

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Садиковой Диляры Ильиничны «Средства контроля частотных характеристик селективных элементов волоконно-оптических систем передачи со спектральным разделением каналов на основе полигармонических способов»

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

на оппонирование представлены:

- диссертация, 176 стр. с Приложением и списком использованных источников, включающим 107 наименований;
- автореферат диссертации объемом 1 п.л.;
- 20 печатных работ, из которых 5 являются публикациями в рецензируемых журналах, одна статья в зарубежном научном издании, входящем в базы данных цитирования Web of Science и Scopus, 4 патента РФ на изобретение и полезную модель, одна статья в журнале, включенном в перечень ВАК по смежным специальностям, две статьи в журнале, включенном в базу данных РИНЦ, семь работ в реферируемых трудах и сборниках докладов международных научно-технических конференций.

1. Актуальность темы исследования

На сегодняшний день спектральное уплотнение каналов (WDM – Wavelength Division Multiplexing) фактически является базовой технологией построения всех без исключения сегментов современных телекоммуникационных сетей. Так, реализация транспортных сетей связи последнего поколения просто не представляется возможным без применения DWDM-систем («плотное» спектральное уплотнение – Dense WDM), в то время как пассивные оптические сети (PON – Passive Optical Networks) широкополосного доступа непосредственно базируются на технологии CWDM («грубое» спектральное уплотнение – Coarse WDM). Более того применение CWDM регламентировано отдельными спецификациями ратифицированных сетевых стандартов IEEE 802.3ae, 802.3ba и 802.3bs даже для компактных многопортовых инфокоммуникационных сетей разного назначения – в том числе при построении сетей хранения данных, вычислительных центров и центров обработки данных.

В условиях экспоненциально возрастающих требований к повышению скорости передачи, качеству и надежности каналов связи при одновременно возрастающей сложности самой архитектуры оптических сетей и увеличении цены их простоя при авариях особенно актуальной становится комплексная задача повышения надежности оптического линейного тракта (ОЛТ) в целом. Данная проблема охватывает достаточно широкий круг вопросов и является приоритетным направлением для любого оператора сети, куда входит и важнейшая задача технической эксплуатации – поддержание характеристик компонентов ОЛТ на надлежащем уровне. При этом если задача непрерывного контроля состояния оптических



волокон (ОВ) ОЛТ успешно решается путем инсталляции систем автоматического мониторинга оптических кабелей связи, которые также нередко называют системами удаленного контроля ОВ, достаточно широко представленных на рынке телекоммуникаций РФ, то вопрос мониторинга спектральных параметров ключевых компонентов ОЛТ волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) WDM – оптических мультиплексоров/демультиплексоров – по-прежнему остается открытым. Такие устройства, как известно, реализуются на базе селективных элементов (СЭ), достаточно чувствительных к температурным воздействиям и механическим деформациям, негативно влияющим на базовые характеристики СЭ в виде изменения таких параметров, как центральная длина волны и полоса пропускания канала, относительно номинальных жестко регламентированных значений. Последнее может быть критическим особенно для DWDM и HDWDM систем, отличающихся экстремально малым интервалом между каналами – от 0.3 нм и менее. Вышесказанное требует создания качественно новых систем мониторинга компонентов ОЛТ ВОСП-WDM и определяет актуальность диссертационной работы Садиковой Диляры Ильиничны, непосредственно посвященной решению задачи разработки новых средств контроля спектральных параметров СЭ компонентов ОЛТ ВОСП-WDM на основе полигармонических способов. Данный факт также подтверждается соответствием темы диссертации приоритетному направлению №3 «Информационно-телекоммуникационные системы» перечня приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и критических технологий Российской Федерации, утвержденного указом Президента №899 от 07.06.2011.

2. Оценка структуры и содержания работы

Структура диссертационной работы адекватна ее содержанию, которое включает в себя введение, четыре главы, заключение, список используемой литературы и приложение.

Во введении сформулированы актуальность темы исследования, степень проработанности темы, задачи исследования, научная новизна работы и положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен детальный обзор и сравнительный анализ метрологических и технико-экономических характеристик существующих и перспективных систем мониторинга ВОСП-WDM на основе методов спектрального и векторного анализа, а также частотной рефлектометрии, предназначенных для контроля и управления спектральными параметрами СЭ, который позволил сопоставить ключевые преимущества, выявить недостатки известных решений и сформулировать перечень задач диссертационного исследования.

Вторая глава посвящена разработке и исследованию способов полигармонического симметричного, фиксированного на заданной частоте зондирования узкополосных СЭ,

реализующего измерительное преобразование и получение информации об изменении значения центральной длины волны, а при комплексном использовании сканирования в заданном диапазоне частот – ширины полосы пропускания СЭ на основе анализа амплитудных параметров огибающих биений пар частотных составляющих зондирующего излучения на его входе и выходе. Предложены оригинальные полигармонические способы четырехчастотного фиксированного симметричного зондирования узкополосных СЭ на заданной частоте с возможностью определения как центральной длины волны, так и полосы пропускания узкополосных СЭ, и двухчастотный способ контроля частотных характеристик узкополосных СЭ на основе комбинированного, фиксированного симметричного на заданной частоте и сканирующего в заданном диапазоне частот, зондирования с возможностью определения как центральной длины волны, так и полосы пропускания элемента, новизна которых подтверждена патентами РФ на изобретение и полезную модель. Представлено теоретическое обоснование, разработаны структурные схемы их реализации. Проведены анализ и оценка методических погрешностей предложенных способов.

В третьей главе разрабатываются и исследуются полигармонические способы зондирования широкополосных СЭ и контроля их базовых спектральных параметров. Предложен оригинальный полигармонический способ контроля частотных характеристик широкополосных каналобразующих оптических элементов на основе фиксированного симметричного на заданной частоте и сканирующего в заданном диапазоне частот зондирования и обработке полученной информации по параметрам огибающей биений между зондирующими компонентами, новизна которого также подтверждена патентами РФ на изобретение и полезную модель. Разработаны структурная схема и алгоритмы реализации указанного способа, проведена оценка методических погрешностей с учетом нестабильности рабочих режимов модулятора Маха-Цендера при формировании двухчастотного зондирующего излучения.

В четвертой главе проведено компьютерное моделирование в коммерческом ПО Optiwave процедуры формирования двух- и четырехчастотного оптического сигнала для зондирования СЭ с последующей экспериментальной верификацией. Для реализации последней в качестве узко- и широкополосных СЭ было предложено использовать специализированные волоконные решетки Брэгга (ВРБ) с гауссовым профилем. Причем в случае аналога широкополосной ВРБ за счет увеличенного наведенного показателя преломления удалось добиться плоской вершины спектрального отклика. Предложены структурные схемы реализации зондирующего звена системы мониторинга компонентов ОЛТ ВОСП-WDM, разработаны практические рекомендации по выбору его элементной базы, определены направления дальнейших исследований по теме диссертации.

В заключении представлены основные научные результаты диссертационной работы.

В приложении приводятся акты внедрения результатов диссертационной работы в учебном и научно-исследовательском процессах.

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

Обоснованность результатов диссертационного исследования подтверждена применением известных теоретических положений. Автор корректно использует научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. В диссертации изучены и критически проанализировано большое количество научных работ отечественных и зарубежных исследователей, посвященных вопросам проектирования и реализации систем мониторинга ВОСП-WDM.

4. Достоверность и новизна полученных результатов

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработан оригинальный полигармонический четырехчастотный способ фиксированного симметричного зондирования узкополосных СЭ на заданной частоте с возможностью определения центральной длины волны и полосы пропускания узкополосных СЭ на основе анализа амплитудных параметров огибающих биений частотных составляющих зондирующего излучения на его входе и выходе.

2. Разработан оригинальный полигармонический двухчастотный способ контроля спектральных параметров СЭ на основе комбинированного фиксированного симметричного на заданной частоте и сканирующего в заданном диапазоне частот, зондирования с возможностью определения как центральной длины волны, так и полосы пропускания СЭ.

3. Разработан оригинальный способ и варианты его реализации для полигармонического симметричного, фиксированного на заданной частоте и/или сканирующего в заданном диапазоне частот, зондирования широкополосных СЭ с плоской вершиной для получения информации о сдвиге их центральной длины волны и изменении ширины полосы пропускания.

4. На основе предложенных способов и средств разработаны научно-технические основы проектирования зондирующего звена системы мониторинга компонентов ОЛТ ВОСП-WDM.

Достоверность разработанных математических моделей подтверждается результатами имитационного моделирования и экспериментальной апробации предложенного подхода, выполненной с применением сертифицированного измерительного оборудования, которая показала хорошее совпадение результатов экспериментальных и теоретических исследований.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на I-IV Международной научно-технической конференции (МНТК) молодых ученых, аспирантов и студентов «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы» (г. Казань, 2013, 2014, 2016, 2017 гг.), XV и XVI МНТК «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» и XI и XII МНТК «Оптические технологии в телекоммуникациях» (г. Казань, 2014 г., г. Уфа, 2015 г.), МНТК «Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетнокосмической промышленности» (г. Казань, 2014 г.), IV и VI заочной МНТК «Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации» (г. Тольятти, 2014, 2016 гг.), молодежной МНТК «XXII Туполевские чтения (школа молодых ученых)» (г. Казань, 2015 г.), 19-й Всероссийской молодежной научной школесеминаре «Актуальные проблемы физической и функциональной электроники» (г. Ульяновск, 2016 г.).

По материалам диссертации опубликовано 20 научных работ, в том числе 1 статья в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, 1 статья в зарубежном научном издании, входящем в базы цитирования Web of Science и Scopus, 5 статей в рецензируемых научных журналах, 7 докладов в сборниках трудов международных и российских научно-технических конференций. Несомненно следует отдельно отметить 4 патента РФ на изобретение и полезную модель.

5. Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в разработке концепции построения системы мониторинга компонентов ОЛТ ВОСП-WDM с применением полигармонических способов зондирования тестируемых СЭ, за счет чего достигается повышение эффективности их функционирования, по сравнению с известными решениями, и научно-технических основ проектирования зондирующего звена таких систем на базе предложенного подхода.

Практическая значимость диссертационной работы также не вызывает сомнений и заключается в разработке практических рекомендаций по проектированию систем мониторинга компонентов ОЛТ ВОСП-WDM на основе способов полигармонического симметричного и сканирующего зондирования СЭ, включая, в том числе:

- по выбору элементной базы;
- по разработке экспериментальных стендов для калибровки и контроля узлов проектируемой системы мониторинга.

6. Замечания по диссертационной работе

1. Очевидно, что сравнительный анализ сопоставления результатов численного моделирования и теоретической зависимости коэффициента модуляции от смещения длины волны Брэгга ВРБ, проводимый в п.2.2, должен включать в себя непосредственно количественную оценку погрешности расхождения.

2. В п.п. 2.5.1 отмечается, что графики зависимости определения погрешности оценки центральной длины волны от соотношения сигнал/шум (SNR) рис. 2.19, 2.21, 2.23 были построены «при линии лазерного излучения 100 кГц». Терминологически непонятно, что это за параметр. Кроме того, в тексте диссертации следовало бы дополнительно прокомментировать выбор его значения.

3. В п.п. 3.5 диссертации, посвященному анализу методической погрешности предложенного способа полигармонического зондирования широкополосных СЭ, отсутствуют сведения о ее конкретных значениях.

4. В гл. 1, посвященной сравнительному анализу метрологических и технико-экономических характеристик существующих и перспективных систем мониторинга ВОСП-WDM, автор отмечает чувствительность измерительных схем к поляризационным эффектам (в том числе, двулучепреломлению оптических волокон (ОВ), поляризационной модовой дисперсии (ПМД) и потерям, наведенным ПМД). С этой точки зрения, возможно следовало бы прокомментировать выбор ОВ – стандартного одномодового ОВ рек. ITU-T G.652 для реализации экспериментальных схем гл. 4, в то время как применение специализированных ОВ с сохранением/управлением поляризацией и/или контроллеров поляризации позволило бы повысить эффективность исследуемой схемы зондирующего звена системы мониторинга компонентов ОЛТ ВОСП-WDM.

5. При описании экспериментальных исследований, проведенных в гл. 4, автор подробно описывает и перечисляет используемое измерительное оборудование, и при этом опускает представляющие наибольший интерес детали. Например, в п. 4.3 отмечается, что было изготовлено по 10 ВРБ для имитации узко- и широкополосного СЭ, они «...использовались для отработки вариантов реализации разработанных способов зондирования на фиксированной частоте и комбинированного со сканированием в заданном диапазоне частот», при этом отсутствуют, например, сведения о разбросе значений длины волны Брэгга в случае аналога узкополосного СЭ и полосы пропускания – для аналога широкополосного СЭ.

6. Несомненный интерес, с точки зрения экспериментальной верификации предложенных способов полигармонического зондирования СЭ ВОСП-WDM, представляет проведение тестов по непосредственной оценке сдвига центральной длины волны канала и полосы пропускания, обусловленные внешними факторами воздействия – температурой и

механическим напряжением. При этом для имитации оптического мультиплексора DWDM было бы достаточно использовать две ВРБ с близкими значениями длины волны Брэгга, отличающимися на 0.3 нм и менее, подключенные через циркулятор, с последующим оказанием прецизионного внешнего механического воздействия на один из «каналов», измерением сдвига «центральной длины волны канала» и изменения его «полосы пропускания» относительно опорных значений и оценкой погрешности. Причем все эти компоненты схемы непосредственно есть в наличии в лаборатории волоконно-оптической метрологии НИИИ ПРЭФЖС, исходя из описания экспериментальных исследований в гл. 4. Очевидно, что диссертационная работа смотрелась бы еще более выигрышно.

7. Замечания общего характера:

а) список сокращений, используемых в диссертации, содержит 121 наименование на 6 страницах, что значительно затрудняет прочтение текста;

г) диссертация не избавлена от опечаток – стр. 36, 38, 42, 60, 67, 83, 96, 111, 122 и др.;

д) используется явно неудачная размерность осей абсцисс рис. 1.14...1.16 – следовало бы использовать «пс» вместо «секунд» и 10^{-10} ;

е) в ряде случаев на рис. вообще отсутствуют обозначения осей координат и размерность (например, рис. 2.6 – 2.8);

ж) в тексте диссертации, в отличие от автореферата, рис. 4.21 и 4.22 перепутаны друг с другом.

Отмеченные недостатки носят частный характер, не снижают научную значимость диссертационной работы Садиковой Д.И. и не влияют на общую положительную оценку проведенного исследования.

7. Заключение

Диссертация Садиковой Диляры Ильиничны «Средства контроля частотных характеристик селективных элементов волоконно-оптических систем передачи со спектральным разделением каналов на основе полигармонических способов» по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи разработки научно-технических основ проектирования узлов систем мониторинга компонентов ОЛТ ВОСП-WDM, относящейся к приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации.

Разработанные в диссертации полигармонические способы зондирования узко- и широкополосных СЭ компонентов ОЛТ ВОСП-WDM могут быть использованы для

проектирования новых систем мониторинга, в том числе и в виде практических рекомендаций по реализации отдельных технических решений.

Диссертация Садиковой Д.И. является законченным научным исследованием, обладающим научной новизной и практической значимостью, что соответствует требованиям п. 9, 10, 11 «Положения о присуждении ученых степеней» (ред. 21.04.2016), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук» по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Официальный оппонент,

доктор технических наук, профессор
кафедры «Линии связи и измерения в
технике связи, ФГБОУ ВО «Поволжский
государственный университет
телекоммуникаций и информатики»



А.В. Бурдин

«29» октября 2018г.

Бурдин Антон Владимирович
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», кафедра «Линии связи и измерения в технике связи».
443090, Россия, г. Самара, Московское шоссе, д. 77 Тел.: +7 (846) 228-00-66,
E-mail: bourdine-av@psuti.ru

Личную подпись д.т.н., доцента Бурдина А.В. заверяю

Проректор по НИ ФГБОУ ВО ПГУТИ,

д.ф-м.н., профессор

«29» октября 2018 г.



/ О.В. Осипов /