

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.14**

**по диссертации Кривошеева Антона Ивановича**

**на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Диссертация «Автоматизация технологического процесса измерения бриллюэновского сдвига частоты в оптических волокнах в условиях промышленного производства» по специальности 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» принята к защите «27» октября 2022 г. (протокол заседания № 8) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.14, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от «27» января 2022 г. № 4-О в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым – четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. N 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. N 1792-р.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования Пермском национальном исследовательском политехническом университете.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор, **Первадчук Владимир Павлович**, основное место работы: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, заведующий кафедрой «Прикладная математика».

### Официальные оппоненты:

**Богачков Игорь Викторович**, доктор технических наук, доцент, 05.12.13, ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», г. Омск, кафедра «Средства связи и информационная безопасность», профессор;

**Дашков Михаил Викторович**, кандидат технических наук, доцент, 05.12.13, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Самара, кафедра «Линии связи и измерения в технике связи», исполняющий обязанности заведующего кафедрой,

дали положительные отзывы о диссертации

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск.

(отзыв ведущей организации утвержден Головановым Виктором Николаевичем, доктор физико-математических наук, профессор, исполняющей обязанности проректора по научной работе, заслушан на заседании научно-технического совета Научно-исследовательского института им. С.П. Капицы Ульяновского государственного университета и подписан Золотовским Игорем Олеговичем, кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником).

По теме диссертации соискателем опубликовано 20 научных трудов, в том числе 1 – в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, 9 – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science Core Collection, Mathematics, Scopus, Springer, MathSciNet и т.д, 10 – в других изданиях. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Кривошеев А.И., Константинов Ю.А., Первадчук В.П., Барков Ф.Л.** Комбинированный нейросетевой метод определения максимума бриллюэновского спектра в распределенных волоконно-оптических датчиках // Прикладная математика и вопросы управления. – 2021. – № 3. – С. 95-106.

*Представлена структура нейронной сети, позволяющая комбинировать различные подходы к детектированию сдвига спектра рассеяния Мандельштама – Бриллюэна.*

2. Barkov F.L., Konstantinov Y.A., **Krivosheev A.I.** A Novel Method of Spectra Processing for Brillouin Optical Time Domain Reflectometry // *Fibers.* – 2020. – № 8. – P. 60.

*Представлен новый метод обработки спектров рассеяния Мандельштама-Бриллюэна, основанный на обратно-корреляционном алгоритме. Проведено сравнение с известными алгоритмами.*

3. **Krivosheev A.I.**, Konstantinov Yu.A. , Barkov F.L., Pervadchuk V.P. Comparative Analysis Of The Brillouin Frequency Shift Determining Accuracy In Extremely Noised Spectra By Various Correlation Methods // *Instrum. Exp. Tech.*. - 2021. - №5. - P. 715-719.

*Проведено исследование эффективности работы различных алгоритмов обработки спектров рассеяния Мандельштама-Бриллюэна. Оценка выполнена при использовании единого набора экстремально зашумленных данных. Определена эффективность работы каждого метода.*

4. **Krivosheev A.I.**, Barkov F.L., Konstantinov Yu.A., Belokrylov M.E. State-of-art methods for determining the frequency shift of Brillouin scattering in fiber-optic metrology and sensing (review) // *Instrum. Exp. Tech.* – 2022. – Vol. 65. – No. 5. – P. 687-710.

*Представлен обзор современных подходов к построению систем распределенного мониторинга, основанных на использовании рассеяния Мандельштама-Бриллюэна. Рассмотрены различные подходы к обработке бриллюэновских спектров.*

5. Barkov F.L., Konstantinov Yu.A., Burdin V.V., **Krivosheev A.I.** Theoretical and experimental estimation of the accuracy in simultaneous distributed measurements of temperatures and strains in anisotropic optical fibers using polarization-brillouin reflectometry // *Instrum. Exp. Tech.* – 2020. – № 4. – P. 487-493.

*Построена модель для определения зависимости точности метода разделения температуры и деформации с помощью поляризационно-бриллюэновской рефлектометрии. Определены оптимальные аппаратные требования к рефлектометру.*

6. Nordin N.D., Abdullah F., Zan M.S.D., A Bakar A.A., Krivosheev A.I., Barkov F.L., Konstantinov Y.A. Improving Prediction Accuracy and Extraction Precision of Frequency Shift from Low-SNR Brillouin Gain Spectra in Distributed Structural Health Monitoring // Sensors. – 2022. – № 7 (22). – P. 2677.

*Исследована возможность совместного использования различных алгоритмов детектирования положения максимума бриллюэновского спектра. Проведено сравнение различных комбинаций алгоритмов.*

7. Константинов Ю.А., Кривошеев А.И., Барков Ф.Л. Автоматизированная система измерений для распределенного исследования бриллюэновского сдвига в РМ-волокнах в условиях производства // ПЕРВАЯ МИЛЯ. – 2022. – № 6. – С. 78-83.

*В работе представлена имитационная модель ошибки определения положения максимума спектра рассеяния Мандельштама – Бриллюэна. Также представлена автоматизированная система измерения бриллюэновского спектра в специальных оптических волокнах. Продемонстрировано увеличение точности определения положения максимума бриллюэновского спектра при использовании системы измерений.*

В данных работах соискатель представил основные результаты своего диссертационного исследования: разработал новый метод обработки спектров вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ), позволяющий эффективно находить координату максимума спектра в условиях высокой зашумленности и помех. Проведено сравнение работы метода в сравнении с известными аналогами. Предложена схема автоматизированной системы измерения бриллюэновского сдвига в специальных оптических волокнах, использующая в своем составе нейросетевой алгоритм.

**Диссертационный совет отмечает,** что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** имитационная модель процесса рефлектометрии ВРМБ, учитывающая распространение излучения по двум поляризационным осям, которая позволяет прогнозировать точность разделения температур и

деформаций при работе оптического волокна в составе волоконно-оптического датчика;

**предложен** оригинальный метод обработки спектров ВРМБ, отличающийся использованием обратно-корреляционного алгоритма и позволяющий эффективно находить частоту бриллюэновского сдвига в случае обработки данных с экстремально низким отношением «сигнал-шум» и дефектами оцифровки в автоматизированной системе измерений;

**доказана** перспективность применения нового метода анализа спектров ВРМБ и применения метода в автоматизированной системе измерения бриллюэновского сдвига в специальных оптических волокнах;

**введено** понятие «метод обратной корреляции».

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

**доказаны** эффективность и перспективность применения нового метода обработки спектров ВРМБ, а также объединения различных подходов в единый нейросетевой алгоритм;

**раскрыты** проблемы автоматизации контроля качества производства специальных оптических волокон и создания высокоточных волоконно-оптических датчиков, использующих в своем составе специальные оптические волокна;

**изучены** фундаментальные пределы детектирования различными методами сдвига ВРМБ в экстремально зашумленных спектрах;

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** элементы автоматизированной системы измерения в технологический процесс производства и контроля качества специальных оптических волокон типа «панда» в ПАО «ПНППК», что позволило за счет повышения точности отбора оптических волокон увеличить выход годной продукции на 10 %. Кроме того, применение двухуровневой системы распределенного контроля специальных оптических волокон позволило снизить общее время технологического контроля изделий примерно на 12%;

**определены** перспективы применения разработанных методов и подходов в области телекоммуникаций.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила:

**для экспериментальных работ** стенды создавались на основе аттестованных, сертифицированных и поверенных компонентов, элементов и устройств;

**теория** построена на известных в литературе данных и согласуется с ранее опубликованными работами других авторов, а также результатами экспериментов;

**идея** базируется на анализе существующих методов проведения контроля качества оптических волокон, выявленных проблемах и возможности их решения путем разработки новых подходов;

**использовано** сравнение результатов, полученных автором, и результатов, представленных в литературе другими исследователями;

**использованы** современные математические пакеты (MATLAB) и хорошо зарекомендовавшие себя среды программирования (Delphi, python) для обработки и анализа исходной информации.

**Личный вклад соискателя** состоит в анализе публикаций по теме исследования, сравнении представленных подходов, подготовке экспериментальных стендов, сборе и анализе экспериментальных данных, реализации метода обратной корреляции и оценке точности в сравнении с известными аналогами, разработке нейросетевого алгоритма и создании автоматизированной системы измерения бриллюэновского сдвига в оптических волокнах.

**Диссертационный совет пришел к выводу** о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 09 декабря 2021 г. № 4334-В: в ней изложены новые научно обоснованные технические решения для

автоматизации технологического процесса измерения бриллюэновского сдвига частоты в оптических волокнах с применением нейросетевых алгоритмов, позволяющие повысить качество выпускаемой продукции и уменьшить время технологического контроля изделий, что имеет важное значение для совершенствования отечественной производственной отрасли.

На заседании «28» декабря 2022 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.14 принял решение присудить Кривошееву Антону Ивановичу ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 9).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 14, против присуждения ученой степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета  
Д ПНИПУ.05.14,

д-р техн. наук

\_\_\_\_\_ / Южаков Александр Анатольевич /

Ученый секретарь

Д ПНИПУ.05.14

д-р техн. наук

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

\_\_\_\_\_ / Фрейман Владимир Исаакович /

«28» декабря 2022 г.

м.п.