

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.238.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 10.10.2022 № 163

О присуждении Андрианову Алексею Вячеславовичу, гражданину РФ,
ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация «Увеличение мощности и расширение диапазонов перестройки длины волны и частоты повторения ультракоротких импульсов в волоконных лазерных системах» по специальности 1.3.19 – лазерная физика принята к защите 27.06.2022 г., протокол №155, диссертационным советом 24.1.238.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН), 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, приказ Министерства образования и науки РФ о создании совета № 717/нк от 09.11.2012 г.

Соискатель Андрианов Алексей Вячеславович 1985 года рождения в 2008 году окончил с отличием Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук «Волоконно-оптические источники ультракоротких лазерных импульсов, перестраиваемых в ближнем инфракрасном диапазоне» защитил в 2011 году в диссертационном совете Д 002.069.02, созданном на базе ИПФ РАН, работает заведующим лабораторией в ИПФ РАН. Диссертация выполнена в отделении Нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН.

Официальные оппоненты Бабин Сергей Алексеевич, член-корр. РАН, доктор физ.-мат. наук, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки (ФГБУН) Института автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук; Косарева Ольга Григорьевна, доктор физ.-мат. наук, профессор физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»; Худяков Дмитрий Владимирович, доктор

физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Центра физического приборостроения ФГБУН Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им А.М. Прохорова Российской академии наук» дали положительные отзывы на диссертацию. Ведущая организация ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) в своем положительном заключении, подписанном д.ф.-м.н., и.о. зав. отделом лазерных технологий Троицкого обособленного подразделения ФИАН Губиным Михаилом Александровичем и утвержденном директором ФИАН, член-корр. РАН, д.ф.-м.н. Колачевским Николаем Николаевичем, указала, что диссертация актуальна, имеет большое значение как для фундаментальных исследований, так и для практических применений, является законченным научным исследованием, которое можно квалифицировать как научное достижение, а ее автор, Андрианов Алексей Вячеславович, заслуживает присуждения степени доктора физ.-мат. наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

Соискатель имеет 33 статьи, опубликованных в 2014-2022 гг. в рецензируемых научных изданиях первого и второго квартилей, индексируемых по международным базам Scopus и/или Web of Science. Наиболее значимыми работами по теме диссертации являются:

1. Andrianov A., Anashkina E., Kim A., Meyerov I., Lebedev S., Sergeev A., Mourou G. Three-dimensional modeling of CPA to the multimillijoule level in tapered Yb-doped fibers for coherent combining systems // *Optics Express*. 2014. V. 22, № 23. P. 28256.
2. . Andrianov A. V., Kalinin N. A., Anashkina E. A., Egorova O. N., Lipatov D. S., Kim A. V., Semjonov S. L., Litvak A. G. Selective Excitation and Amplification of Peak-Power-Scalable Out-of-Phase Supermode in Yb-Doped Multicore Fiber // *Journal of Lightwave Technology*. 2020. V. 38, № 8. P. 2464.
3. Andrianov A., Kim A. Widely stretchable soliton crystals in a passively mode-locked fiber laser // *Optics Express*. 2021. V. 29, № 16. P. 25202.
4. Andrianov A. V., Kalinin N. A., Koptev M. Y., Egorova O. N., Kim A. V., Litvak A. G. High-energy femtosecond pulse shaping, compression, and contrast enhancement using multicore fiber // *Optics Letters*. 2019. V. 44, № 2. P. 303.
5. Andrianov A. V. All-Optical Manipulation of Elastic Soliton Crystals in a Mode-Locked Fiber Laser // *IEEE Photonics Technology Letters*. 2022. V. 34, № 1. P. 39.
6. Andrianov A. Spectral-temporal patterned supercontinuum generation and pulse compression with tunable sub-terahertz repetition rate // *Laser Physics Letters*. 2021. V. 18, № 12. P. 125103.

На диссертацию поступили 8 отзывов, все отзывы положительные. В них отмечаются высокий уровень работы, ее актуальность, научная новизна и высокая практическая значимость полученных результатов.

В положительном отзыве ведущей организации содержатся замечания: 1) в работе не приведены данные об устойчивости многосолитонного режима лазера при изменении внешних факторов, в работе было бы ценно сравнить предложенный метод повышения частоты на основе внутреннего интерферометра Маха-Цендера с методом внешнего каскада интерферометров Маха-Цендера при односолитонном лазерном излучении на входе; 2) при цитировании работ [103] (2016), [74] (2017), [A12] (2021) требуется пояснение утверждения на стр. 64 о том, что впервые идея метода была высказана в 2021 году.

Положительный отзыв официального оппонента член.-корр. РАН д.ф.-м.н. С.А. Бабина содержит замечание: не описан важный для понимания принципов работы и характеристик системы метод нелинейного преобразования излучения фемтосекундного эрбиевого лазера, генерирующего на длине волны 1.56 мкм, в диапазон 1.03 мкм.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. Д.В. Худякова содержит вопросы и замечания: 1) рассматривалась ли оптимальная геометрия расположения сердцевин световодов для увеличения эффективности накачки; 2) возможны ли в многосердцевинных световодах перескоки между противофазной и синфазной модами при локальных температурных флуктуациях показателя преломления в оптических волокнах; 3) какое время жизни связанных импульсных состояний в лазерном генераторе и сохраняется ли импульсный паттерн при перезапуске генератора? Возможен ли самозапуск импульсных паттернов?

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. О.Г. Косаревой содержит следующие замечания: 1) следовало бы обсудить области применимости метода моделирования сильно чирпированных импульсов с использованием модифицированных преобразований Фурье, рекомендации по выбору параметров численных сеток, а также поведение метода при моделировании слабо чирпированных импульсов; 2) предложенный метод повышения эффективности когерентного суммирования с противофазным распределением источников требует дополнительного выходного каскада для суммирования пучков. Каким образом осуществляется поддержание относительных фаз пучков перед этим каскадом? Было бы также полезно обсудить возможность реализации управления положением выходного пучка; 3) в исследованиях лазера солитонных кристаллов

рассматривается режим работы, при котором слабая реплика солитонного импульса реинжектируется в резонатор с помощью интерферометра Маха-Цендера с задержкой относительно солитона. Возможна ли генерация солитонного кристалла в режиме, когда слабая реплика солитонного импульса опережает солитон?

Положительные отзывы на диссертацию д.ф.-м.н. О.В. Бутова, д.ф.-м.н. М.И. Бакунова, д.ф.-м.н. А.В. Юлина, к.ф.-м.н. А.А. Фотиади замечаний не содержат.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что оппоненты являются признанными высококвалифицированными специалистами в областях лазерной физики, нелинейной волоконной оптики, численного моделирования нелинейно-оптических процессов, а ведущая организация является передовым институтом в области лазерной физики, нелинейной волоконной оптики и физики лазеров с ультракороткими импульсами.

Диссертационный совет отмечает, что в результате выполненных соискателем исследований получены следующие результаты.

- Предложен новый метод высокопроизводительного моделирования нелинейного распространения и усиления сильно чирпированных импульсов в лазерных и параметрических усилителях, позволяющий сократить затраты компьютерной памяти и времени на проведение вычислений по сравнению со стандартными алгоритмами.
- С помощью численного моделирования нелинейной динамики оптических импульсов в многосердцевинных световодах с взаимодействующими сердцевинами впервые продемонстрирована возможность устойчивого распространения и усиления излучения с поперечной структурой в виде противофазной супермоды с суммарной мощностью, многократно превосходящей пороговую мощность самофокусировки в материале световода. Впервые экспериментально продемонстрировано селективное возбуждение и распространение противофазных супермод в многосердцевинных волокнах со структурой сердцевин в виде квадратной матрицы и в виде кольца, в последнем случае также продемонстрировано усиление излучения.
- Предложен новый метод повышения эффективности когерентного суммирования квадратного массива оптических пучков в схеме с мозаично заполненной апертурой до 98%, основанный на использовании противофазного распределения источников и дополнительного простого каскада суммирования на основе делителей пучка.

- Продемонстрирована генерация нового типа солитонных кристаллов, состоящих из нескольких сотен регулярно повторяющихся базовых структур, которые могли быть сжаты и растянуты более чем в 30 раз с сохранением своей структуры в фемтосекундном лазере с синхронизацией мод, содержащем внутрирезонаторный перестраиваемый интерферометр Маха-Цендера. Продемонстрировано управление отдельными импульсами в перестраиваемом солитонном кристалле с помощью инъекции ультракороткого импульса от внешнего источника в лазерный резонатор.
- В полностью волоконной системе на основе кварцевых волокон с германатной сердцевиной экспериментально продемонстрирована генерация оптических солитонов, перестраиваемых с помощью эффекта рамановского самосдвига частоты, до длины волны 2.65 мкм. В численном моделировании показано, что диапазон перестройки длины волны солитонов может быть расширен до 4.5 мкм с помощью многосердцевинных световодов на основе теллуритных стекол.
- Показано, что при распространении мощного ультракороткого импульса в многосердцевинных световодах с гексагональной структурой сердцевины происходит самоочищение импульса от низкоинтенсивного пьедестала, сопровождающееся самомодуляцией и сжатием центральной части импульса. Продемонстрировано увеличение временного контраста импульса на 2 порядка, 7-кратное сжатие импульса и 4-х кратное увеличение его пиковой мощности.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- предложена новая концепция формирования связанных состояний диссипативных солитонов с широко перестраиваемым расстоянием между импульсами – перестраиваемых солитонных кристаллов;
- подтверждена возможность устойчивого распространения и усиления противофазных супермод, существующих в определенных конфигурациях многосердцевинных волокон, при суммарной мощности многократно превышающей предельную мощность для одной сердцевины;
- предложен прямой алгоритм восстановления формы ультракоротких импульсов по данным измерений в модифицированной схеме оптического стробирования со спектральным разрешением.

Значение полученных результатов для практики состоит в том, что:

- предложены и разработаны новые методы многократного повышения мощности излучения волоконных лазерных систем, что важно для практических

применений волоконных систем в области обработки материалов, лазерной хирургии и для научных приложений;

- разработан источник управляемых последовательностей импульсов со сверхвысокой частотой повторения, перспективный для решения задач радиофотоники, разработки оптических стандартов частоты, высокоскоростной передачи и полностью оптической обработки информации;
- исследованы новые возможности управления оптическим излучением в волоконных системах, позволяющие расширить диапазон перестройки длин волн и увеличить мощность ультракоротких импульсов, что важно для задач спектроскопии, нелинейной микроскопии и исследований оптических материалов и систем в широком диапазоне параметров.

Достоверность результатов исследования обусловлена использованием хорошо зарекомендовавших себя экспериментальных и численных методов; сопоставлением результатов, полученных несколькими различными методами; качественным и количественным совпадением теоретических и экспериментальных результатов. Результаты работы опубликованы в авторитетных научных журналах, многократно докладывались на российских и международных конференциях.

Личный вклад соискателя. Все выносимые на защиту результаты и положения получены автором лично, либо при его непосредственном участии или руководстве. А.В. Андрианов внес определяющий вклад постановку всех задач диссертационного исследования, проведение теоретических и экспериментальных исследований, а также в интерпретацию результатов. Алгоритмы и численные коды для моделирования распространения пучков и импульсов были разработаны лично автором. Проведение экспериментов и обработка данных выполнены автором лично, либо при его непосредственном руководстве.

На все вопросы и замечания, высказанные в ходе защиты и содержащиеся в отзывах, А.В. Андриановым были даны ответы и комментарии.

Диссертация А.В. Андрианова оформлена в виде научного доклада, подготовленного на основе совокупности ранее опубликованных соискателем работ, имеющих большое значение для лазерной физики, и представляет собой краткое обобщенное изложение результатов проведенных соискателем исследований, известных широкому кругу специалистов.

На заседании от 10.10.2022 г. диссертационный совет принял решение: за разработку теоретических положений, совокупность которых можно

квалифицировать как научное достижение, присудить Андрианову А.В. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 26 человек, из них 8 докторов наук по специальности, рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящего в состав совета, проголосовали: за - 26, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета,
академик РАН



Литвак Александр Григорьевич

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук

Абусакиров Эдуард Булатович

10 октября 2022 г.