

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертационную работу Жданова Иннокентия
«Исследование генерации сильночирпованных диссипативных солитонов
в области нормальной дисперсии на длинах волн более 1,5 мкм»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.6. Оптика

Актуальность темы исследования.

Разработка и исследование новых волоконных источников ультракоротких оптических импульсов представляют огромный интерес для приложений и для фундаментальных задач. Волоконные импульсные лазерные системы востребованы в спектроскопии, медицине, прецизионной обработке материалов и др. Область применимости волоконных источников постоянно расширяется благодаря достижению новых характеристик, например, получению когерентного излучения в малоосвоенных спектральных диапазонах за счет нелинейно-оптических преобразований импульсов, изначально сгенерированных в лазерах с синхронизацией мод. Генерация фемтосекундного излучения в диапазоне длин волн около 1,5 мкм в эрбиевых волоконных лазерах в настоящее время осуществляется на основе хорошо отработанных технологий с применением развитой компонентной базы. Тем не менее, разработка и оптимизация таких систем для конкретных целей, реализация определенных режимов, а также достижение требуемых параметров, в том числе, для дальнейшего преобразования методами нелинейной оптики, представляется актуальной проблемой. **Целью** диссертационной работы И. Жданова является исследование возможности создания волоконного источника мощных фемтосекундных импульсов с центральной длиной волны более 1,5 мкм, а также исследование возможности создания на его основе источника импульсов с центральной длиной волны 1,6-1,7 мкм за счет эффекта вынужденного комбинационного рассеяния. Диапазон длин волн около 1,7 мкм, соответствующий «окну прозрачности» воды, представляет огромный интерес для спектроскопии. Следует отметить, что в настоящее время ощущается дефицит импульсных лазерных источников в диапазоне 1,6-1,7 мкм, поэтому диссертационная работа направлена на решение важной и актуальной проблемы.

Общая характеристика и содержание работы.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.3.6. Оптика.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Общий объем составляет 96 страниц, включая 45 рисунков и 7 таблиц. Список литературы содержит 99 источников.

Во Введении обосновывается актуальность темы диссертации, определяются цели и задачи, формулируется научная новизна и практическая значимость, приводятся сведения об апробации исследования, формулируются положения, выносимые на защиту, приводятся данные об объеме и структуре диссертации.

В первой главе диссертации рассматриваются базовые понятия и принципы, используемые в работе, а также проводится обзор литературы по выбранной тематике.

Во второй главе описываются и обсуждаются экспериментальные и численные методы, применяемые диссертантом в его исследованиях.

Третья глава посвящена разработке, исследованию и оптимизации задающего эрбиевого волоконного генератора мощных ультракоротких лазерных импульсов в диапазоне длин волн около 1,5 мкм в режиме сильночирпованного диссипативного солитона при нормальной суммарной дисперсии резонатора. Были реализованы и исследованы различные конфигурации волоконного генератора с пространственным разделением эффектов нелинейного вращения поляризации и нелинейной эволюции импульса. Исследовано увеличение энергии импульсов за счет увеличения длины резонатора. Для дальнейшего увеличения энергии импульсов с целью их использования

для генерации рамановских диссипативных солитонов использована техника усиления chirпированных импульсов. В качестве альтернативного подхода реализована генерация солитонов, управляемых дисперсией; достигнут режим многоимпульсной генерации. Альтернативный подход не позволил получить энергию в импульсах, достаточную для достижения порога генерации рамановских диссипативных солитонов, но, тем не менее, может представлять интерес для практических задач.

В четвертой главе представлены результаты исследований ключевой задачи диссертационной работы – генерации рамановских диссипативных солитонов в диапазоне 1,6-1,7 мкм методом синхронной накачки внешнего волоконного резонатора. Для отработки методики и освоения базовой концепции И. Жданов участвовал в работах по генерации рамановских диссипативных солитонов в диапазоне длин волн около 1,3 мкм, что также отражено в данной главе.

В заключении представлен список основных результатов работы, а также указаны дальнейшие потенциальные направления развития работы.

Среди **основных результатов диссертации** следует отметить следующие.

- Исследована генерация сильноchirпованных диссипативных солитонов на длине волны около 1,5 мкм в волоконном резонаторе с пространственным разделением эффектов нелинейного вращения поляризации и эволюции импульса. Показано, что за счет увеличения длины резонатора можно повысить энергию в импульсе с 0,9 нДж до ~3,7 нДж.
- Исследованы особенности усиления сильноchirпованных диссипативных солитонов с помощью техники усиления chirпированных импульсов. В оптимизированной схеме достигнута энергия ~30 нДж, достаточная для накачки внешнего резонатора с целью генерации диссипативных рамановских солитонов.
- **Впервые** в спектральном диапазоне 1,6-1,7 мкм получена и исследована генерация рамановских диссипативных солитонов при накачке внешнего резонатора. Достигнута рекордно высокая дифференциальная эффективность преобразования 85%.

Достоверность и обоснованность результатов подтверждается использованием надежных экспериментальных методик, применением современного специализированного оборудования. Экспериментальные результаты согласуются с литературными данными, а также результатами численных расчетов. Основные положения диссертации опубликованы в ведущих международных и российских журналах, обсуждались на многочисленных российских и международных конференциях. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в работе И. Жданова, являются хорошо обоснованными.

Практическая значимость диссертации.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при разработке и создании волоконных лазерных источников фемтосекундных импульсов в диапазоне длин волн 1,5-1,7 мкм для различных приложений.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации.

По материалам диссертации опубликовано 6 статей в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах, среди которых следует отметить высокорейтинговые журналы Optics Express и Optics Letters.

Характеризуя работу И. Жданова, отмечу, что диссертация хорошо и логично написана, а *автореферат* с необходимой полнотой отражает содержание исследования. Автором выполнен большой объем экспериментальных работ, в результате чего получены новые практически значимые результаты, а также создан солидный задел для дальнейших

исследований. Для объяснения и более глубокого понимания достаточно сложных исследуемых процессов в работе применялось численное моделирование, что также является ее достоинством. Таким образом, И. Жданов проявил себя как высококвалифицированный специалист, обладающий необходимыми навыками для комплексного проведения научных исследований мирового уровня.

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 4 следовало пояснить, почему не производилась характеристика временной структуры рамановских диссипативных солитонов в диапазоне 1,6-1,7 мкм, а также обсудить возможности такой характеристики. Также было бы полезно провести теоретические оценки длительностей этих солитонов и соответствующих спектрально-ограниченных длительностей.
- В тексте встречаются неточности в описании рисунков и ссылок на них, что слегка усложняет восприятие информации. Например, на рисунке 3.22 (b,c,d) показан восстановленный методом FROG импульс длительностью ~ 0.5 пс, но не ясно, чему соответствует этот импульс с аномальным чирпом. На стр. 66 сказано: *“С помощью техники FROG была измерена автокорреляционная функция генерируемых импульсов (рис. 3.22). Если предположить, что временная огибающая обладает формой sech^2 , то ширина АКФ в 1,54 раза больше длительности импульса и даёт нам длительность 1,6 пс.”* Но это описание не соответствует рис. 3.22. Также не понятно, где показана восстановленная АКФ, дающая оценочную длительность импульса $\sim 1,6$ пс.

Заключение.

Диссертационная работа «Исследование генерации сильночирпованных диссипативных солитонов в области нормальной дисперсии на длинах волн более 1,5 мкм» полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Жданов Иннокентий 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,
старший научный сотрудник лаборатории экстремальной нелинейной оптики
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
Российской академии наук» (ИПФ РАН), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46.
Тел. +7(920)258-34-13, эл.почта: elena.anashkina@ipfran.ru

Анашкина Е.А.
16.11.2022

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



Корюкин И.В.