

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертационную работу Ефремова Владислава Дмитриевича
«Исследование эффектов сужения и уширения спектров пикосекундных импульсов в
волоконных лазерных системах»
по специальности 1.3.6 «Оптика»

Актуальность темы исследования

Волоконные лазеры, излучающие пикосекундные импульсы в ближнем инфракрасном диапазоне спектра находят применение в таких областях как спектроскопия, метрология, визуализация, химические и биомедицинские исследования. Реализация данного типа генерации, как правило, основана на режиме синхронизации мод, которая может быть достигнута при использовании искусственных насыщающихся поглотителей. В последнее время, наибольшую актуальность приобретают задачи управления параметрами импульсов и определения предельных режимов работы лазеров. Важную роль играет ширина оптического спектра: широкополосные импульсы могут быть усилены и сжаты до фемтосекундных длительностей, тогда как узкополосное излучение востребовано в том числе в биомедицинских приложениях. Совместное использование численного моделирования и сбора экспериментальных данных позволяет исследовать нелинейные процессы в резонаторе, недоступные прямому наблюдению, и прогнозировать параметры лазера для конкретных задач.

Общая характеристика и содержание работы

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.3.6 «Оптика».

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания используемых численных моделей и основной части, включающей экспериментальные и численные результаты, а также заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 110 страниц, включая 31 рисунок и 2 таблицы. Библиографический список включает в себя 128 наименований.

Во Введении обоснована актуальность диссертационной работы, определены её цель и задачи, раскрыты научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы: цель работы, поставленные задачи и положения, выносимые на защиту. В завершении введения представлена структура диссертации.

В первой главе представлен обзор волоконных лазеров пикосекундных импульсов, а также факторов развития волоконной оптики, обусловленных её широким практическим применением. Особое внимание уделено источникам лазерного излучения, предназначенным для биомедицинских задач, включая волоконные оптические параметрические генераторы для спектроскопии когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС). Рассмотрены способы формирования узкополосных пикосекундных импульсов. Наиболее перспективными признаны схемы с нелинейным усиливающим петлевым зеркалом и амплитудным самомодулятором, основанным на нелинейном вращении поляризации.

Во второй главе представлены основы численного моделирования распространения излучения в оптических волокнах на основе стандартного и обобщённого нелинейного уравнения Шрёдингера, рассмотрены границы применимости моделей и учитываемые нелинейные эффекты. Описано расширение и усовершенствование библиотеки PyOFSS на языке программирования Python, содержащей модели волоконных элементов и нелинейных процессов.

В третьей главе численно исследованы линейная и кольцевая конфигурации волоконного оптического параметрического генератора. Для линейной схемы на фотонно-кристаллическом волокне определена область устойчивой генерации, соответствующая требованиям спектроскопии КАРС. Продемонстрировано, что предложенная диссертантом уникальная кольцевая схема с двухплечевой синхронной накачкой способна генерировать параметрические импульсы с увеличенной до 57 нДж энергией.

В четвёртой главе рассмотрены методы формирования узкополосных и широкополосных пикосекундных импульсов. Численно показана возможность использования нелинейного усиливающего кольцевого зеркала для подавления спектрального пьедестала импульса. Экспериментально исследован полностью волоконный лазер с синхронизацией мод на основе нелинейной эволюции поляризации, генерирующий импульсы длительностью 16 пс при минимальной ширине спектра 0,12 нм. Моделирование выявило эффект внутрирезонаторного спектрального самосжатия. Численно показана возможность генерации в лазере с нелинейно эволюцией поляризации широкополосных импульсов с шириной спектра до 100 нм при оптимизации параметров амплитудного самомодулятора.

В заключении приведены основные итоги, полученные в ходе выполнения диссертационного исследования.

Среди результатов диссертации следует отметить следующие:

- Ефремовым В.Д. предложена и численно исследована кольцевая схема волоконно-оптического параметрического генератора с двухплечевой синхронной накачкой, позволяющего получать параметрические импульсы с энергией до 57 нДж, недоступной в линейной схеме при близком уровне накачке.
- Установлена зависимость ширины спектра импульсов широкополосного лазера с синхронизацией мод на основе нелинейной эволюции поляризации от коэффициента пропускания малого сигнала амплитудного самомодулятора, что открывает возможность для генерации импульсов с шириной спектра до 100 нм.
- Показано, что эффект самосжатия спектра на основе фазовой самомодуляции оказывает основное влияние на формирование импульса в узкополосном лазере с синхронизацией мод на основе нелинейной эволюции с частотно-модулированной волоконной брэгговской решёткой. Помимо этого, данное явление впервые обнаружено внутри лазерного резонатора.

Достоверность и обоснованность результатов подтверждается использованием надежных экспериментальных методик и численных методов, широко применяемых в профессиональном сообществе. Основные результаты апробированы выступлениями с докладами на всероссийских и международных конференциях, а также опубликованы в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах. Научные положения и выводы, сформулированные в работе соискателя, являются обоснованными.

Практическая значимость диссертации

Результаты данной работы могут лечь в основу создания мощных импульсных волоконных лазеров, а созданная библиотека для моделирования волоконных лазеров с синхронизацией мод способна облегчить и упростить численные исследования.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации

Материалы диссертации опубликованы в 5 статьях в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах.

В качестве характеристики хотелось бы отметить, что текст диссертации написан логично и лаконично, автореферат полностью отражает содержание работы. Текст содержит незначительное число ошибок. Автором выполнен значительный объём исследований, включающих проведение экспериментов и составление численных моделей волоконных лазерных систем. Полученные результаты характеризуют автора как высококвалифицированного специалиста, обладающего необходимыми навыками для выполнения комплексных научных исследований.

По диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

1. Поставленные задачи сформулированы слишком обобщенно:
«Изучить теоретические основы распространения излучения по оптическому волокну, а также существующие в нём нелинейные эффекты.» Может ли изучение общих материалов быть задачей диссертационной работы? «Подобрать или создать подходящий под поставленную цель и доступные ресурсы инструмент для численного моделирования.» Излишне обобщенная задача.
2. В тексте присутствуют расплывчатые формулировки: «С одной стороны, в данной работе метод расщепления по физическим процессам почти не использовался, лишь при моделировании нелинейного усиливающего петлевого зеркала.» «Внутренний код у платных программ обычно закрыт для защиты от «пиратства». «Требуется высокой точности установки значений в задержке и пиковой мощности накачки (без указания конкретных численных значений).»
3. Насколько целесообразно было вводить два класса WDM и Coupler, когда в случае сплавной структуры это близкие устройства. Возможно, отражательные мультиплексоры требуют отдельного класса, но в тексте это не обсуждается.
4. Демонстрация соотношения сигнала и шума на РЧ спектре (рис. 4,7 (б)) выглядит завышенной.
5. В п. 3 заключения полезным было бы указать диапазон длительностей импульсов.

Перечисленные замечания не снижают общей положительной оценки работы и не являются основанием для сомнения в достоверности результатов диссертации и сделанных на их основе выводов.

Заключение

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

Официальный оппонент:

Камынин Владимир Александрович
кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального
исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской
академии наук» 119991, г. Москва, ул. Вавилова, 38
Тел. +7 926 334 69 15, эл.почта: kamynin@kapella.gpi.ru

Камынин В.А.

«17» 08 2026 г.

Подпись Камынина В.А. удостоверяю:



Камынин В.А.
ЗАВЕРЯЮ
СЕКРЕТАРИ
ИОФ РАН
ГЛУШКОВ В.В.