

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Анашкиной Елены Александровны
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

Актуальность темы исследования.

Волоконные лазеры являются важным инструментом современной науки и многочисленных приложений, что обусловлено их компактностью, экономической эффективностью, гибкостью настроек и возможностью управления параметрами в широком диапазоне. Переход к пикосекундным импульсам открыл новые возможности для спектроскопии, метрологии и визуализации, где методы синхронизации мод, особенно основанные на искусственных насыщающихся поглотителях, играют решающую роль. Несмотря на зрелость технологий нелинейного вращения поляризации и нелинейных усиливающих петлевых зеркал, область остается динамичной: актуальные задачи смещаются в сторону прецизионного контроля характеристик излучения и поиска предельных параметров генерации. Особое внимание уделяется ширине оптического спектра, определяющей прикладной потенциал лазеров – от промышленного использования мощных сжатых импульсов до высокоточных биомедицинских исследований. Целью данной работы является исследование эффектов уширения и сужения оптических спектров, возникающих при формировании стабильных импульсов внутри волоконных лазерных систем. В этом контексте численное моделирование выступает незаменимым инструментом, позволяющим не только глубже понять сложные нелинейные процессы внутри резонатора, но и эффективно проектировать лазерные системы под конкретные научные и технические запросы. Сочетание численного моделирования с экспериментальными методами формирует фундамент для дальнейшего прогресса в области волоконной оптики, обеспечивая возможность создания новых лазеров с заданными свойствами.

Общая характеристика и содержание работы.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.3.6. Оптика.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 110 страниц, включая 31 рисунок и 2 таблицы. Список литературы содержит 128 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определены цель и задачи, сформулированы научная новизна и практическая значимость работы, а также положения, выносимые на защиту. Представлены сведения об апробации результатов исследования, личном вкладе автора, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе диссертации проводится обзор литературы по выбранной тематике.

Вторая глава посвящена теоретическим и программным аспектам моделирования волоконно-оптических систем. Рассмотрено стандартное и обобщенное нелинейное уравнение Шрёдингера, а также численные методы его решения. Приводится описание библиотеки PyOFSS для моделирования волоконных компонент с учетом различных эффектов, а также обсуждаются реализованные усовершенствования, позволяющие значительно ускорить расчеты. Описан алгоритм автоматического поиска стабильных режимов генерации и способ их отображения на карте параметров.

В третьей главе представлены результаты численного моделирования линейной схемы волоконных оптических параметрических генераторов в многомерном пространстве параметров. Полученные области режимов стабильной генерации проанализированы с точки зрения применимости для когерентной антистоксовой рамановской спектроскопии. Также численно исследована предложенная автором схема кольцевого волоконного оптического генератора с двухплечевой синхронной накачкой, позволяющая существенно расширить область достижимых параметров импульсов по аналогии с отстроенными фильтрами генератора Мамышева.

В четвертой главе представлено численное исследование методов управления спектральными характеристиками узкополосных пикосекундных волоконных лазеров. В первом методе рассматривается возможность подавления спектрального пьедестала при помощи нелинейного усиливающего петлевого зеркала. Во втором методе используется чирпированная брэгговская решетка с очень большой аномальной дисперсией, встроенная в волоконный лазер с нелинейным вращением поляризации. Эта схема также исследована экспериментально. На основе эксперимента построена модель для анализа причин нетипичной ширины спектра.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Среди **новых основных результатов** хотелось бы особенно выделить следующие.

- Предложена и численно исследована новая кольцевая схема волоконного оптического параметрического генератора с двухплечевой синхронной накачкой, позволяющая существенно расширить область достижимых параметров параметрических импульсов по аналогии с отстроенными фильтрами генератора Мамышева. Показано, что схема позволяет увеличить энергию в импульсе до 57 нДж, ширину спектра в два раза (до 2,1 нм), а также увеличить сдвиг центральной длины волны параметрических импульсов в два раза (до 12 нм) по сравнению с линейной конфигурацией волоконного оптического параметрического генератора.
- Численно показана возможность использования нелинейного усиливающего петлевого зеркала в качестве спектрального фильтра для подавления пьедестала оптических импульсов и определены оптимальные параметры схемы. Обнаружено, что доля энергии в пьедестале импульса может быть уменьшена с 34 до 5,6 % при длинах пассивного волокна ~1 км.
- Численно и экспериментально исследован полностью волоконный лазер с синхронизацией мод на основе эффекта нелинейного вращения поляризации, который генерировал импульсы длительностью 16 пс на длине волны 1030,2 нм с наименьшей шириной спектра 0,12 нм, энергией 0,6 нДж и длительностью 16 пс при помещении чирпированной брэгговской решетки с большой аномальной дисперсией внутрь резонатора. В численном моделировании обнаружен эффект самосжатия спектра за счёт фазовой самомодуляции внутри лазерного резонатора.

Достоверность и обоснованность результатов численного моделирования подтверждается сопоставлением полученных данных с результатами экспериментов, аналитическими решениями и работами других авторов. При проведении экспериментальных исследований применялись апробированные методики измерений. Основные положения диссертации опубликованы в международных и российских журналах, обсуждались на всероссийских и международных конференциях. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в работе В.Д. Ефремова, обладают новизной и являются хорошо обоснованными.

Практическая значимость диссертации.

Практическая значимость работы состоит в создании мощного инструментария для моделирования волоконных лазеров с синхронизацией мод, востребованных для различных приложений. Разработанная методика автоматизированного контроля стабильности режимов генерации и выявленные ключевые параметры резонаторов позволят существенно оптимизировать процесс проектирования лазерных систем.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации.

По материалам диссертации опубликовано 5 статей в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах, среди которых Квантовая электроника, Прикладная Фотоника, Applied Optics, Photonics и Optics Letters. В четырех статьях В.Д. Ефремов является первым автором, что свидетельствует о его определяющем вкладе. Всего автором опубликовано 12 печатных работ по теме диссертации.

Характеризуя работу В.Д. Ефремова, отмечу, что диссертация хорошо и логично написана, а *автореферат* с необходимой полнотой отражает содержание исследования. Автором выполнен большой объем работ, в результате чего получены новые практически значимые результаты, а также создан солидный задел для дальнейших исследований. Помимо численного моделирования, В.Д. Ефремов также выполнил экспериментальные исследования, результаты которых представлены в главе 4, что также является достоинством диссертационной работы. Таким образом, В.Д. Ефремов проявил себя как высококвалифицированный специалист, обладающий необходимыми навыками для проведения научных исследований современного уровня.

Замечания по диссертационной работе

Отмечая высокий уровень работы, тем не менее, хотелось бы сформулировать пару замечаний, которые носят несущественный характер и не влияют на основные результаты исследования.

- В главе 2 на стр. 39 сказано: “С одной стороны, в данной работе метод расщепления по физическим процессам почти не использовался, лишь при моделировании нелинейного усиливающего петлевого зеркала (Пар. 4.1).” Было бы полезно уточнить, почему для этой задачи был выбран именно этот метод, а не метод Рунге–Кутты 4-го порядка в представлении взаимодействия, который использовался в остальных случаях. В чем заключалось преимущество метода расщепления в данном контексте? Оказался ли он по каким-то причинам более эффективным, точным, быстрым или удобным?
- Во второй главе излишне подробно описываются технические детали компьютерного моделирования, приводятся фрагменты численного кода, обсуждаются модули и классы, которые не влияют на понимание результатов диссертации. Вероятно, имело бы смысл вынести эти подробности в приложение.

Заключение.

Таким образом, диссертация представляет собой завершённое исследование, выполненное на высоком научном уровне. Основные результаты работы опубликованы в 5 статьях в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах, а также в тезисах международных и всероссийских конференций. Автореферат полностью соответствует содержанию и выводам диссертации. Актуальность, новизна, практическая значимость, достоверность и обоснованность результатов не вызывают сомнений.

Диссертационная работа «Исследование эффектов сужения и уширения спектров пикосекундных импульсов в волоконных лазерных системах» полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Ефремов Владислав Дмитриевич заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Официальный оппонент:

Анашкина Елена Александровна,
доктор физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика,
доцент, профессор РАН,
заведующий лабораторией экстремальной нелинейной оптики
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46.
Тел. +7(920)258-34-13, эл.почта: elena.anashkina@ipfran.ru



Анашкина Е.А.
31.07.2026

Подпись Анашкиной Е.А. удостоверяю
Ученый секретарь учреждения
к.ф.-м.н.



Корюкин И.В.