ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Головиной Евгении Юрьевны «Методы повышения эффективности передачи данных в выделенных подсетях на основе управляющих чирпированных оптических импульсов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность темы исследования

Современное развитие телекоммуникационных систем характеризуется стремительным ростом объёмов передаваемой информации и повышением требований к величине задержек при передаче данных. Появление новых классов приложений, связанных с промышленным интернетом вещей, технологиями beamforming в сетях 5G/6G, центрами обработки данных (ЦОД) и др., требуют повышения эффективности сетевых операций. Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является перенос функций управления на физический уровень сетевой архитектуры с использованием оптических методов коммутации и обработки сигналов.

В этой связи особый интерес представляют радиофотонные технологии, реализуемые в концепции Radio-over-Fiber (RoF), а также полностью оптические сети (All Optical Networks, AON), в которых управление трафиком осуществляется непосредственно в оптическом домене. Однако для их эффективной реализации необходима разработка новых методов и устройств, позволяющих создавать дополнительные каналы управления без затрат основного телекоммуникационного ресурса.

Диссертационная работа посвящена решению задачи повышения эффективности передачи данных в выделенных подсетях (VLAN) за счёт использования функции изменения мгновенной длины волны (ФИМД/чирпа) оптического импульса как средства передачи управляющей информации. Предложенный Головиной Е.Ю. подход к ее решению позволяет организовать нереляционное управление на физическом уровне и обеспечить значительное снижение задержек и повышение адаптивности сетевых сегментов. Таким образом, тематика диссертационного исследования является актуальной и обладает высокой научной и практической значимостью.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованных источников и приложений.

ВХОД. № 3244-13
«28» 08. 2026г.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, представлены положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит развернутый анализ современного состояния волоконно-оптических и Radio-over-Fiber систем. Автором рассмотрены принципы построения AON и RoF-сегментов, проанализированы технологии дробной λ-коммутации ($F_\lambda S$) и выделенных подсетей (VLAN). Показано, что при использовании существующих подходов к управлению сетями возникают вопросы по быстродействию и адаптивности. На основе проведённого анализа обоснован выбор ФИМД в качестве дополнительного физического ресурса для организации каналов управления на канальном и сетевом уровнях. Сформулированы задачи диссертационного исследования.

Вторая глава посвящена разработке технических принципов построения волоконно-оптического интерференционного высокоизбирательного устройства для демультиплексирования. В качестве базового элемента предложен двухрезонаторный интерферометр Фабри-Перо (ДИФП) с оптимизированным гребенчатым зеркалом. Разработана методика моделирования устройства в программном пакете Ansys HFSS. Предложена конструкция ступенчато-скошенной световодной гребёнки, обеспечивающей многопортовый вывод сигналов в зависимости от их мгновенной длины волны. Выполнена оценка разрешающей способности устройства. Проведён расчёт информационной ёмкости и задержек передачи пакетов при использовании разработанного устройства.

Третья глава посвящена разработке RoF-сегментов с ФИМД-управлением, обеспечивающих снижение задержек передачи сигналов для радиоVLAN. Автором предложена концепция формирования выделенных подсетей в радиосегменте на физическом уровне сети. Проведён анализ стабильности генерирования и преобразования оптических ФИМД-сигналов на базе классической RoF-схемы с двумя лазерами. Установлено, что данная схема имеет ограничения по частоте и фазовым шумам при наличии чирпирования. В связи с этим предложены альтернативные схемы построения RoF-сегментов с использованием единственного источника излучения. Разработана архитектура RoF-сегмента с управлением фазированной антенной решёткой (ФАР) посредством ФИМД-сигналов. Ключевым элементом является преобразователь изменения амплитуды при изменении длины волны, реализованный на базе эрбиевого волоконного усилителя (EDFA). Показано, что применение ФИМД-управления позволяет снизить задержки

переконфигурирования VLAN более чем на два порядка по сравнению с традиционными решениями.

Четвёртая глава посвящена разработке адаптивного RoF-сегмента для технологических сетей на примере внутритрубной связи. Предложено формирование волноводных мод TE01 и TM11 с использованием ФАР, управляемой ФИМД-сигналами. Проведено моделирование в пакете Ansys HFSS, определены амплитудно-фазовые распределения для ФАР из 19 элементов. Выполнена оценка дальности радиолинии в зависимости от диаметра трубопровода и свойств наполняющей среды. Разработана оптическая схема дуплексного канала для связи с внутритрубным подвижным объектом. Проведено моделирование распространения ФИМД-сигналов по разветвлённым ВОЛП, характерным для городских сетей. На основе численного моделирования выработаны рекомендации по выбору параметров EDFA и коэффициентов деления разветвителей, обеспечивающие сохранение положительного чирпирования. Выполнено моделирование QoS-показателей сегмента и осуществлён выбор наиболее приемлемого протокола маршрутизации для рассматриваемой задачи.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные в ходе диссертационного исследования.

Приложения содержат теоретические материалы для расчёта параметров предложенных сегментов, тексты программ, используемых для моделирования, а также акты о внедрении результатов работы в учебный процесс и производственную деятельность.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Основные положения и выводы, представленные в данной работе, обоснованы, что подтверждается корректным применением известных, хорошо апробированных методов исследования, четкой формулировкой цели и задач, а также соответствующими публикациями, основанными на материалах диссертации. Диссертация имеет логичную структуру, подкреплена иллюстративным материалом для наглядного представления ключевых результатов исследования. Содержание автореферата полностью отражает основные результаты и выводы, изложенные в диссертационной работе. Полученные результаты соответствуют заявленным автором пунктам паспорта научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Достоверность полученных результатов подтверждена выводами сравнительного анализа, полученными в процессе математического и численного моделирования. Все положения, выносимые на защиту, обоснованы теоретически и не противоречат известным принципам теории и практики в области инфокоммуникационных технологий. Основные результаты диссертационного исследования прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработан метод управления волоконно-оптическим пакетно-коммутирующим сегментом, основанный на применении процесса физического уровня, отличающийся передачей управляющей информации в составе информационных пакетов в виде функции чирпа/ФИМД, обеспечивающий перенаправление пакетов и балансировку трафика в оптическом домене без задействования узлового коммутационного оборудования ядра сети и без изменения существующей инфраструктуры ВОЛС, что способствует снижению задержек пакетов на приеме.

2. Разработана методика построения высокоизбирательного демультиплексора, основанная на неперестраиваемом волоконно-оптическом интерференционном многопортовом устройстве, отличающаяся применением ступенчато-скошенной структуры частотно-избирательного элемента (световодного гребенчатого зеркала) и уточнённым градиентом показателя преломления рабочей области устройства, что позволяет перенаправлять пакеты на ВОЛП с параметрами, соответствующими стандартам оптических сетей, в диапазоне [$\sim 1{,}6 \cdot 10^{-5}$ нм $\leq \Delta\lambda \leq 5 \cdot 10^{-3}$ нм] и более, в соответствующие выходные световоды без каскадного прохождения сигнала, и уменьшить коммутируемую λ-часть по отношению к применяемой в известных системах с полностью оптической пакетной коммутацией, и увеличить производительность указанных систем связи.

3. Разработана методика управления радиосегментом волоконно-радиоэфирной сети, основанная на применении процесса физического уровня, отличающаяся тем, что формирование заданных динамических выделенных подсетей осуществляется без привлечения настроек коммутационного оборудования канального и сетевого уровней с использованием управляющей информации в виде функции чирпа/ФИМД информационных пакетов посредством задействования разработанных: устройства преобразования изменения амплитуды при изменении длины волны и устройства перенаправления λ-частей на радиоизлучатели.

4. Разработан метод преобразования изменения амплитуды при изменении длины волны для оптического сигнала, базирующийся на волоконно-оптическом усилителе, отличающийся применением легированного эрбием оптоволокна с предложенными параметрами, которые найдены при динамическом моделировании свойств активной среды, что обеспечивает режим минимального изменения (смещения) начального уровня усиления (расположения полки усиления) и технически реализуемое преобразование: $\Delta P_s \cong 2{,}275^{x}10^{-4}$[Вт/нм] $^{x}\Delta\lambda$ вблизи λ_0=1532 нм.

5. Предложена архитектура ВОЛС с ФИМД-управлением, входящих в состав специализированных сетей, основанная на известной топологии пассивных оптических сетей (xPON), отличающаяся применением предложенной многоярусной топологией и выработанными требованиями к структуре сегмента и протоколу маршрутизации (по применению разнопутевых алгоритмов и степени узловых соединений), которые получены на основе моделирования процессов физического, канального и сетевого уровней разветвленного сегмента с пакетной коммутацией с учетом свойств ФИМД, что обеспечивает минимизацию искажений функции чирпа/ФИМД в передаваемых информационных пакетах.

Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертационной работы

Теоретическая значимость работы заключается в развитии научно-методических основ построения волоконно-оптических и радиофотонных сегментов с управлением на физическом уровне сети. Разработанные математические модели и методы расчёта параметров устройств и сегментов расширяют существующие теоретические представления в области оптической коммутации и управления в телекоммуникационных системах.

Практическая значимость работы состоит в том, что предложенные решения позволяют повысить производительность указанных систем связи за счёт сокращения коммутируемой λ-части и снижения задержек переключения до наносекундного диапазона. Разработанные методики и устройства обеспечивают полностью оптическое управление фазированными антенными решётками без привлечения дополнительного ресурса, что упрощает аппаратную часть подвижных и промышленных объектов. Предложенная архитектура ВОЛС может быть внедрена в существующие городские сети без их значительной модернизации, а результаты работы уже используются в производственной и образовательной практике.

Замечания по диссертационной работе

Замечания общего характера:

1. Во введении упоминается задача обеспечения скрытности передачи, однако в работе этот вопрос не получил дальнейшего развития.

2. В первой главе автор упоминает вихревые пучки (OAM), но затем их не использует. Сравнение с OAM не проведено количественно (например, по задержкам или по сложности реализации), что было бы полезно при обосновании выбора ФИМД.

3. В конструкции частотно-избирательного элемента используется ступенчато-скошенная структура световодного гребенчатого зеркала. Однако в работе не определены технологические допуски на углы скоса и точность юстировки ярусов, при превышении которых интерференционная картина теряет устойчивость.

4. В главе 4 автор пишет о необходимости поддержания положительного чирпирования. В работе не дано четкое определение того, что именно считается положительным. Это усложняет понимание результатов моделирования.

Замечания частного характера:

Достаточно большая по объему работа (225 страниц) не свободна от издержек стилистического характера, имеется ряд небольших погрешностей в оформлении диссертации и автореферата:

5. Графический материал автореферата (в частности, рисунки 1-3) содержит мелкие обозначения, что затрудняет визуальную оценку геометрии световодной гребенки без обращения к основному тексту диссертации.

6. Раздел, посвященный применению в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), носит в автореферате достаточно краткий характер и мог быть раскрыт более подробно.

7. Общий объем диссертации и количество источников весьма внушительны, однако некоторые вводные обзоры по технологии RoF во 2 главе можно было сделать более компактными.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Головиной Евгении Юрьевны, представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена

актуальная научно-техническая задача повышения эффективности передачи данных в выделенных подсетях на основе использования функции чирпа/ФИМД оптического импульса для управления на канальном и сетевом уровнях. Работа обладает научной новизной, теоретической и практической значимостью, а её результаты имеют важное значение для развития волоконно-оптических и радиофотонных телекоммуникационных систем.

Диссертационная работа «Методы повышения эффективности передачи данных в выделенных подсетях на основе управляющих чирпированных оптических импульсов» полностью соответствует требованиям ВАК, предъявленным к кандидатским диссертациям, предусмотренными п.п. 9-11, 13, 14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 с последующими изменениями и дополнениями, а ее автор Головина Евгения Юрьевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой информационных технологий, радиотехники и связи ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»

Рябова Наталья Владимировна

«27» августа 2026 г.

ЗАВЕРЯЮ
Специалист по персоналу
1 категории ДПиД
ФГБОУ ВО «ПГТУ»

Е. Ю. Мочалова
27.08.2026.

Докторская диссертация защищена по специальности:

05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства радионавигации, радиолокации и телевидения.

Даю согласие на обработку персональных данных.

Адрес места основной работы: 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3.
Тел: (8362)68-60-12, Адрес эл. почты: RyabovaNV@volgatech.net