости передачи 2,5 Гбит/с и вероятности ошибки 10^{-9} ; показано, что предельная скорость передачи для данного метода определяется частотой смещения Бриллюэна и ограничена величиной 10 Гбит/с;

– в методе передачи и приема оптических сигналов с усилением пилот-сигнала показано, что увеличение уровня спектральной компоненты пилот-сигнала за счет его избирательного усиления в узкополосном оптическом усилителе Мандельштама-Бриллюэна приводит к повышению коэффициента преобразования информационных составляющих в фотодетекторе с квадратичной характеристикой с увеличением чувствительности приемника до 3 дБ при скорости передачи 10 Гбит/с и вероятности ошибки 10^{-9} .

– снижение влияние дробового шума помехи обратного канала в методе дуплексной одноволоконной передачи и приема оптических сигналов без спектрального разделения встречных потоков может быть достигнуто за счет использования гетеродинного метода приема в сочетании с биимпульсным линейным кодированием, обеспечивающим смещение спектра сигнала в высокочастотную область и уменьшение влияние помехи обратного рассеивания, мощность которой обратно пропорциональна частотной расстройке;

– использование гомодинного приема и отдельного усиления сигналов четырех фотодиодов на выходе смесителя в методе когерентного приема оптических сигналов с квадратурной фазовой модуляцией и поляризационным разделением обеспечивает повышение чувствительности приемного устройства до -51 дБм при скорости передачи 10 Гбит/с и вероятности ошибки 10^{-9} .

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, основывается на строгости постановок задач, приводимых доказательств при использовании классических методов теории оптимального приема, статистической радиотехники и математической статистики. Основные результаты подтверждены с использованием имитационного математического моделирования, имеют четкую физическую

результаты диссертации.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям Высшей аттестационной комиссии

Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям Инструкции о порядке оформления диссертации, диссертации в виде научного доклада, автореферата диссертации и публикаций по теме диссертаций, утвержденной Постановлением ВАК Республики Беларусь от 28.02.20214 № 3 (в редакции от 22.08.2022 № 5). Разделы «Общая характеристика работы» и «Заключение» автореферата дословно воспроизводят соответствующие разделы диссертации без изъятий и дополнений. Содержание автореферата полностью соответствует положениям и выводам, изложенным в диссертации.

8. Замечания по диссертации

Несмотря на достаточный научный уровень, несомненную новизну и практическую полезность, работа не лишена недостатков. Некоторые из них, на которые необходимо обратить внимание, следующие:

1. При достаточно продолжительной работе над темой диссертации, о чем свидетельствует публикация основных результатов в период до 2018 гг., а также в большом интервале времени после публикации основных результатов, автор в работе ограничился аналитическими исследованиями и проведением математического моделирования с использованием программного пакета OptiSystem. Результаты экспериментальных исследований предлагаемых методов передачи и приема оптических сигналов, в том числе, в рамках внедрения в НИОКР, в диссертации не приведены. В то же время, по крайней мере часть из предлагаемых методов может быть проверена экспериментально в лабораторных условиях без привлечения специально разрабатываемого и дорогостоящего оборудования. К таким результатам можно отнести, в частности, первое из положений, выносимых на защиту, суть которого сводится к использованию отдельных трактов усиления сигналов двух фотодиодов вместо их встречного включения, что приводит к изменению шумовых параметров устройства и повышению чувствительности. Отсутствие экспериментальных результатов является, очевидно, главным недостатком диссертационного исследования, который несколько снижает общее впечатление о работе.

2. Приведенное на стр. 97-98 диссертации описание среды имитационного моделирования OptiSystem представляет собой, скорее, рекламный проспект («инновационный пакет», «... удовлетворяет спрос быстро развивающегося рынка фотоники ...» и т.д.) чем научный текст, и является, фактически, бесполезным, для оценки возможности его применения для исследования предлагаемых методов приёма и передачи оптических сигналов. Вместо такого формального описания автору следовало бы сосредоточиться на описании

используемых в пакете методов моделирования с позиций реализации тонких физических эффектов в рамках предложенных методов передачи и приема оптических сигналов.

3. В тексте диссертации присутствуют определенные стилистические погрешности, погрешности описания и оформления, в частности:

- не ясно, каким образом автор «сократил выражение (2.15)» (стр. 50), если оно представляет собой отношение двух функций ошибок с разными аргументами; следовало бы описать условия, при которых такое приближение возможно и точность приближения;

- в ряде случаев по тексту работы трудно отделить вклад автора от других исследователей; в частности, на стр. 49 со ссылкой на [95, с. 95, Приложение А] приведена формула для мощности шума оптического приемного модуля с p-i-n детектором и полевым транзистором; не ясно, получено ли это выражение автором и если нет, то в чем смысл Приложения А;

- подраздел 2.1 называется «Метод самокогерентного приема оптических сигналов с дифференциальной фазовой модуляцией», но в самом подразделе слова «метод» или «способ» вообще не используются, а речь идет исключительно об устройствах; в значительной степени это замечание распространяется и на другие разделы работы;

- на стр. 45 (рисунок 2.2) приведена эквивалентная схема предлагаемого приемника без расшифровки условных обозначений; не ясно также, какой физический смысл вкладывается в большие стрелки-треугольники и узловое соединение проводников после них.

В то же время, приведенные недостатки не влияют на положения, выносимые на защиту, их научную новизну и на общую положительную оценку работы.

9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени

Диссертация Рошупкина Я.В., является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена важная научно-техническая задача разработки методов и устройств когерентного и самокогерентного приема двух- и многопозиционных сигналов в волоконно-оптических системах передачи. Диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и полностью отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Содержательная часть диссертации Рошупкина Я.В., сформулированные выводы, положения, выносимые на защиту, и рекомендации по практическому использованию результатов исследования показывают, что соискатель владеет всеми требуемыми навыками, предъявляемыми по специальности 05.12.13 – системы, сети и устройства телекоммуникаций. Работа соответствует всем требованиям, установленным к научно-квалификационным работам.

10. Заключение

Диссертация Рощупкина Якова Викторовича «Когерентный и самокогерентный прием двух- и многопозиционных сигналов в волоконно-оптических системах передачи», является актуальной и законченной квалификационной научной работой, имеет высокую научную и практическую значимость.

Содержание диссертационной работы соответствует отрасли технических наук, паспорту специальности 05.12.13 – системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Цель диссертации достигнута, задачи выполнены, а соискатель заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук за новые научно обоснованные результаты теоретических исследований и моделирования, обеспечивающих повышение энергетической, спектральной и информационной эффективности волоконно-оптических систем, включающие:

1. Методы самокогерентного приема сигналов в волоконно-оптических системах передачи:

- метод самокогерентного приема оптических сигналов с дифференциальной фазовой модуляцией, основанный на использовании интерферометра Маха-Цандера для преобразования дифференциальной фазовой модуляции в модуляцию интенсивности, отличающийся раздельным усилением сигналов двух фотодиодов на выходе интерферометра с их последующим сравнением в решающем устройстве, что позволяет получить выигрыш по чувствительности до 1,5 дБ по сравнению с усилением разностного сигнала двух последовательно включенных фотодиодов;

- метод передачи и приема оптических сигналов, основанный на модуляции интенсивности на передающей стороне и усилении оптической несущей на приемной стороне, отличающийся использованием узкополосного оптического усилителя Мандельштама-Бриллюэна для усиления несущей и дополнительным линейным кодированием передаваемого сигнала для формирования защитного интервала между информационными составляющими и несущей в процессе модуляции, позволяющий получить выигрыш по чувствительности приемного устройства до 6,64 дБ для скорости передачи 2,5 Гбит/с и вероятности ошибки 10^{-9} по сравнению с методом прямого фотодетектирования без усиления несущей;

- метод передачи и приема оптических сигналов, отличающийся введением в спектр передаваемого сигнала дополнительной однотоновой компоненты – пилот-сигнала и его избирательном усилении при помощи узкополосного оптического усилителя Мандельштама-Бриллюэна на приемной стороне, позволяющий получить выигрыш по чувствительности до 3 дБ для скорости передачи 10 Гбит/с и вероятности ошибки 10^{-9} по сравнению с методом прямого фотодетектирования без использования пилот-сигнала.

2. Метод дуплексной одноволоконной передачи и приема оптических

сигналов без спектрального разделения встречных потоков, отличающийся применением гетеродинного приема и биимпульсного линейного кодирования на передаче, позволяющий обеспечить дуплексную передачу с увеличением объема передаваемых данных в 2 раза без ухудшения отношения сигнал-шум.

3. Метод когерентного (гомодинного) приема оптических сигналов с квадратурной фазовой модуляцией и поляризационным разделением, основанный на использовании 90-градусного оптического смесителя для смещения принимаемого оптического сигнала с опорным излучением и определения значения фазы принимаемого сигнала, отличающийся отдельным усилением сигналов четырех фотодиодов на выходе смесителя с их последующим попарным сравнением в решающем устройстве, позволяющий повысить чувствительность приемного устройства до -51 дБм для скорости передачи 10 Гбит/с и вероятности ошибки 10^{-9} , что дает выигрыш по чувствительности до 1,5 дБ по сравнению с усилением разностного сигнала последовательно включенных фотодиодов.

Официальный оппонент:

профессор кафедры информационных
радиотехнологий учреждения образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»,
доктор технических наук, профессор



С.В. Козлов

07.10.2026

