

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.231.02, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24 сентября 2021 г., № 15

О присуждении Таранову Михаилу Александровичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация на тему «Волоконно-оптический низкокогерентный рэлеевский рефлектометр для распределенных измерений относительной деформации и температуры» принята к защите 08 июня 2021, протокол № 8, диссертационным советом Д 002.231.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (125009, Москва, ул. Моховая, Д.11. корп.7) (приказ Рособнадзора о создании совета № 2397-1958 от 21.12.2007 г.; приказ Минобрнауки РФ о продлении деятельности совета № 714/нк от 02.11.2012 г.).

Соискатель Таранов Михаил Александрович, 1986 года рождения, в 2010 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана" по специальности "Лазерная техника и лазерные технологии".

С 01.10.2018 по настоящее время проходил обучение соискателем в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук.

Работает инженером лаборатории радиофизических измерений ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН;

Диссертация выполнена в лаб. радиофизических измерений ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Научный руководитель: Алексеев Алексей Эдуардович, кандидат физико-математических наук, ст. науч. сотр. лаборатории радиофизических измерений Фрязинского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Фирстов Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, Научный центр волоконной оптики им. Е.М. Дианова Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», заместитель руководителя по научной работе,

Никитин Сергей Петрович, кандидат физико-математических наук, Общество с ограниченной ответственностью «Т8 СЕНСОР», руководитель научной группы, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, в своем положительном отзыве, подписанном д.ф.-м.н., проф., зав. лаб. интеллектуального мониторинга ИМСС УрО РАН (филиал ПФИЦ УрО РАН) И.Н. Шардаковым, а также к.т.н., с.н.с., зав. лаб. фотоники ПФИЦ УрО РАН Ю.А. Константиновым, и утвержденном директором ПФИЦ УрО РАН,

академиком РАН, д.т.н., проф. Баряхом А.А., И.Н. Шардаков и Ю.А. Константинов отметили, что тема диссертации М.А. Таранова актуальна, а диссертация представляет работу с высокой научно-практической ценностью, полученные в работе результаты обладают научной новизной.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе 7 научных статей, все из которых – в научных журналах, входящих в перечень российских рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, из них 6 статей – в журналах, входящих в международные системы цитирования Web of Science, Scopus; тезисы 2 докладов в сборниках трудов, индексируемых в РИНЦ, российских конференций с международным участием; 1 патент РФ на изобретение. Общий объем опубликованных по теме диссертации работ составил 43 л. Среди опубликованных работ:

1. Gorshkov B.G. Distributed stress and temperature sensing based on Rayleigh scattering of low-coherence light / B.G. Gorshkov, **М.А. Taranov**, A.E. Alekseev // *Laser Phys.* – 2017. – Vol. 27, № 8. – P. 085105.

Краткое описание. Разработана теория импульсной оптической рефлектометрии для излучения с произвольной степенью когерентности, описывающая контраст рэлеевских рефлектограмм и свойства спектров рассеяния Рэлея в зависимости от параметров зондирующего излучения. Предложена новая схема волоконно-оптического датчика для распределенных измерений деформации и температуры на основе корреляционной обработки спектров рассеяния Рэлея.

2. Gorshkov B.G. Nonlinear spectrum broadening and its impact on performance of Rayleigh-scattering-based distributed strain/temperature fiber optic sensors / B.G. Gorshkov, **М.А. Taranov** // *Laser Phys. Lett.* – 2018. – Vol. 15, № 11. – P. 115108.

Краткое описание. Исследованы особенности работы низкокогерентного волоконно-оптического датчика на основе регистрации спектров рассеяния Рэлея для распределенных измерений деформации и температуры при мощности зондирующих импульсов, значительно превышающей порог нелинейных эффектов. Установлено, что превышение порога приводит к ухудшению характеристик датчика и объясняется нелинейным уширением спектра зондирующего излучения при распространении в оптическом волокне. Предложена схема датчика, в котором частично преодолеваются ограничения, связанные с указанным уширением спектра, за счет ограничения спектральной полосы фотоприема.

3. **Taranov М.А.** Distributed strain and temperature sensing over 100 km using tunable-wavelength OTDR based on MEMS filters / М.А. Taranov, B.G. Gorshkov, A.E. Alekseev, V.T. Potapov // *Appl. Opt.* – 2021. – Vol. 60, № 11. – P. 3049–3054.

Краткое описание. Продемонстрирована возможность распределенных измерений деформации и температуры оптического волокна длиной 100 км в широком диапазоне величин с помощью технологии рэлеевской низкокогерентной рефлектометрии с перестраиваемой длиной волны излучения. Указанная дальность измерений обеспечивается использованием двух согласованно перестраиваемых узкополосных спектральных фильтров, выполненных по технологии МЭМС (микроэлектромеханическая система), а также организацией рамановского усиления

излучения и усиления за счет сегментов легированного эрбием оптического волокна, встроенных в измеряемую волоконно-оптическую линию.

В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы из:

- ФИЦ Института прикладной физики РАН от д.ф.-м.н. Г.Б. Малыкина (замеч. нет);
- АО "ЗАСЛОН" от к.т.н. М.Н. Жукова (замеч.: в тексте автореферата не приводятся оценки статистических зависимостей параметров выходных сигналов рефлектометра и исследуемых характеристик обратного рассеяния от величин изменений деформации или температуры оптоволокна, от степени локализации и скорости нарастания этих изменений по длине волокна);
- АО "Бортовые аэронавигационные системы" от д.т.н. О.В. Васильева (замеч.: неудобство использования в выражении для контраста рэлеевской рефлектограммы длительности импульса, определенной по огибающей напряженности электрического поля, а не мощности; в описании результатов четвертой главы диссертации в автореферате не указывается, какая статистика распределения коэффициентов рассеяния использовалась при численном моделировании);
- ООО "НТО "ИРЭ-Полюс" от к.ф.-м.н. И.В. Обронова (замеч.: не указаны значения параметров зондирующего излучения, соответствующие точкам 1–5 на рис. 3 в автореферате; отсутствие рисунка со схемой гибридного датчика в описании пятой главы диссертации в автореферате);
- ФГБОУ ВО "МГТУ им. Н.Э. Баумана" от к.т.н. М.В. Вязовых (замеч.: многословность при формулировании основных выводов в автореферате).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что назначенные советом официальными оппонентами по диссертации М.А. Таранова ученые широко известны своими достижениями в данной отрасли науки, имеют многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонируемой диссертации: доктор физико-математических наук **С.В. Фирстов** - известный специалист в области лазерной физики и волоконной оптики. Ряд его работ посвящен разработке и исследованию волоконно-оптических лазеров, а также изучению свойств оптических волокон при изменении их температуры; кандидат физико-математических наук **С.П. Никитин** - ведущий специалист в области волоконно-оптических датчиков и систем связи; множество его работ посвящено методам регистрации механических и температурных воздействий с помощью оптического волокна.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук – широко известна своими исследованиями в области оптической рефлектометрии и волоконно-оптических распределенных датчиков. Научные публикации ее сотрудников коррелируют с темой диссертации, что свидетельствует о способности сотрудников ведущей организации адекватно оценить результаты, представленные автором диссертации к защите.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Построено теоретическое описание зависимости контраста рэлеевской рефлектограммы от параметров зондирующего излучения: формы и ширины оптического спектра, а также формы огибающей импульса и его длительности. Корректность теоретических выводов подтверждена экспериментально.

2. Изучен механизм реакции спектров рассеяния Рэля на однородное изменение деформации и температуры оптического волокна; получены аналитические выражения для коэффициентов чувствительности спектров к деформации и температуре. Обнаружено согласие между расчетными значениями коэффициентов и их значениями, определенными экспериментально, для оптического волокна марок Corning SMF-28e+ и Fujikura FutureGuide-LWP.

3. Разработана технология распределенных измерений изменения деформации и температуры оптического волокна в широком диапазоне величин (соответственно ± 1000 мкм·м⁻¹, ± 110 К) на основе регистрации спектров рассеяния Рэля с помощью схемы рефлектометра с перестраиваемым спектральным МЭМС-фильтром (микроэлектромеханическая система). Работоспособность схемы подтверждена экспериментально. Достигнутые характеристики удовлетворяют требованиям практического применения для мониторинга структурного состояния крупных инженерных сооружений.

4. Изучен механизм влияния нелинейных эффектов в оптическом волокне на спектры рассеяния Рэля. Установлено, что нелинейные эффекты приводят к уширению спектра зондирующего излучения по мере его распространения в оптическом волокне. Уширение спектра в свою очередь приводит к ограничению измерительных характеристик, достижимых с помощью схемы рефлектометра на основе перестраиваемого МЭМС-фильтра. Разработана и экспериментально испытана схема рефлектометра, позволяющая преодолеть ограничения, вызванные нелинейными эффектами, за счет ограничения спектральной полосы фотоприема. Продемонстрирована возможность достижения 100-километровой дальности измерений деформации и температуры оптического волокна с помощью такой схемы при пространственном разрешении порядка 1 м.

5. Изучены особенности реакции рэлеевского рефлектометра с перестраиваемой длиной волны излучения для измерения деформации и температуры на неоднородные в пределах рассеивающего участка оптического волокна воздействия. Установлено, что при прямоугольном ступенчатом воздействии вероятными будут исходы измерения, отвечающие любому из двух уровней воздействия.

6. Разработана и экспериментально испытана гибридная схема рефлектометра на основе регистрации спектров рассеяния Рэля и сигнала спонтанного рассеяния Рамана, с помощью которой осуществимы распределенные измерения деформации и температуры оптического волокна с разделением измеряемых величин.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что достигнуто углубленное понимание закономерностей многолучевой интерференции обратнорассеянного в оптическом волокне излучения с ограниченной степенью когерентности и перестраиваемой частотой. Установленные теоретические зависимости в удобном для анализа виде описывают связь детерминированных величин, таких как времена когерентности и длительность импульса зондирующего излучения, с параметрами чисто статистической природы. К таковым относятся, в частности, средний уровень мощности обратнорассеянного излучения, дисперсия неоднородностей мощности такого излучения, статистическая средняя ширина автокорреляционной функции спектров рассеяния Рэлея.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанный метод низкокогерентной рэлеевской рефлектометрии может использоваться для решения научных и прикладных задач в сфере строительства и эксплуатации протяженных инженерных объектов. Среди таких задач – изучение динамики изменений относительной деформации силовых конструкций объектов транспортной инфраструктуры, анализ температурного поля нефте- и газопроводов, круглосуточный мониторинг структурного состояния контролируемого объекта с целью предупреждения развития аварий.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что соискателем были использованы широко распространенные методы электродинамики, оптической рефлектометрии и статистической оптики, а также численного (компьютерного) моделирования в совокупности с экспериментальной верификацией результатов, полученных теоретически и с помощью модельных расчетов. Результаты работы представлены в ведущих отечественных и зарубежных рецензируемых периодических научных изданиях, обсуждались на научных конференциях, и широко известны профильным специалистам.

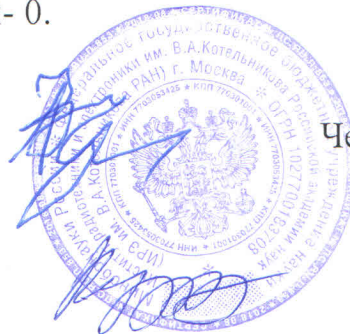
Личный вклад соискателя состоит в постановке задач для достижения цели диссертационной работы, обработке экспериментальных результатов. Представленные в диссертации результаты получены автором лично или при его непосредственном участии в исследовательской работе. Программное обеспечение для цифровой обработки спектров рассеяния Рэлея и определения деформации и температуры оптического волокна разработано автором лично. Автор внес определяющий вклад в техническую подготовку экспериментов, их проведение и анализ полученных результатов. В публикациях автору принадлежат результаты, полученные экспериментально.

Диссертационная работа М.А. Таранова является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит решение научной и практической задачи разработки метода измерений относительной деформации и температуры оптического волокна за счет регистрации спектров рассеяния Рэлея при использовании низкокогерентного источника излучения, перестраиваемого в широком диапазоне частот. Работа удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 824, предъявляемым к диссертациям на соискании ученой степени кандидата наук.

На заседании 24 сентября 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Таранову М.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 15, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета
д.ф.-м.н., член-корр. РАН



Черепенин В.А.

Ученый секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н., профессор РАН

Кузьмин Л.В.

« 24 » сентября 2021 г.