

Отзыв официального оппонента

о диссертационной работе Таранова Михаила Александровича

«Волоконно-оптический низкокогерентный рэлеевский рефлектометр для распределённых измерений относительной деформации и температуры»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 «Радиофизика»

Актуальность темы исследования

Волоконная оптика, возникшая менее 50 лет назад, как отрасль науки и техники прошла за это время впечатляющий путь. В настоящее время волоконно-оптические системы связи стали важнейшей основой инфраструктуры современного цифрового мира и продолжают бурно развиваться.

Привлекательность и повсеместная распространенность волоконно-оптических технологий обусловлены присущими оптическому волокну особыми свойствами: практически отсутствующей восприимчивостью к электромагнитным помехам, малыми габаритами и массой, удобством интеграции с сверхкомпактными устройствами современной фотоники и квантовой электроники. Кроме того, оптические волокна стали удобной основой для оптических сенсоров, позволяющих как локальные, так и распределённые измерения механических вибраций, температуры и других физических полей. При этом, у значительной части распределённых волоконно-оптических датчиков детектируемый сигнал формируется благодаря эффектам оптического рассеяния в волокне. Часто эта область науки и техники называется рефлектометрией оптических волокон. В настоящее время датчики, использующие рефлектометрию волокон, применяются для решения широкого набора практических задач, в частности для мониторинга структурного состояния и охраны крупных сооружений инфраструктуры: тоннелей, мостов, трубопроводов, железных дорог, автомагистралей и линий электропередач. Возрастающие требования к измерительной точности, диапазонам измеряемых величин, технологичности, а также надежности распределенных датчиков обуславливают актуальность поиска новых решений в сфере волоконно-оптической сенсорики.

Диссертационная работа М.А. Таранова посвящена одному из таких новых решений – технологии распределенных измерений деформации и температуры оптического волокна за счет регистрации спектров рассеяния Рэлея при использовании спектрально-перестраиваемого источника излучения с низкой степенью когерентности. В указанной работе подробно изучены особенности рэлеевского рассеяния в одномодовых оптических волокнах, обусловленные низкой степенью когерентности излучения зондирующего

волокно лазера с перестраиваемой длиной волны; теоретически и экспериментально обосновано, что низкокогерентный рефлектометр на основе регистрации спектров рассеяния Рэлея позволяет обеспечить измерительные характеристики, сопоставимые, а по ряду параметров лучшие, чем достижимые с помощью распространенных в настоящее время для измерения температуры и натяжения рефлектометров бриллоэновского рассеяния (BOTDR). Таким образом, диссертационная работа М.А. Таранова актуальна как с теоретической, так и с прикладной точек зрения.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка цитированной литературы, списка публикаций автора по теме диссертации, а также одного приложения. Совокупный объем диссертации составляет 153 страницы, включая 51 иллюстрацию. Список цитированной литературы содержит 118 наименований.

Основные результаты и их научная новизна

Научная новизна представленных в диссертации результатов не вызывает сомнений, поскольку большинство результатов получено автором впервые и опубликовано в ведущих научных изданиях. С моей точки зрения, наиболее важными результатами являются:

1. Теоретический анализ зависимости контраста рэлеевской рефлектограммы от ширины оптического спектра зондирующего излучения и длительности зондирующего импульса. Корректность теоретических выводов, полученных с использованием ряда упрощений, подтверждена экспериментально.
2. Разработанный метод распределённых измерений деформации / температуры оптического волокна в широком диапазоне величин на основе регистрации спектров рассеяния Рэлея с помощью рефлектометра с перестраиваемым МЭМС-фильтром; достигнуты характеристики, удовлетворяющие требованиям практического применения для мониторинга крупных технических сооружений.
3. Разработан метод одновременного измерения деформации и температуры с помощью гибридного рефлектометра на основе регистрации спектров рассеяния Рэлея и спонтанного рассеяния Рамана; достигнуты характеристики, отвечающие требованиям практического применения.

Научная и практическая ценность работы

Научная ценность диссертационной работы состоит в углублённом изучении особенностей многолучевой интерференции оптического сигнала, с ограниченной

степенью когерентности и перестраиваемой длиной волны, обратно-рассеянного в одномодовом оптическом волокне. Установлены теоретические зависимости в удобном для анализа виде, описывающие связь детерминированных параметров зондирующего излучения, таких как время когерентности и длительность зондирующего импульса, со статистическими параметрами сигнала рефлектометра, в частности с дисперсией флуктуаций мощности обратно-рассеянного излучения и усреднённой шириной автокорреляционной функции спектров рассеяния Рэлея.

Практическая ценность работы состоит в том, что полученные результаты формируют детальный базис для разработки нового класса распределённых волоконно-оптических датчиков для измерений механических деформаций и температуры.

Достоверность полученных результатов

Достоверность выводов и результатов не вызывает сомнений. Диссертационная работа основана на использовании известных теоретических подходов. Результаты, полученные аналитически и экспериментально, хорошо согласуются как между собой, так и с данными других авторов в этой области.

Полученные автором работы результаты прошли апробацию на профильных российских конференциях с международным участием, опубликованы в рецензируемых журналах и признаны научным сообществом. По результатам работы получен патент на изобретение.

Замечания по работе

1. В первой главе диссертации при выводе выражения для контраста рэлеевской рефлектограммы автор использует допущение о статистической независимости коэффициентов рассеяния (см. выражение (6)) и отмечает, что в силу такого допущения справедливо равенство (18). На мой взгляд, вопрос области применимости выражения (6) требует дополнительного обоснования или ссылки на соответствующий литературный источник. Так же в первой главе автор предполагает, что изменением состояния поляризации в пределах длины рассеяния зондирующего импульса можно пренебречь. Строго говоря, применимость данного предположения зависит от длительности импульса и величины поляризационной модовой дисперсии в волокне. Однако, в силу того, что результаты, полученные на основе этих допущений, находят хорошее экспериментальное подтверждение, их

использование, при данном наборе экспериментальных параметров, выглядит разумным.

2. В третьей главе автором сделан вывод о том, что уширение спектра зондирующих импульсов вызвано либо четырёх волновым смещением, либо фазовой самомодуляцией. Мне представляется, что указанный вывод автора справедлив лишь для относительно коротких импульсов, с длительностью порядка десятков наносекунд и с огибающей близкой к Гауссовой. Из работ других авторов известно, что при более длительных импульсах порядка сотен наносекунд, с формой близкой к прямоугольной, основным фактором является модуляционная неустойчивость. Изучение этого вопроса могло бы стать интересным научным исследованием.
3. В пятой главе из описания эксперимента, схема которого приведена на Рис. 49, следует, что различные сегменты волокна подвергались либо только растяжению, либо только температурному воздействию. Было бы интересно осуществить одновременное и температурное воздействие и растяжение одного сегмента волокна, с тем, чтобы в явном виде продемонстрировать возможность отличить растяжение волокна от изменения его температуры.

Перечисленные замечания не носят принципиального характера и не снижают ценности проведённых исследований. Их следует рассматривать скорее в качестве пожеланий для дальнейшей работы.

Общая характеристика работы

Характеризуя диссертационную работу М.А. Таранова в целом, следует отметить внутреннее единство ее структуры, логичность и связность результатов, выводов и положений, выносимых на защиту, а также достаточно высокий уровень выполнения. Это делает работу самостоятельным законченным научным исследованием, в котором решены поставленные задачи и достигнута намеченная цель. Содержание диссертации соответствует заявленной научной специальности. Представленные в диссертации материалы опубликованы в 10 научных работах, из которых: 7 статей в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ, из указанных 7 статей 6 опубликованы в журналах, входящих в международные реферативные базы Web of Science и Scopus; 2 тезиса докладов на российских научных конференциях с международным участием (опубликованы в сборниках трудов конференций, индексируемых в РИНЦ); 1 патент РФ на изобретение. Диссертация написана грамотным профессиональным языком,

иллюстративный материал оформлен хорошо. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Результаты диссертации могут быть рекомендованы к использованию в работах как фундаментального, так и прикладного характера.

Считаю, что диссертационная работа Таранова Михаила Александровича «Волоконно-оптический низкокогерентный рэлеевский рефлектометр для распределённых измерений относительной деформации и температуры» удовлетворяет всем требованиям, которые предъявляются к кандидатским диссертациям согласно пп. 9–14 Положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а Таранов Михаил Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 «Радиофизика».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
руководитель научной группы Общества с ограниченной ответственностью «Т8 СЕНСОР»
(ООО «Т8 СЕНСОР»)

«05» июля 2021 г.



Никитин Сергей Петрович

Адрес: 107076, Москва, Краснобогатырская улица, 44/1

Телефон: +7 499 271 61 61

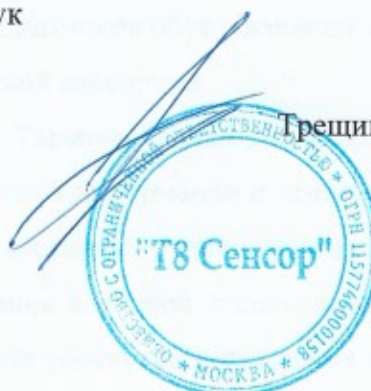
E-mail: nikitin@t8.ru

Личную подпись Никитина Сергея Петровича

ЗАВЕРЯЮ

генеральный директор ООО «Т8 СЕНСОР»,

кандидат физико-математических наук



Грешиков Владимир Николаевич