

УТВЕРЖДАЮ


Проректор по науке


Пермского национального

исследовательского

политехнического университета,

доктор физ.-мат. наук, доцент

 Швейкин А.И.

 2022 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Автоматизация технологического процесса измерения бриллюэновского сдвига частоты в оптических волокнах в условиях промышленного производства» выполнена на кафедре «Прикладная математика» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Кривошеев Антон Иванович работал в ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», в должности *инженера-исследователя*.

В 2016 году окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по направлению 24.04.02 Системы управления движением и навигация.

В 2020 году окончил аспирантуру очной формы обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Пермского национального исследовательского политехнического

университета по направлению 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности)» (период обучения «01» октября 2016 г. по «30» июня 2020 г.).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Первадчук Владимир Павлович, работает профессором кафедры «Прикладная математика» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

- Соискателем выполнена постановка проблемы исследования, сформулированы цели и задачи диссертации;

- Провел теоретическое исследование поставленных вопросов и провел численные и натурные эксперименты;

- Предложил новый метод обработки спектров рассеяния Мандельштама-Бриллюэна, а также сравнил его с известными методами;

- Разработал структуру автоматизированной системы измерения и обработки бриллюэновских спектров для применения в производственном процессе

2. Научная новизна диссертационного исследования заключается в

- Разработана имитационная модель процесса рефлектометрии на основе ВРМБ, отличающаяся учетом распространения излучения по двум поляризационным осям ВС, и позволяющая спрогнозировать точность разделения температур и деформаций при работе ВС в составе ВОД.

- Создан 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.

- Впервые была предложена уникальная методика оценки точности методов определения положения максимума бриллюэновского спектра, в условиях экстремального зашумления, отличающаяся использованием единого набора данных, что позволило выявить оптимальные условия использования различных подходов детектирования сдвига ВРМБ.

### 3. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность и обоснованность результатов. Данные, полученные в ходе выполнения исследования, не противоречат результатам, представленными в литературе другими авторами, а также подтверждаются достаточно хорошим совпадением результатов моделирования с экспериментальными данными. Формулирование гипотез и их верификация осуществлялись на основе известных положений общей физики, фотоники, оптоэлектроники, математического анализа и других разделов высшей математики. Для обработки результатов использовались типовые математические пакеты и хорошо зарекомендовавшие себя популярные среды программирования. Экспериментальные стенды создавались на основе аттестованных и паспортизованных компонентов, элементов и устройств.

### 4. Практическая и теоретическая значимость исследования

Разработанная программно-аппаратная АСИ для распределенного детектирования сдвига спектра ВРМБ позволила, за счет использования представленных в работе решений, повысить точность детектирования на 10%. Внедренная в АСИ модель и алгоритм измерения параметров специальных ВС позволяет провести оценку качества разрабатываемых датчиков на их основе. Внедрение АСИ в производственный процесс позволяет более точно и оперативно проводить отбор фрагментов ВС для использования в датчиках.

### 5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме диссертационной работы Кривошеева Антона Ивановича опубликовано 20 научных работ, в том числе 7 в ведущих рецензируемых изданиях, 9 – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и/или Scopus. Основные положения и результаты работы отражены в следующих научных публикациях в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, и/или в базы цитирования Web of Science, Scopus:

*Опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК (по направлению):*

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. (**ВАК**)

*Представлена структура нейронной сети, позволяющая комбинировать различные подходы к детектированию сдвига спектра рассеяния Мандельштама – Бриллюэна. (вклад автора 75 %)*

*Научные статьи, опубликованные в журналах, входящих в МБЦ:*

2. 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. (**Scopus**)

*Исследована возможность совместного использования различных алгоритмов детектирования положения максимума бриллюэновского спектра. Проведено сравнение различных комбинаций алгоритмов. (вклад автора 40 %)*

3. 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. (**Scopus**)

*Представлен новый метод обработки спектров рассеяния Мандельштама-Бриллюэна, основанный на обратно-корреляционном алгоритме. Проведено сравнение с известными алгоритмами. (вклад автора 60 %)*

4. Barkov F.L., Konstantinov Yu.A., Bochkova S.D., Smirnov A.S., Burdin V.V., **Krivosheev A.I.**, Nosova E.A., Smetannikov O.Yu. Modelling of polarised optical frequency domain reflectometry of axially twisted anisotropic optical fibres // Quantum Electronics. - 2019. - №49(5). - P. 514-517. (**ВАК, Scopus**)

*Представлена математическая модель, описывающая влияние дефектов анизотропии на показания поляризационной рефлектометрии частотной области. Модель основана на матричном формализме Джонса. В качестве дефекта анизотропии рассмотрено кручение оптического волокна. (вклад автора 50 %)*

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. (**ВАК, Scopus**)

*Построена модель для определения зависимости точности метода разделения температуры и деформации с помощью поляризационно-бриллюэновской рефлектометрии. Определены оптимальные аппаратные требования к рефлектометру. (вклад автора 60%)*

6. **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. (**ВАК, Scopus**)

*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. (вклад автора 60 %)*

7. Burdin V.A., Konstantinov Yu. A., Claude D., Latkin K.P., **Krivosheev A.I.**, Tsibinogina M.K. Multistage Quality Control of Active Fiber Light Guides // Instrum. Exp. Tech.. - 2021. - №5. - P. 768-775. (**ВАК, Scopus**)

*Разработаны методики для контроля качества активных волоконных световодов. Представлен рефлектометр для контроля активных волокон. (вклад автора 25%)*

8. **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. (**ВАК, Scopus**)

*Представлен обзор современных подходов к построению систем распределенного мониторинга, основанных на использовании рассеяния Мандельштама-Бриллюэна. Рассмотрены различные подходы к обработке бриллюэновских спектров. (вклад автора 60%)*

9. **Krivosheev A.I.**, Konstantinov Yu.A., Krishtop V.V., Turov A.T., Barkov F.L., Zhirnov A.A., Garin E.O., Pnev A.B. A Neural Network Method For The BFS Extraction // International Conference Laser Optics 2022. – 2022

*Представлен нейросетевой метод для более точного определения положения максимума бриллюэновского спектра. (вклад автора 70%)*

10. Belokrylov M.E., Konstantinov Yu.A., **Krivosheev A.I.**, Turov A.T., Stepanov K.V., Garin E.O., Pnev A.B., Fotiadi A.A. A Single-Scan PM-Fibers Polarization Axes Study // International Conference Laser Optics 2022. – 2022

*Представлен экспериментальный подход для одновременного измерения двух бриллюэновских рефлектограмм для двух состояний поляризации в анизотропном оптическом волокне. (вклад автора 40%)*

*Публикации в других изданиях:*

11. Смирнов А.С., **Кривошеев А.И.**, Константинов Ю.А., Барков Ф.Л., Бурдин В.В. Разделение температуры и деформации в волокне, сохраняющем поляризацию, методом поляризационного распределенного бриллюновского анализа // Фотон Экспресс. - 2017. - № 6 - С. 183. (ВАК)

*Проведено исследование возможности одновременного и независимого измерения температур и деформаций в анизотропном оптическом волокне при помощи бриллюновской рефлектометрии (вклад автора 60%)*

12. **Кривошеев А. И.**, Носова Е.А., Константинов Ю.А., Барков Ф.Л., Бурдин В.В., А.С. Смирнов Быстрое индикаторное измерение температур и деформаций методом поляризационно-бриллюновской рефлектометрии // Фотон Экспресс Наука. - 2019. - № 6 - С. 310-311. (ВАК)

*Представлен экспериментальный подход к разделению температур и деформаций в волокне при помощи метода поляризационной бриллюновской рефлектометрии (вклад автора 70%)*

13. **Кривошеев А.И.**, Барков Ф.Л., Константинов Ю.А. Контроль ВОЛС методом бриллюновской рефлектометрии: проблемы и возможные решения // ПЕРВАЯ МИЛЯ. - 2020. - № 7-8. - С. 37-44. (ВАК)

*В работе рассмотрена проблема высокоточного детектирования спектров бриллюновского рассеяния для задач измерения температур и деформаций. Представлен метод обработки спектров для более точного определения положения максимума. (вклад автора 80%)*

14. Белокрылов М.Е., **Кривошеев А.И.**, Константинов Ю.А., Туров А.Т. Распределённое одноимпульсное исследование поляризационных осей анизотропных оптических волокон // Фотон Экспресс. - 2021. - № 7. - С. 16-18. (ВАК)

*Предложена схема волоконного одноимпульсного рефлектометра для зондирования оптического волокна в двух ортогональных состояниях поляризации. (вклад автора 40%)*

15. Белокрылов М.Е., Константинов Ю.А., **Кривошеев А.И.** Сравнение результатов измерений модового двулучепреломления РМ-волокон методом поляризационно-бриллюновской рефлектометрии, выполненных двукратным и однократным сканированием // Фотон Экспресс. - 2021. - № 8 - С. 10-13. (ВАК)

*Представлено сравнение результатов измерений модового двулучепреломления волоконных световодов, сохраняющих состояние поляризации вводимого в них излучения, методом поляризационно-бриллюновской рефлектометрии. (вклад автора 50%)*

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

*В работе представлена концепция автоматизированной системы измерения бриллюновского спектра в специальных оптических волокнах. Продемонстрировано увеличение точности определения положения максимума*

*бриллюэновского спектра при использовании системы измерений. (вклад автора 80%)*

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите:

Представленная Кривошеевым Антоном Ивановичем диссертационная работа «Автоматизация технологического процесса измерения бриллюэновского сдвига частоты в оптических волокнах в условиях промышленного производства» соответствует паспорту научной специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, а именно:

П.4 – Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация.

П. 8 – Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизация модульных структур систем сбора и обработки данных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.

П. 20 – Разработка автоматизированных систем научных исследований.

7. Соответствие диссертационной работы требованиям, «Положения о присуждении ученых степеней», «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ».

Диссертация Кривошеева Антона Ивановича отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в редакциях от 21.04.2016 № 335 и 12.10.18 № 1168), требованиям «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ», предъявляемым к кандидатским диссертациям.


Диссертация «Автоматизация технологического процесса измерения бриллюэновского сдвига частоты в оптических волокнах в условиях промышленного производства» Кривошеева Антона Ивановича рекомендуется к защите на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Прикладная математика».

Присутствовало на заседании 21 человек. Результаты голосования: «за» - 21 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 3 от «07» октября 2022 г.

Заместитель заведующего кафедрой  
«Прикладная математика»,  
канд. техн. наук, доцент

  
\_\_\_\_\_ / Пепеляева Т.Ф./  
подпись

\_\_\_\_\_ / Пепеляева Т.Ф./  
ФИО

Ученый секретарь кафедры  
«Прикладная математика»

  
\_\_\_\_\_ / Владимирова Д.Б./  
подпись

\_\_\_\_\_ / Владимирова Д.Б./  
ФИО