

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.028.01 (д 003.005.02)  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «24» февраля 2025 г. № 1

О присуждении Скворцову Михаилу Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Исследование волоконных лазеров на основе регулярной и случайной распределенной обратной связи на структурах, сформированных методом фемтосекундной поточечной записи» по специальности 1.3.6. «Оптика» принята к защите «17» декабря 2024 г. протокол № 11 диссертационным советом 24.1.028.01 (д 003.005.02) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматки и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН), 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д. 1, приказ Минобрнауки России 255/нк от 28 марта 2020 года.

**Соискатель** Скворцов Михаил Игоревич 17.11.1990 года рождения, в 2015 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ), в 2019 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматки и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН),

**работает** в должности младшего научного сотрудника, Лаборатория волоконной оптики (17) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматизации и электротехники Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН).

**Диссертация выполнена** в Лаборатории волоконной оптики (17) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматизации и электротехники Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН).

**Научный руководитель** – доктор физико-математических наук, член корреспондент РАН **Бабин Сергей Алексеевич**, директор Института ИАиЭ СО РАН, заведующий Лабораторией волоконной оптики (17) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматизации и электротехники Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН), г. Новосибирск.

**Официальные оппоненты:**

**Наний Олег Евгеньевич**, д.ф.-м.н., профессор, профессор Кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем, Физический факультет. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ имени М.В. Ломоносова), г. Москва.

**Трикшев Антон Игоревич**, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Лаборатории активных сред и твердотельных лазеров. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН), г. Москва.

**дали положительные отзывы о диссертации.**

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный

исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ), г. Казань

**в своем положительном заключении, подписанном**

- Кузнецов Артём Анатольевич, д.т.н., заведующий кафедрой радиофотоники и микроволновых технологий  
**заверенном**
- Бабушкин Виталий Михайлович, д.т.н., доцент, проректор по научной и инновационной деятельности КНИТУ-КАИ –  
**указала, что** диссертационная работа Скворцова Михаила Игоревича «Исследование волоконных лазеров на основе регулярной и случайной распределенной обратной связи на структурах, сформированных методом фемтосекундной поточечной записи» полностью соответствует критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. - «Оптика».

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их высокой научной квалификацией в области волоконной оптики и лазерной физики.

**Соискатель имеет 17 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 8 научных работ в рецензируемых научных журналах и изданиях:**

- 1) Skvortsov M.I. et al. Distributed feedback fiber laser based on a fiber Bragg grating inscribed using the femtosecond point-by-point technique // Laser Physics Letters. 2018. Vol. 15, № 3. P. 035103.
- 2) Wolf A.A., Skvortsov M.I. et al. All-fiber holmium distributed feedback laser at 2.07  $\mu\text{m}$  // Opt. Lett. 2019. Vol. 44, № 15. P. 3781–3784.
- 3) Skvortsov M.I. et al. Advanced distributed feedback lasers based on composite fiber heavily doped with erbium ions // Sci Rep. 2020. Vol. 10, № 1. P. 14487.
- 4) Скворцов М.И. и др. Одночастотный эрбиевый лазер со случайной распределенной обратной связью на основе неупорядоченных структур, созданных фемтосекундным лазерным излучением // Квантовая электроника.

2021. Т. 51. № 12. С. 1051-1055.

- 5) Skvortsov M.I. et al. Extreme Narrowing of the Distributed Feedback Fiber Laser Linewidth Due to the Rayleigh Backscattering in a Single-Mode Fiber: Model and Experimental Test // Photonics. 2022. Vol. 9, № 8. P. 590.
- 6) Skvortsov M.I. et al. Narrow-Linewidth Er-Doped Fiber Lasers With Random Distributed Feedback Provided By Artificial Rayleigh Scattering // J. Lightwave Technol. 2022. Vol. 40, № 6. P. 1829–1835.
- 7) Dostovalov A.V., Skvortsov M.I. et al. Continuous and discrete-point Rayleigh reflectors inscribed by femtosecond pulses in singlemode and multimode fibers // Optics Laser Technology. 2023. Vol. 167. P. 109692.
- 8) Skvortsov M.I. et al. Single-Frequency Ring Fiber Laser with Random Distributed Feedback Provided by Artificial Rayleigh Scattering // Photonics. 2024. Vol. 11, № 2. P. 103

**На автореферат поступили следующие положительные отзывы:**

- отзыв Сидельникова Олега Сергеевича (к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Лаборатории численного и экспериментального моделирования новых устройств фотоники ММФ. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ), г. Новосибирск),

содержит замечания:

1. Почему на рис. 4 (а) длина резонатора составила около 8 мм, а в тексте указано 5,3 мм?
2. В тексте недостаточно подробно описаны существующие аналоги и конкурирующие технологии. Было бы полезно включить более детальное сравнение разработанных лазеров с коммерчески доступными решениями, чтобы подчеркнуть их преимущества.

- отзыв к.ф.-м.н. Мкртчяна А.А.

содержит замечания:

1. Неточность в обозначении на рис.1(б): представлен спектр пропускания  $\pi$ -ВБР, однако вертикальная ось обозначена как “мощность”.

Считаю более правильным переобозначить ось “пропускание”, а единицы измерения оставить “дБ”.

2. Графическая неточность: на рис.3(а) и 3(б) качество изображений существенно отличаются.
3. В гетеродинном измерении ширины линии в случае кольцевой конфигурации в тексте утверждается, что одночастотный режим генерации наблюдался во всём мощностном диапазоне, однако на рис.7 приведена ширина линии только для максимальной мощности 7,8 мВт лазера.

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

**предложен** новый подход для реализации одночастотной генерации и улучшению характеристик волоконных оптических схем, основанный на интеграции структур, изготовленных с применением поточечной фемтосекундной методики;

**разработан** непрерывный эрбиевый РОС-лазер, генерирующий единственную поляризационную моду; метод сужения линии генерации таких лазеров за счет применения случайной распределенной обратной связи (СРОС), изготовленной в том числе с использованием методики поточечной фемтосекундной записи; ряд волоконных схем, включающих СРОС и работающих в одночастотном режиме генерации; также разработан эрбиевый РОС-лазер с рекордно короткой длиной резонатора (5,3 мм).

**доказано, что:**

- Резонатор волоконного лазера с распределенной обратной связью на основе ВБР с фазовым сдвигом, изготовленной с применением методики поточечной фс-записи в активном световоде, не сохраняющем поляризацию, позволяет генерировать единственную поляризационную моду.
- Эрбиевый РОС-лазер с ультракоротким резонатором, изготовленным с применением методики поточечной фс-записи в высоколегированном композитном световоде, демонстрирует мощностные и спектральные характеристики, сопоставимые с аналогичными характеристиками РОС-

лазера, имеющего физическую длину на порядок больше.

- Сужение мгновенной ширины линии генерации гибридного РОС-лазера с дополнительной случайной РОС за счет рэлеевского рассеяния в 25-км одномодовом световоде пропорционально квадрату отношения его длины к эффективной длине резонатора РОС-лазера. Сужение линии можно также получить с использованием СРОС на искусственной случайной структуре, записанной поточечной фс-методикой в относительно коротком отрезке волокна.
- Использование СРОС на случайной структуре, реализованной с помощью методики поточечной фс-записи, совместно с узкополосной ВБР в конфигурации с полуоткрытым резонатором позволяет достичь спектральных характеристик, сопоставимых со спектральными характеристиками РОС-лазеров, а мощностные значения в данной конфигурации значительно превосходят аналогичные параметры РОС-лазеров. При этом физическое воздействие на ВБР (сжатие/растяжение) позволяет производить перестройку узкой линии генерации в широком спектральном диапазоне.
- Применение СРОС на случайной структуре и узкополосной ВБР в кольцевой (многопроходной) схеме обеспечивает одночастотный режим генерации во всём диапазоне мощности накачки. Спектральные характеристики соответствуют аналогичным параметрам РОС-лазера, а мощностные параметры – на порядок больше.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что его результаты демонстрируют возможность селекции поляризационных мод в резонаторах РОС-лазеров, изготовленных с помощью фемтосекундной поточечной методики. Помимо этого, проведенное исследование по сужению линии генерации РОС-лазера в гибридной конфигурации с применением протяженной СРОС позволило связать длину структуры с мгновенной шириной линии излучения.**

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)**

**использован экспериментальный метод определения единственной продольной**

моды в генерации и её спектральных характеристик для приведенных лазерных конфигураций; метод численного моделирования, реализующий решение уравнений связанных мод.

**изложены** аргументы, подтверждающие обоснованность выбора экспериментальной методики и достоверность результатов проведенных экспериментов;

**изучены** спектральные и мощностные свойства излучения во всех приведенных лазерных конфигурациях (длина волны генерации, отношения сигнал/шум, ширина линии генерации, относительный шум интенсивности, спектральная плотность фазовых шумов и т.д.); эффект сужения РОС-лазера в гибридной конфигурации, включающей СРОС.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:** они могут быть использованы для создания волоконных лазерных систем с потенциальным применением в таких областях как телекоммуникация, генерация второй гармоники, спектроскопия, сенсорные применения и др.

**разработаны** волоконные схемы, позволяющие получать одночастотную генерацию, как на регулярных структурах типа ВБР с фазовым сдвигом, так и СРОС, изготовленных с применением фемтосекундной поточечной методики. Также разработан метод сужения мгновенной линии генерации РОС-лазеров.

**изучены** мощностные и спектральные характеристики реализованных одночастотных лазеров; возможность сужения РОС-лазера с применением СРОС.

**созданы** резонаторы на основе ВБР с фазовым сдвигом и СРОС с применением фемтосекундной поточечной методики; на их основе разработаны лазерные схемы, способные генерировать одночастотное узкополосное излучение.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** экспериментальные результаты получены с помощью современного оборудования и современных измерительных методик; показана воспроизводимость результатов экспериментальных исследований; **теория** построена на известных и проверяемых данных и согласуется с

опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации и смежным областям;

**установлено** качественное согласование авторских результатов с результатами, представленными в независимых научных источниках по данной тематике;

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

непосредственном участии на всех этапах работы, включая:

- моделирование спектров пропускания структуры резонатора (ВБР с фазовым сдвигом);
- разработку и реализацию лазерных схем
- сборку стендов для проведения характеристики излучения
- обработку и анализ полученных экспериментальных данных;
- апробацию работ в виде выступлений на конференциях;
- подготовку публикаций.

**В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:**

... Термин «фемтосекундная методика» - это слэнг. Должно быть «методика фемтосекундной записи».

... В формулировке результата употреблен термин «...рассеяние в 25-км катушке световода ...» Рассеяние не в катушке, а в 25-км световоде.

Соискатель согласился с замечаниями и дал пояснения.

На заседании 24 февраля 2025 года диссертационный совет постановил: за решение научной задачи, имеющей значение для развития отрасли знаний, связанной с разработкой одночастотных волоконных лазеров, присудить Скворцову Михаилу Игоревичу ученую степень кандидата физико-математических наук 1.3.6. «Оптика».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человека, из них 6 членов диссертационного совета по специальности 1.3.6.

«Оптика» - физико-математические науки, участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 20 , против 0 , недействительных бюллетеней 0 .

Председатель диссертационного  
совета 24.1.028.01 (д 003.005.02)  
академик РАН



*Шалагин*

Шалагин Анатолий Михайлович

Ученый секретарь диссертационного  
совета 24.1.028.01 (д 003.005.02)  
д. ф.-м. н.

*Ильичев*

Ильичев Леонид Вениаминович

«27» февраля 2025 г.