

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Ткаченко Алина Юрьевны

«Разработка и исследование устройств опроса волоконно-оптических датчиков на основе самосканирующего волоконного лазера»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 – Оптика.

### **Актуальность и новизна темы исследования.**

Развитие волоконной оптики, в частности, волоконно-оптических датчиков и сенсорных систем требует разработки альтернативных решений для перестраиваемых лазерных источников. Создание и исследование новых типов перестраиваемых лазеров, их адаптация и оптимизация характеристик для новых практических приложений, является важной и актуальной научно-технической задачей. **Новизна темы диссертации** заключается в том, что в работе продемонстрировано комплексное исследование лазеров нового типа, в которых можно обойти жесткие ограничения на параметры резонатора и реализовать режим одночастотного лазерного сканирования по длине волны средствами нелинейной волоконной оптики. По механизму и характеру генерации лазеры этого типа отличаются от традиционных типов импульсных лазеров, таких как лазеры с модуляцией добротности или лазеры с синхронизацией мод. Самосканирующие лазеры позволяют производить узкополосное импульсное излучение, перестраиваемое по частоте от импульса к импульсу, без использования внешних перестраиваемых элементов. Это дает им огромное преимущество в конкуренции с классическими схемами задающих генераторов для ряда практических приложений.

**Актуальность диссертационной работы** обусловлена острой востребованностью отдельных практических приложений волоконных лазеров, в которых возможность периодического сканирования длины волны лазера в заданном спектральном диапазоне играет ключевую роль. Среди них лазерные системы опроса волоконно-оптических датчиков и когерентные оптические частотные рефлектометры. Адаптация самосканирующего лазера к применению в таких устройствах в качестве задающего генератора потенциально позволяет снизить их себестоимость и расширить диапазон их практических применений. В этом контексте, в работе ставится вопрос об необходимости оптимизации схемы самосканирующего лазера с целью улучшения его выходных характеристик, расширения диапазона частотного сканирования, подавления флуктуаций его границ, практической демонстрации конфигураций интеррогатора и когерентного частотного рефлектометра на основе разработанного самосканирующего лазера. Острая востребованность в таких устройствах также свидетельствует о большой практической значимости результатов обсуждаемой работы.

### **Общая характеристика работы.**

Диссертация хорошо структурирована, должным образом оформлена и проиллюстрирована. Общий объем составляет 104 страницы, работа содержит 50 рисунков

и 5 таблиц. Список литературы состоит из 105 наименований. Структурно диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

*Во введении* четко определена область проведенного исследования, дается достаточно полный обзор литературы, из которого естественным образом вытекают цели и задачи диссертационной работы. Сформулированы актуальность и научная новизна. В конце приводятся положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* описаны результаты исследований, посвященные оптимизации схемы самосканирующего волоконного лазера с целью достижения в лазере максимального диапазона самосканирования и возможности его выбора. Демонстрируется настройка ширины и положения спектральной области сканирования через контроль температуры отдельных узлов схемы (активного волокна и лазерного диода накачки). Исследована зависимость этих параметров от геометрии лазерной конфигурации.

*Во второй главе* показана возможность стабилизации границ диапазона сканирования. Она реализована в двух схемах на основе узкополосных селекторов в виде ВБР, добавленных в резонатор лазера для создания дополнительной узкополосной обратной связи в спектральной области. В первом случае, узкополосные селекторы расположены со стороны слабоотражающего зеркала, во втором - со стороны плотного зеркала резонатора. Обе предложенные схемы позволили уменьшить флуктуации границ диапазона самосканирования на несколько порядков, что является важным достижением в направлении практических применений лазера. В главе приведено качественное описание физического механизма, ответственного за стабилизацию диапазона сканирования.

*Третья глава* посвящена разработке и экспериментальной демонстрации двух схем опроса волоконно-оптических датчиков на основе самосканирующего волоконного лазера. Первая схема интеррогатора с возможностью спектрального разделения датчиков была апробирована на массиве ВБР. В тестовом эксперименте измерена зависимость сдвига длины волны отражения ВБР вследствие нагрева, которая хорошо согласуется с той же зависимостью, полученной с помощью калиброванного анализатора спектров, что позволяет сделать вывод о работоспособности интеррогатора. Вторая схема опроса основана на методике когерентной оптической частотной рефлектометрии. В тестовом эксперименте продемонстрировано измерение распределения температуры по нескольким ВБР, в двух случаях, когда все резонансы ВБР находятся внутри и вне диапазона перестройки лазера. В обоих случаях продемонстрирована возможность как спектрального, так и пространственного разрешения вкладов отдельных ВБР.

*В заключении* сформулированы основные результаты диссертационной работы.

**К наиболее значимым результатам**, обладающим научной новизной, можно отнести следующие:

- *Предложены и впервые экспериментально реализованы* алгоритмы оптимизации схемы самосканирующего лазера, обеспечивающие возможность управления положением и шириной диапазона сканирования, получения максимального диапазона сканирования, снижения флуктуаций границ диапазона сканирования до 2 порядков.

- *Впервые продемонстрировано* использование волоконного самосканирующего лазера в качестве задающего генератора для схем опроса ВБР как со спектральным, так и со спектрально-пространственным разделением, в частности, для квази-распределенного



измерения температуры. При опросе методом когерентной частотной рефлектометрии достигнуто спектральное разрешение менее 100 МГц и пространственное разрешение  $\sim 0.2$  мм при опросе ВБР.

#### **Достоверность и обоснованность полученных результатов.**

Результаты проведенных исследований являются достоверными, так как получены с использованием апробированных экспериментальных методов, соответствуют теоретическим ожиданиям и хорошо согласуются с известными литературными данными.

#### **Практическая значимость диссертационной работы.**

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке и создании устройств опроса волоконно-оптических датчиков на основе самосканирующих лазеров. Проведенные исследования впервые продемонстрировали возможность применения самосканирующего лазера в схемах опроса ВБР.

#### **Публикации, отражающий основное содержание диссертационной работы.**

По материалам диссертации опубликовано 8 статей в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах, среди которых следует отметить журналы Laser Physics Letters и Optics Letters. Основные положения диссертационной работы также обсуждались на многочисленных российских и международных конференциях.

**В целом,** диссертационная работа является законченным исследованием, выполненном на высоком научном уровне. Диссертация хорошо и логично написана, автореферат достаточно полно отражает ее содержание. Собран большой объем экспериментальных исследований, который позволил получить новые практически значимые результаты. Также создан задел для дальнейших исследований.

Отмечая высокий уровень работы, тем не менее, необходимо сформулировать **несколько замечаний**, которые не снижают общую значимость работы:

- В работе предложены средства уменьшения флуктуаций границ диапазона самосканирования и средства компенсации флуктуаций, основанные на определении мгновенной частоты. В принципе, если есть вторые, то первые не очень нужны. И наоборот. В чем заключается компромисс при использовании этих средств?
- В работе флуктуации границ приведены в пм. Было бы разумным эту величину указать в МГц, чтобы было понятно скольким импульсам-модам соответствует эта величина. Что нужно сделать для того, чтобы подавить флуктуации границ еще сильнее? Есть ли в этом необходимость? Что влияет на результат подавления флуктуаций - ширина ВБР или ее профиль? Какие параметры решетки (или отражателя) будут оптимальны для этой цели.
- Почему методы стабилизации, предложенные в главе 2, не используются в рабочих схемах, описанных в главе 3?
- В работе никак не сравниваются разработанные схемы опроса датчиков с коммерческими аналогами. Было бы уместным привести пример того, насколько (при

решении одной и той же задачи) коммерческое устройство оказывается сложнее, чем устройство, предложенное автором. В чем состоит выигрыш предложенных решений?

- В работе уделено достаточно мало внимания физическим механизмам, ответственным за процесс самосканирования в волоконном лазере. Хотелось бы иметь понимание отдельных шагов по улучшению схемы лазера в терминах этих механизмов.
- Текст диссертации содержит небольшое количество опечаток, не изменяющих смысл.

Перечисленные недостатки носят дискуссионный характер, не умаляют значимости полученных результатов и не снижают общий высокий научный уровень работы.

### **Заключение.**

Диссертационная работа «Разработка и исследование устройств опроса волоконно-оптических датчиков на основе самосканирующего волоконного лазера» полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ткаченко Алина Юрьевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 – Оптика.

Официальный оппонент:

Ведущий научный сотрудник  
Ульяновского государственного университета  
кандидат физико-математических наук  
(специальность 01.04.10. - физика твердого тела)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Ульяновский государственный университет»  
Адрес: 432017, Российская Федерация, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, дом 42  
Тел.: +7-925-7132303, электронный адрес: fotiadi@mail.ru

Выражаю согласие на обработку моих персональных  
данных, связанных с защитой диссертации.

Фотиади Андрей Александрович

«22» декабря 2022 г.

Подпись кандидат физ.-мат. наук  
А. А. Фотиади заверяю:

Ученый секретарь УлГУ,  
кандидат педагогических наук



Литвинко Ольга Александровна