



УТВЕРЖДАЮ

Ректор УлГУ

Д.Ф.М.н., профессор

В.М. Костишко

«*ска*» 2026 г.

Отзыв ведущей организации

Научно-исследовательский технологический институт имени С.П. Капицы
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждение высшего образования
«Ульяновский государственный университет»

на диссертационную работу
Ефремова Владислава Дмитриевича
«Исследование эффектов сужения и уширения спектров пикосекундных
импульсов в волоконных лазерных системах»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.3.6 «Оптика»

1. Вводные положения

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.

Научный руководитель: к.ф.-м.н Харенко Денис Сергеевич.

На отзыв ведущей организации были представлены

- диссертация — 1 том, 110 страниц;
- автореферат — брошюра, 20 страниц.

2. Актуальность работы

Диссертация Ефремова В.Д. посвящена численному и экспериментальному исследованию волоконных лазерных систем с точки зрения оказываемого их параметрами влияния на ширину спектров пикосекундных импульсов.

За последние десятилетия пикосекундные импульсы получили широкое применение в спектроскопии, метрологии, визуализации, химических и биомедицинских исследованиях. Волоконные лазеры являются перспективными источниками таких импульсов благодаря компактности, сравнительно низкой стоимости и гибкости выходных характеристик по сравнению с твердотельными лазерами. Для генерации пикосекундных импульсов применяют методы синхронизации мод, в частности пассивные методы на основе искусственных насыщающихся поглотителей. Наиболее распространёнными из них являются нелинейное усиливающее петлевое зеркало и насыщающийся поглотитель, основанный на нелинейном вращении поляризации.

Несмотря на длительную историю этих подходов, актуальными остаются задачи управления параметрами генерируемых импульсов и определения предельных режимов работы лазеров. Особое значение имеет ширина оптического спектра: широкополосные импульсы могут быть усилены и сжаты до фемтосекундных длительностей, тогда как узкополосное излучение востребовано, в частности, в биомедицинских приложениях. Комплексное исследование таких систем эффективно проводить методами численного моделирования, которые позволяют анализировать внутри резонатора нелинейные процессы, труднодоступные для прямого экспериментального наблюдения, и прогнозировать параметры лазера для конкретных задач.

3. Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Полный объём диссертации составляет 110 страниц, включая 31 рисунок и 2 таблицы. Список литературы содержит 128 наименований.

Во **введении** обоснованы актуальность, цель, научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, и представлена структура диссертации.

Первая глава содержит обзор волоконных лазеров пикосекундных импульсов и причин развития волоконной оптики, связанных с её широкими промышленными и биомедицинскими применениями. Особое внимание уделено источникам с заданной шириной спектра для задач биомедицины, в том числе волоконным оптическим параметрическим генераторам для спектроскопии когерентного антистоксова рассеяния света. Рассмотрены три метода получения узкополосных пикосекундных импульсов для накачки таких генераторов. Как наиболее перспективные выделяются схемы с нелинейным усиливающим петлевым зеркалом и амплитудным самомодулятором на основе нелинейного вращения поляризации. Последний подход также позволяет генерировать широкополосные импульсы.

Во **второй главе** изложены теоретические основы численного моделирования распространения излучения в оптическом волокне на базе стандартного и обобщённого нелинейного уравнения Шрёдингера, включая области их применимости и учитываемые нелинейные эффекты. Описана разработанная библиотека PyOFSS на языке Python для моделирования волоконных систем, включающая модели оптических элементов и нелинейных явлений.

В **третьей главе** численно исследованы линейная и кольцевая конфигурации волоконного оптического параметрического генератора (ВОПГ). Для линейного ВОПГ на фотонно-кристаллическом волокне определена область устойчивой генерации, удовлетворяющая требованиям спектроскопии КАРС. Предложенная кольцевая схема с двухплечевой синхронной накачкой обеспечивает перестройку центральной длины волны до 12 нм и максимальную ширину спектра до 2,1 нм, что вдвое превышает показатели линейной схемы. Показано, что двухплечевая синхронная накачка позволяет реализовать режимы параметрической генерации, недоступные для традиционных одноплечевых ВОПГ.

В **четвертой главе** исследованы методы генерации узкополосных и широкополосных пикосекундных импульсов. Численно показано, что NALM можно использовать для фильтрации спектрального пьедестала импульса. Экспериментально исследован полностью волоконный лазер с синхронизацией мод на основе NPE, генерирующий импульсы длительностью 16 пс с минимальной шириной спектра 0,12 нм. Моделирование выявило эффект внутриволноводного самосжатия спектра. Также предсказана возможность получения в NPE-лазере широкополосных импульсов с шириной спектра до 100 нм при оптимизации параметров амплитудного самомодулятора.

В **заключении** приведены основные результаты работы, полученные в ходе исследования.

4. Научная новизна результатов

Рассматривая диссертацию и публикации автора можно выделить следующий ряд новых научных результатов:

- Впервые выполнено масштабное численное моделирование линейного волоконного оптического параметрического генератора, позволившее определить области устойчивой генерации с учётом практических требований к выходному излучению.

- Предложена и численно исследована кольцевая схема ВОПГ с двухплечевой синхронной накачкой, обеспечивающая режимы генерации, недоступные в традиционных одноплечевых конфигурациях.

- Впервые установлена зависимость ширины спектра импульсов широкополосного NPE-лазера от коэффициента пропускания малого сигнала амплитудного самомодулятора.

- Показано, что в узкополосном NPE-лазере с чирпованной волоконной брэгговской решёткой определяющую роль в формировании импульса играет эффект самосжатия спектра, впервые выявленный внутри лазерного резонатора.

5. Практическая значимость полученных автором диссертации результатов.

Практическая значимость работы определяется разработкой доступного программного инструмента для численного моделирования волоконных лазерных систем, прежде всего лазеров с синхронизацией мод. Предложена методика автоматического определения устойчивости режимов генерации в процессе расчётов. Численные модели позволили установить ключевые параметры резонаторов, которые следует учитывать при экспериментальной реализации систем: влияние длины пассивного волокна на область устойчивой генерации ВОПГ и величины аномальной дисперсии, вносимой чирпованной волоконной брэгговской решёткой, на ширину спектра импульсов в NPE-лазере.

6. Замечания

По диссертации есть несколько замечаний:

1. Обзор насыщающихся поглотителей (NPE, NALM) и параметрических генераторов достаточно подробен, но в работе и выступлении отсутствует прямое сопоставление их характеристик в виде сводной таблицы, что могло бы облегчить обоснование выбора именно этих волоконных систем для дальнейшего моделирования.

2. В пар. 4.2 не указано, с какой точностью измерен спектр узкополосных импульсов, что является крайне важной характеристикой при работе с шириной спектра в десятки доли нм.

3. В работе отсутствуют явные упоминания того, как проводилась проверка сходимости используемых численных методов решения Нелинейного уравнения Шрёдингера.

4. В тексте иногда встречается термин «насыщаемые поглотители» вместо «насыщающиеся поглотители», что является общепринятой формулировкой, подходящей по смыслу, а также согласуется с принятым в диссертации сокращением ИНП.

Отмеченные замечания не являются основанием для сомнений в достоверности полученных результатов и сделанных на их основе выводов.

7. Заключение

Доклад по результатам диссертационного исследования Ефремова В.Д. заслушан на семинаре НИТИ УлГУ 20 ноября 2025 г. По теме диссертации опубликовано 12 работа, 5 из которых изданы в рецензируемых научных журналах, индексируемых в российских и международных базах данных, 7 в тезисах докладов.

Таким образом, диссертационная работа Ефремова Владислава Дмитриевича на тему «Исследование эффектов сужения и уширения спектров пикосекундных импульсов в волоконных лазерных системах» полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. «Оптика».

Отзыв составил ведущий научный сотрудник лаборатории нелинейной и микроволновой фотоники НИТИ УлГУ, к. ф.-м. н.

 / Андрей Александрович Фотиади

Дата: «03» августа 2026 г.

Научно-исследовательский технологический институт имени С.П. Капицы
Ульяновского государственного университета (НИТИ УлГУ)

Адрес: 432000, Россия, г. Ульяновск, Университетская набережная, 1, корп. 4
Телефон: +7 (8422) 67-50-54

Почта НИТИ УлГУ: niti-ulsu@yandex.ru