

Заместитель директора по научной работе



Лаврентьев Михаил Михайлович

«21» сентябре 2022 г

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматике и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИИЭ СО РАН)

Диссертация «Разработка и исследование устройств опроса волоконно-оптических датчиков на основе самосканирующего волоконного лазера» выполнена в лаборатории оптических сенсорных систем ИИЭ СО РАН.

В период подготовки диссертации соискатель Ткаченко Алина Юрьевна работала в ИИЭ СО РАН в должности и.о. инженера-исследователя, а также проходила обучение в аспирантуре ИИЭ СО РАН в период с 2016-2020 гг.

В 2016 г. окончила магистратуру факультета радиотехники и электроники Новосибирского государственного технического университета по направлению подготовки 11.04.04 «электроника и нанoeлектроника». В 2020 г. окончила аспирантуру ИИЭ СО РАН по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия», специальности 01.04.05 «Оптика».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 15317-59-01/683 выдана 12 сентября 2022 г. ИИЭ СО РАН.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Лобач Иван Александрович, старший научный сотрудник лаборатории оптических сенсорных систем ИИЭ СО РАН.

Диссертация «Разработка и исследование устройств опроса волоконно-оптических датчиков на основе самосканирующего волоконного лазера» была рассмотрена на семинаре Учебно-научного центра «Квантовая оптика» Института автоматике и электрометрии СО РАН 8 сентября 2022 года.

На семинаре присутствовали:

Шалагин Анатолий Михайлович д. ф.-м. н., академик РАН, профессор, ИАиЭ СО  
РАН

Каблуков Сергей Иванович, д. ф.-м. н., профессор РАН, ИАиЭ СО РАН

Шапиро Давид Абрамович, д. ф.-м. н., профессор, ИАиЭ СО РАН

Фруммин Леонид Лазаревич, д. ф.-м. н., ИАиЭ СО РАН

Ватник Илья Дмитриевич, к. ф.-м. н., ИАиЭ СО РАН

Лобач Иван Александрович, к. ф.-м. н., ИАиЭ СО РАН

Николаев Назар Александрович, к. т. н., ИАиЭ СО РАН

Симонов Виктор Александрович, к. ф.-м. н., ИАиЭ СО РАН

Терентьев Вадим Станиславович, к. ф.-м. н., ИАиЭ СО РАН

Харенко Денис Сергеевич, к. ф.-м. н., ИАиЭ СО РАН

Немов Илья Николаевич, ИАиЭ СО РАН

Дробышев Роман Владимирович, ИАиЭ СО РАН

Антропов Александр Алексеевич, ИАиЭ СО РАН

По результатам рассмотрения диссертации принято следующее заключение:

#### **Актуальность работы.**

Исследование и разработка систем опроса волоконно-оптических датчиков (ВОД) на основе волоконных брэгговских решеток (ВБР) с целью измерения параметров окружающей среды являются активно развивающимся направлением. Одним из важных элементов волоконной сенсорной системы является устройства опроса, выполняющий роль спектроанализатора. Как правило, такие устройства являются достаточно сложными и дорогостоящими приборами. По этой причине исследователи постоянно разрабатывают новые подходы построения устройств опроса для ВОД. В работе Ткаченко А.Ю. для решения этой задачи предлагается использовать перестраиваемый волоконный лазер, работающий на эффекте самосканирования частоты (или самосканирующий лазер). Ожидается, что простота конструкции лазера позволит упростить и снизить стоимость устройств опроса не его основе, а также улучшить характеристик всей волоконно-оптической сенсорной системы. Исходя из этого проведенная работа является актуальной.

Для достижения поставленной цели было проведено комплексное исследование влияния характеристик элементов лазера (длина активного световода и потери на выходном зеркале) на спектральную область сканирования, а также исследовано влияние температуры активного световода и температуры лазерного диода на область сканирования и предложены методы управления спектральным положением области сканирования. Также были рассмотрены способы методы стабилизации границ диапазона сканирования, которые позволяют повысить предсказуемость перестройки длины волны генерации волоконных самосканирующих лазеров, что очень важно для их практических применений.

Далее самосканирующий лазер с оптимизированными характеристиками был применен в качестве простого перестраиваемого источника в двух системах опроса ВОД на основе ВБР. В первой реализации устройство опроса ВОД было апробировано на сенсорной линии, состоящей из 6 ВБР с различными длинами волн отражения, что ограничивалось областью перестройки лазера. Во второй реализации на основе схемы когерентного частотного рефлектометра была показана возможность измерения оценок от ВБР с одинаковыми длинами волн. Устройство опроса было апробировано на сенсорной линии, состоящей из 28 ВБР. В этом случае количество датчиков ограничивается только длиной линии измерения ~10 метров, которая определяется скачком частоты лазера.

#### **Личное участие соискателя.**

В ходе выполнения работ Ткаченко А.Ю. принимала активное участие в постановке задач, проведении основных экспериментов, анализе и обсуждении результатов, а также презентации результатов на научных конференциях и оформлении результатов в виде научных публикаций. При выполнении диссертационной работы Ткаченко А.Ю. проявил себя как квалифицированный специалист, умеющий работать в коллективе, решать сложные задачи, а также проводить исследования высокого научного уровня.

#### **Новизна.**

В диссертации получены следующие новые научные результаты:

1. Показано, что область перестройки самосканирующего итербиевого волоконного лазера смещается в коротковолновую область при уменьшении длины активного волокна или увеличении общих резонаторных потерь. Экспериментально



продемонстрировано смещение области самосканирования иттербиевого волоконного лазера от 1028 до 1080 нм.

2. Проведена оптимизация длины активного волокна и коэффициента отражения выходного зеркала в иттербиевом самосканирующем волоконном лазере, позволившая расширить диапазон непрерывного сканирования до 21 нм.

3. Продемонстрирована возможность управления областью самосканирования волоконного лазера при изменении температуры активной среды и длины волны источника накачки.

4. Предложено и экспериментально реализовано два метода стабилизации границ диапазона перестройки самосканирующего волоконного лазера. Первый метод основан на создании слабой селективной обратной связи, образованной парой ВБР и волоконным ослабителем, установленными на выходе лазера. Метод позволил уменьшить флуктуации границ сканирования длины волны с 1100 до 13 пм и с 110 до 7 пм и верхней границ соответственно. Второй метод стабилизации с помощью спектральных селекторов в виде высокоотражающих ВБР, установленных со стороны плотного волоконного кольцевого зеркала лазера и позволил аналогичным образом уменьшить флуктуации границ сканирования с 1500 до 6 пм и с 100 до 9 пм соответственно.

5. Экспериментально продемонстрирована работа самосканирующего волоконного лазера в двух схемах опроса массивов ВБР. В первой схеме со спектральным разделением в линии, состоящей из 6 ВБР с разными длинами волн отражения, достигнуто спектральное разрешение  $\sim 5.5$  МГц. Во второй схеме на основе когерентного оптического частотного рефлектометра линии, состоящей из 28 ВБР с одинаковыми длинами волн отражения, продемонстрировано пространственное разрешение 0.2 мм.

#### **Степень достоверности результатов.**

Все полученные результаты не противоречат известным научным положениям и экспериментальным результатам других работ. Все измерения производились с помощью апробированных методик и точных приборов. Результаты работы опубликованы в ведущих рецензируемых мировых журналах и представлены на международных конференциях, что свидетельствует об обоснованности и достоверности сделанных выводов.

### **Практическая значимость.**

Результаты данной работы могут быть использованы при построении волоконно-оптических систем измерения физических величин (таких как температуры или механических деформаций) на основе волоконно-оптических датчиков.

### **Соответствие специальности.**

Диссертационная работа соответствует специальности 1.3.6 (01.04.05) «Оптика», так как основным объектом исследования является волоконный лазер, работа которого основана на эффекте самосканирования частоты, а также схемы опроса волоконно-оптических датчиков, реализованные на основе этого лазера.

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

Результаты работы докладывались соискателем лично на следующих конференциях и семинарах: международная конференция «*17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM)*» (Эрлагол, Россия, 2016 г.), международная конференция «*International conference laser optics (ICLO)*» (г. Санкт-Петербург, 2017 г.), «*Российский семинар по волоконным лазерам*» (г. Новосибирск, 2018 г.), международная конференция «*SPIE/COS Photonics Asia*» (г. Пекин, КНР, 2018 г.), международная конференция «*8<sup>th</sup> Optics and photonics international congress (OPIC)*» (г. Йокогама, Япония, 2019 г.), международная конференция «*7<sup>th</sup> European Workshop on Optical Fibre Sensors (EWOFS)*» (г. Лимассол, Кипр, 2019 г.), «*Всероссийская конференция по волоконной оптике (ВКВО)*» (г. Пермь, 2019 г.), международная конференция «*Международный семинар по волоконным лазерам*» (г. Новосибирск, 2020 г.).

Результаты диссертационной работы достаточно подробно отражены в 8-ми публикациях в рецензируемых научных журналах, индексируемых в российских и международных базах данных. 7 публикаций из списка входят в перечень журналов ВАК.

1. *Ткаченко А.Ю., Лобач И.А.* Устройство опроса волоконных сенсоров на базе волоконного лазера с самосканированием частоты // Прикладная фотоника.—2016.— Т. 3, № 1. — С. 37.

2. Tkachenko A.Y., Lobach I.A., Guskov L.N. Fiber sensor interrogator based on self-sweeping fiber laser. // Proceedings of 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. — 2016. — P. 348–351.

3. Lobach I. A., Tkachenko A. Yu., Kablukov S. I. Optimization and control of sweeping range in Yb-doped self-sweeping fiber laser. // Laser Physics Letters. — 2016. — V. 13, № 4. — P. 045104-045110.

4. Tkachenko A. Yu., Vladimirskaia A. D., Lobach I. A., Kablukov S. I. Michelson mode selector for spectral range stabilization in a self-sweeping fiber laser. // Optics Letters. — 2018. — V. 43, Issue 7. — P. 1558-1561.

5. Tkachenko A. Yu., Vladimirskaia A. D., Lobach I. A., Kablukov S. I. Sweeping range control in a self-sweeping laser with selective mirrors. // Proceedings SPIE Advanced Sensor Systems and Applications VIII, SPIE/COS Photonics Asia, Beijing, China. — 2018. — V. 10821. — Paper 108210V.

6. Ткаченко А.Ю., Лобач И.А., Подивилов Е.В., Каблуков С.И. Кольцевое зеркало с ВБР для стабилизации диапазона сканирования в волоконном лазере с самосканированием частоты. // Квантовая электроника. — 2018. — 48(12). — С.1132–1137.

7. Ткаченко А.Ю., Лобач И.А., Каблуков С.И. Когерентный оптический частотный рефлектометр на основе волоконного лазера с самосканированием частоты. // Квантовая электроника. — 2019. — Т. 49. — № 12. — С.1121–1126.

8. Tkachenko A. Yu., Smolyaninov N. N., Skvortsov M. I., Lobach I. A., Kablukov S. I. A Coherent Optical Frequency-Domain Reflectometer Based on a Self-Sweeping Fiber Laser for Sensing Applications. // Instruments and Experimental Techniques. — 2020. — V. 63. — No. 4. — P. 536–541.

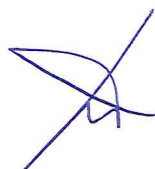
Диссертация «Разработка и исследование устройств опроса волоконно-оптических датчиков на основе самосканирующего волоконного лазера» Ткаченко Алины Юрьевны рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 (01.04.05) «Оптика».

Председатель семинара  
д. ф.-м. н., академик РАН



Шалагин А.М.

Секретарь семинара  
к. ф.-м. н.



Лобач И.А.