

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОПОНЕНТА

на диссертационную работу Шелемба Ивана Сергеевича
**«Методы опроса распределенных волоконно-оптических измерительных систем
и их практическое применение»**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 01.04.05 – «Оптика»

На оппонирование представлены:

- диссертация объемом 135 стр. с Приложениями и списком использованных источников, включающим 113 наименований;
- автореферат диссертации объемом 1 п.л.;
- 43 печатные работы, из которых 11 являются публикациями в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК, и 2 статьи в изданиях, цитируемых в базе данных Scopus, 4 четыре патента РФ на изобретение, 26 работ в реферируемых трудах и сборниках докладов международных научно-технических конференций.

1. Актуальность темы исследования

В настоящее время волоконно-оптические средства мониторинга технических объектов являются наиболее перспективными. Ряд решающих преимуществ, таких как малый размер чувствительного элемента, невосприимчивость к электромагнитным полям и радиационная стойкость, возможность объединения точечных датчиков в группы для построения квази-распределенных измерительных сетей способствуют их широкому внедрению в нефтегазовой отрасли (при добыче, транспортировке и переработке углеводородов), в строительстве ответственных сооружений (например, контроль состояния гидротехнических сооружений), атомной энергетике и т.д.

В зависимости от поставленной задачи волоконно-оптическая измерительная система строится по точечному (несколько датчиков на волоконных брэгговских решетках), квази-распределенному (набор из большого числа датчиков, объединенных в группы) и распределенному (в качестве чувствительного элемента выступает непосредственно оптическое волокно в кабеле) принципам. Несмотря на определенные различия этих сетей, общим для них является наличие оптико-электронного устройства преобразования оптических сигналов с датчиков, осуществляющее контроль спектральных характеристик отраженного сигнала. Традиционно, такие устройства строятся на трех основных принципах (на примере точечных датчиков). Первые – спектрометры на объемных оптических элементах (например, I-MON

компания Ibsen). В качестве дисперсионного оптического элемента используется дифракционная решетка, а полученный спектр регистрируется с помощью ПЗС-линейки. Такие устройства обладают сравнительно небольшой ценой, и достаточной точностью (погрешность на уровне ± 5 пм), однако наличие объемных оптических элементов ограничивает надежность таких систем в жестких условиях эксплуатации. Вторые – устройства опроса на основе перестраиваемого лазера/фильтра (например, BraggMeter компании Fiber Sensing, ASTRO компании Инверсия-сенсор). В данных устройствах используется перестраиваемый фильтр, построенный, чаще всего, по MEMS-технологии. Ограниченное число производителей таких устройств, а также сложность их реализации, делает их достаточно дорогими, а небольшая скорость опроса датчиков (обычно, не более 100 Гц) ограничивает области применения таких устройств. Третьи – радиофотонные устройства (работы О.Г. Морозова, Yang Ping Yao и т.д.) работают на принципе переноса обработки сигнала из оптической части спектра в радиочастотный диапазон. Последние позволяют достичь высокой точности и скорости опроса и считаются одними из наиболее перспективных устройств. Однако в настоящее время они не имеют такой широкой апробации и поэтому не рассматриваются с точки зрения коммерческих устройств.

В работе автора убедительно показано, что в настоящее время остро стоит проблема разработки недорогих и одновременно эффективных (с точки зрения метрологических и эксплуатационных характеристик) устройств опроса волоконно-оптических датчиков. Решению данной проблемы посвящены труды многих исследовательских групп в ведущих российских и зарубежных научных учреждениях.

Представленный анализ подтверждает высокую актуальность работы соискателя и ее значимость.

2. Оценка структуры и содержания работы

Структура диссертационной работы адекватна ее содержанию, которое включает в себя введение, три главы, заключение, список используемой литературы и приложения

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

В первой главе представлен детальный анализ основ построения и физические принципы работы точечных (на волоконных брэгговских решетках, включая вопросы выделения информационных составляющих о физических воздействиях в мультиплексированном отклике); распределенных (использующих рэлеевское рассеяние, комбинационное рассеяние, рассеяние Мандельштама-Бриллюэна, отмечены их особенности, обусловленные физическими

процессами, лежащими в основе каждой из систем и методы их регистрации) и квази-распределенных (в зависимости от регистрируемой модуляции параметров: амплитудной, фазовой, частотной и поляризационной) датчиков.

Во второй главе представлены результаты разработки и апробации волоконно-оптических измерительных систем на основе квази-распределенных датчиков, где в качестве устройства опроса используется предложенный автором перестраиваемый эрбиевый лазер на основе ВБР (в качестве элемента перестройки в сочетании с оригинальным устройством ее сжатия). Представлены результаты апробации разработанных систем на примере контроля температуры статорных обмоток турбогенераторов, уникальных сооружений сложной топологии (исследование деформации несущих конструкций) и других (порядка десяти) объектов.

В третьей главе представлены результаты разработки устройства для опроса распределенного датчика температуры на основе комбинационного рассеяния. В основу устройства положен предложенный автором метод фильтрации информационных составляющих на основе волоконных брэгговских решеток и направленных спектрально-селективных ответвителей. В работе представлены результаты разработки и апробации извещателя пожарного теплового, системы контроля криогенных температур сверхпроводящих шинопроводов, температур высоковольтных кабельных линий распределительных электрических сетей и нефтяных скважин, в регистрирующем блоке которых применен предложенный метод.

В заключении представлены основные научные результаты диссертационной работы.

В приложениях приводятся акты внедрения результатов диссертационной работы на производственных объектах.

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 волоконно-оптических измерительных систем.

4. Достоверность и новизна полученных результатов

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработана и реализована полностью волоконная схема устройства опроса брэгговских датчиков на основе эрбиевого лазера с перестраиваемой ВБР, интерферометром Маха-Цендера для устранения нелинейностей перестраиваемой ВБР, и термически стабилизированной ВБР для привязки к абсолютному значению длины волны. Точность определения длины волны составила 15 пм для диапазона перестройки 20 нм и 30 пм для диапазона перестройки 45 нм.

2. Разработана и реализована схема устройства опроса ВБР датчиков с гибридным (одновременно временным и спектральным) типом мультиплексирования на основе рефлектометра и перестраиваемой брэгговской решетки. Достигнута чувствительность деформации ВБР на уровне $0,5 \cdot 10^{-4}$. Предложено применение метода для мониторинга датчиков конечных положений.

3. Разработана и реализована схема опроса распределённого датчика температуры на основе комбинационного рассеяния в одномодовом и многомодовом волокнах с использованием импульсного волоконного лазера и волоконных фильтров информационных составляющих на основе спектрально-селективных ответвителей. Реализованы коммерческие версии приборов с характеристиками на уровне мировых аналогов: температурное разрешение $0,4^\circ\text{C}$ на длине линии в 16 км.

Достоверность разработанных методов подтверждается результатами их экспериментальной апробации, выполненной с применением сертифицированного измерительного оборудования.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях и семинарах: Научно-практическая конференция молодых учёных и студентов НГУ и ИАиЭ СО РАН «Информационно-вычислительные системы анализа и синтеза изображения» (2006 г. – Новосибирск); VIII Международная конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2006» (26-28 сентября 2006 г. – Новосибирск); Российский семинар по волоконным лазерам 2007 (4-6 апреля 2007 г. – Новосибирск); 16th International Laser Physics Workshop LPHYS'07 (20-24 августа 2007 г. – Леон, Мексика); 6th Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics APCOM'2007 (15-18 сентября 2007 г. – Владивосток); Симпозиум «Нанофотоника 2007» (18-22 сентября 2007 г. – Черноголовка); Школа-семинар "Инновации: от идеи до продукта" (2008 г. – Новосибирск); Российский семинар по волоконным лазерам (1-4 апреля 2008 г. – Саратов); 13th conference on Laser Optics, LO 2008 (23-28 июня 2008 г. - Санкт-Петербург, Россия); 17th International Laser Physics Workshop LPHYS'08 (30 июня - 4 июля 2008 г. - Трондхейм, Норвегия); Российский семинар по волоконным лазерам (31 марта - 2 апреля 2009 г. - Уфа); The 9th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments ISMTII'2009

(28 июня - 2 июля 2009 г. - Санкт-Петербург); 18th International Laser Physics Workshop LPHYS'09 (13-17 июля 2009 г. - Барселона, Испания); Всероссийская конференция по волоконной оптике (8-9 октября 2009 г. - Пермь); Молодёжная конференция «Фотоника и оптические технологии» (10-11 февраля 2010 г. - Новосибирск); IV Российский семинар по волоконным лазерам (19-22 апреля 2010 г. - Ульяновск); Первая Национальная конференция по прикладной сверхпроводимости (6-8 декабря 2011 г. - Москва); VI Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные вопросы строительства» (9-11 апреля 2013 г. - Новосибирск); 23 International Conference on Optical Fiber Sensors (2-6 июня 2014 г. - Сантандер, Испания); Всероссийская конференция по волоконной оптике ВКВО-2017 (3-6 октября 2017 г. - Пермь).

По материалам диссертации опубликовано 43 научные работы, в том числе 11 статей в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, 2 статьи в изданиях, входящих в базу цитирования Scopus, 26 работ в рецензируемых научных журналах и сборниках трудов международных и российских научно-технических конференций. Несомненно, следует отдельно отметить 4 патента РФ на изобретение.

5. Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Несмотря на ярко выраженный прикладной характер, данная работа имеет определенную теоретическую значимость, а именно предложены методы построения полностью волоконных устройств опроса точечных и распределенных датчиков, отличающиеся простотой и стабильностью.

Практическая значимость работы подтверждается разработкой модельного ряда коммерческих волоконно-оптических измерительных систем как точечного, так и распределенного типа, прошедших широкую апробацию на объектах разных отраслей, что подтверждается соответствующими актами внедрения.

6. Замечания по диссертационной работе

По существу содержания диссертации

1. Автором некорректно применяется терминология в части классификации массива точечных датчиков на основе волоконных брэгговских решеток. В одном случае массив датчиков на основе волоконных брэгговских решеток относится к квази-распределенным системам (стр. 4, 7, 17). В другом случае – к распределенным системам, в которых вся длина оптического волокна является чувствительным элементом (стр. 5, 18).

2. В главе 2 представлены результаты исследования характеристик разработанного перестраиваемого эрбиевого лазера на основе перестраиваемой волоконной брэгговской решетки при использовании разных способов перестройки и в различных конфигурациях резонатора. Научный интерес представляет также и исследование долговременной стабильности параметров лазера, так как дрейф параметров лазера будет влиять на тактико-технические характеристики волоконно-оптических измерительных систем.

3. Диссертационное исследование посвящено разработке методов опроса волоконно-оптических измерительных систем, однако недостаточно полно рассмотрены факторы, влияющие на пространственное разрешение и точность измерений.

4. При описании экспериментальных исследований, проведенных в гл. 2 и 3, автор подробно описывает и перечисляет процедуры проведения экспериментов. При этом опускает представляющие наибольший интерес процессы калибровки волоконно-оптических датчиков как однопараметрических (например, датчики температуры), так и совмещенных (например, датчики деформации и температуры). Очевидно, что диссертационная работа смотрелась бы еще более выигрышно.

По представлению результатов диссертации.

Представленная работа не свободна от издержек стилистического характера, в частности, отсутствует список сокращений и обозначений, большое количество аббревиатур затрудняет осмысливание текста. Кроме того, присутствует и ряд погрешностей в оформлении результатов работы, которые были доведены до автора.

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

7. Заключение

Диссертация Шелемба Ивана Сергеевича «Методы опроса распределенных волоконно-оптических измерительных систем и их практическое применение» по специальности 01.04.05 – «Оптика», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи по разработке методов построения полностью волоконных устройств опроса точечных и распределенных датчиков, отличающихся простотой и стабильностью, с их последующей практической реализацией на уровне коммерческих устройств.

Разработанные в диссертации методы опроса распределенных волоконно-оптических измерительных систем могут быть использованы для проектирования новых систем мониторинга, в том числе и в виде практических рекомендаций по реализации отдельных технических решений.

Диссертация Шелемба И.С. является законченным научным исследованием, обладающим научной новизной и практической значимостью, удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации (п.9, 10, 11 «Положения о присуждении ученых степеней» (ред. 21.04.2016)), предъявляемым к кандидатским диссертациям, и заслуживает положительной оценки, а ее автор достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Официальный оппонент,

профессор кафедры «Радиофотоники и микроволновых технологий», заместитель директора научно-исследовательского института прикладной электродинамики, фотоники и живых систем ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», д-р техн. наук, доцент

И.И. Нуреев
«7» декабря 2018г.

Нуреев Ильнур Ильдарович
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», кафедра «Радиофотоника и микроволновые технологии».
420111, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10. Тел.: +7 (843) 231-59-18,
E-mail: n2i2@mail.ru

