ОТЗЫВ
официального оппонента
доктора технических наук, профессора, и.о. заведующего кафедрой спортивной инженерии Нуреева Ильнура Ильдаровича
на диссертацию Головиной Евгении Юрьевны на тему «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

на оппонирование представлены:

– диссертация, 225 стр. с тремя приложениями и списком использованных источников, включающим 252 наименования;

– автореферат диссертации объемом 19 стр., список основных опубликованных работ автора содержит 20 публикаций, включая 4 работы в журналах ВАК, 3 работы, включенные в базу данных Scopus и WoS, 1 регистрация программы для ЭВМ, 1 учебно-методическое пособие.

Актуальность темы исследования

Актуальность темы определяется необходимостью повышения эффективности передачи данных в телекоммуникационных сетях, что обусловлено стремительным развитием роботизированных систем, искусственного интеллекта, технологий 5G/6G и центров обработки данных. Это требует не просто расширения ресурсов, а применения новых подходов к управлению потоками информации, что представляет собой важную научно-техническую задачу. Перспективным направлением является перенос функций управления и коммутации на физический уровень модели OSI с использованием дополнительных параметров оптических сигналов, которые ранее не применялись для решения логических задач.

Вместе с тем существенным ограничением остаётся организация управляющих каналов и быстрой коммутации пакетов без привлечения дополнительного спектрального ресурса. Традиционные методы, основанные на обработке сигналов на канальном и сетевом уровнях, вносят задержки, которые становятся критичными для новых приложений. В связи с этим в работе предлагается метод управления волоконно-оптическими и Radio-over-Fiber сегментами с использованием функции изменения мгновенной длины волны (ФИМД, или чирпа) оптических импульсов, позволяющий перенаправлять пакеты и формировать динамические выделенные подсети непосредственно в оптическом домене.

В диссертации предложены математические и имитационные модели распространения и преобразования ФИМД-сигналов, а также разработаны методика построения высокоизбирательного демультиплексора на основе двухрезонаторного интерферометра Фабри-Перо и метод преобразования изменения амплитуды при изменении длины волны на базе эрбиевого усилителя, позволяющие реализовать полностью оптическую пакетную

ВХОД. № 3275-13
«28» 08. 2026 г.

коммутацию с задержками на уровне единиц наносекунд. Это способствует повышению адаптивности сетей и эффективности использования телекоммуникационного ресурса.

Считаю, что работа Головиной Евгении Юрьевны посвящена решению актуальных научно-технических задач в области развития волоконно-оптических и радиофотонных систем связи для сетей городского масштаба и технологического назначения.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы (252 наименования) и трёх приложений. Основной текст изложен на 225 страницах, содержит 79 рисунков и 8 таблиц. Структура работы логична и отражает последовательное решение поставленных задач.

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит развернутый анализ современного состояния волоконно-оптических и RoF-систем, технологий выделенных подсетей (VLAN), дробного λ-переключения ($F_\lambda S$) и оптической коммутации. На основе этого анализа обоснован выбор ФИМД как дополнительного ресурса управления и сформулированы задачи исследования.

Вторая глава посвящена методике построения высокоизбирательного демультиплексора на основе двухрезонаторного интерферометра Фабри-Перо (ДИФП) с оптимизированным гребенчатым зеркалом. Представлены результаты численного моделирования в пакете HFSS, получена оценка разрешающей способности устройства и показана возможность его применения для коммутации чирпированных пакетов.

Третья глава содержит разработку методов и схем RoF-сегментов с ФИМД-управлением, включая анализ стабильности схем с двумя лазерами, предложение новых архитектур с одним источником излучения, а также метод преобразования изменения амплитуды при изменении длины волны на основе эрбиевого усилителя (EDFA). Показано, что использование ФИМД позволяет формировать динамические радиоVLAN на физическом уровне, снижая задержки более чем в 100 раз по сравнению с традиционными подходами.

В четвёртой главе предложено применение разработанных методов для технологических сетей – внутритрубной связи и мониторинга. Выполнено моделирование возбуждения волноводных мод (TE01 и TM11), позволяющее адаптивно переключать режимы работы радиолинии, получены рекомендации по построению разветвлённых волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) для минимизации искажений ФИМД-сигналов, а также проведён сравнительный анализ протоколов маршрутизации.

В заключении обобщены основные результаты, сформулированы выводы и определены перспективы дальнейших исследований.

Приложения содержат теоретические материалы, тексты программ и акты о внедрении результатов в учебный процесс и производственную деятельность.

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

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, подтверждается опубликованными по материалам исследования работами, включая 4 статьи в научных изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, 3 статьи в ведущих зарубежных рецензируемых журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, 11 статей в других изданиях, 1 учебно-методическое пособие, 1 свидетельство о регистрации программы ЭВМ.

Диссертация отличается логичной и последовательной структурой и сопровождается достаточным количеством иллюстраций и таблиц, которые наглядно подтверждают ключевые результаты и выводы исследования. Содержание автореферата полностью отражает основные положения, изложенные в диссертационной работе.

Полученные результаты соответствуют заявленным автором пунктам паспорта научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных автором результатов не вызывает сомнений, поскольку они опираются на известные физические принципы, подтверждаются проверкой адекватности аналитических моделей с помощью численного моделирования и согласуются с данными, представленными у других авторов.

Научная новизна работы

Наиболее существенные новые научные результаты, полученные автором, заключаются 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 [~$1{,}6\cdot10^{-5}$ нм ≤ $\Delta\lambda \leq 5\cdot10^{-3}$ 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. Разработана 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 состоит в развитии методологии управления оптическими сетями на основе переноса функций управления на физический уровень с использованием эффекта чирпирования оптических импульсов. Разработанные математические и имитационные модели распространения и преобразования ФИМД-сигналов, методика расчёта высокоизбирательного интерференционного демультиплексора, а также метод преобразования амплитуды при изменении длины волны на базе

эрбиевого усилителя вносят вклад в теорию волоконно-оптических и радиофотонных систем, а также в теорию полностью оптической пакетной коммутации.

Практическая ценность подтверждается следующим: разработанная методика построения высокоизбирательного демультиплексора позволяет за счёт уменьшения коммутируемой λ-части повысить производительность указанных систем связи. Применение ФИМД-управления обеспечивает снижение задержек переключения пакетов с сотен миллисекунд до единиц наносекунд, повышая адаптивность сети. Предложенный метод преобразования изменения амплитуды при изменении длины волны для оптического сигнала на основе эрбиевого усилителя позволяет реализовать полностью оптическое управление фазированными антенными решётками без привлечения дополнительного телекоммуникационного ресурса, что упрощает аппаратуру, например, для БПЛА и промышленных систем. Разработанная архитектура ВОЛС с многоярусной топологией даёт возможность внедрять предложенные решения в существующие городские сети MAN и xPON без существенной модернизации.

Вопросы и замечания по диссертационной работе

Несмотря на высокий научный уровень работы, можно отметить следующие замечания.

По существу содержания диссертации

1. В п. 1.1 (рис. 1.3) представлена схема генерации разностной частоты с использованием эффекта биений двух оптических волн от двух различных источников лазерного излучения. Данная схема обладает несомненно простотой реализации. Однако, на мой взгляд, каждый из источников лазерного излучения обладает своей нестабильностью, что в результате может привести к ухудшению характеристик RoF-системы в целом.

2. В п. 1.1 (рис. 1.4) и п. 3.3.2 (рис. 3.12) представлены принцип генерации радиочастоты с использованием внешней модуляции модулятора Маха-Цендера и организация RoF-сегмента с использованием модулятора Маха-Цендера соответственно. В обоих схемах используется полосовой фильтр для подавления несущего колебания. В работах казанской школы радиофотоники под руководством проф. Морозова О.Г. было показано, что, задавая определенным образом положение рабочей точки на модуляционной характеристике, можно добиться генерации двухчастотного излучения с подавленным несущим колебанием.

3. В главе 2 представлены результаты моделирования волоконно-оптического высокоизбирательного демультиплексора на основе интерферометра Фабри-Перо в пакетно-коммутирующем сегменте сети. Несомненно, интерферометры Фабри-Перо обладают такими достоинствами, как простота оптической схемы, очень высокое спектральное разрешение и т.п. Однако такие интерферометры имеют и существенные недостатки, такие как критичность к юстировке, чувствительность к вибрациям и

температурным изменениям, требования к качеству покрытий зеркал и т.п. Указанные недостатки существенно ограничивают применение таких интерферометров в устройствах и системах промышленного исполнения. Целесообразно было бы в главе 2 учесть влияние данных дестабилизирующих факторов на результирующие характеристики проектируемого волоконно-оптического высокоизбирательного демультиплексора на основе интерферометра Фабри-Перо.

4. В главе 3 рассматриваются схемы реализации RoF-сегмента с нелинейным сдвигом длины волны. На кафедре телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» имеется достаточный опыт создания отдельных схем и устройств на основе фотонных интегральных схем (ФИС). Целесообразно было бы рассмотреть возможность реализации RoF-сегмента с ФИМД-управлением (функция изменения мгновенной длины волны оптического импульса) на базе ФИС, т.к. они идеально подходят для скоростной передачи и параллельной обработки больших потоков данных.

5. В п. 3.5 исследуется вопрос о возможности применения эрбиевого волоконно-оптического усилителя типа EDFA для реализации метода преобразования изменения амплитуды при изменении длины волны для оптического сигнала. Однако в диссертационной работе отсутствуют требования к техническим характеристикам с целью выбора необходимой марки и модели из достаточного многообразия серийно выпускаемых волоконно-оптических усилителей типа EDFA.

6. В главе 4 рассматривается вопрос передачи информационно-управляющего ФИМД-сигнала по волоконно-оптической части RoF достаточной протяженности, на которой действие дисперсии групповых скоростей будет значительным. На мой взгляд, целесообразно было бы в данном случае проанализировать вероятность появления межсимвольной интерференции. Это обусловлено тем, что при появлении межсимвольной интерференции возможность реализации RoF-сегмента с ФИМД-управлением ставится под сомнение.

По представлению результатов диссертации.

Представленная работа не свободна от издержек стилистического характера. Кроме того, присутствует и ряд погрешностей в оформлении результатов работы, которые были доведены до автора.

Указанные замечания не ставят под сомнение научную ценность и практическую значимость работы, а скорее указывают на направления для дальнейших исследований.

Заключение

Диссертация Головиной Евгении Юрьевны является завершённым научно-квалификационным исследованием, в котором решена актуальная научно-техническая задача – повышение эффективности передачи данных в выделенных подсетях за счёт использования управляющих чирпированных

оптических импульсов. Полученные результаты обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью, а их достоверность обеспечена корректным применением современных методов моделирования и анализа.

Диссертационная работа «Методы повышения эффективности передачи данных в выделенных подсетях на основе управляющих чирпированных оптических импульсов» соответствует паспорту специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций по пунктам 2, 4, 11, а также 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 технических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой спортивной инженерии, директор научно-исследовательского института прикладной электродинамики, фотоники и живых систем ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», почетный работник сферы образования Российской Федерации

Нуреев Ильнур Ильдарович

Подпись Нуреева И.И.
заверяю. Начальник управления делопроизводства и контроля

«26» августа 2026г.

Докторская диссертация защищена по специальности:

05.11.13 - Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

Даю согласие на обработку персональных данных.

Адрес места основной работы: 420111, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 10.

Рабочий телефон: +7 (843) 231 59 12

Адрес эл.почты: IINureev@kai.ru