

1. **Наименование темы работы:** Эффективные гибридные и волоконные лазерные системы с высокой энергией сверхкоротких импульсов излучения.

2. **Состав коллектива исполнителей:**

зав.ОЛФиИТ НГУ, д.ф.-м.н., с.н.с Кобцев Сергей Михайлович

проф. Турицын Сергей Константинович

к.ф.-м.н. Смирнов Сергей Валерьевич

к.ф.-м.н. Кукарин Сергей Владимирович

к.ф.-м.н. Нюшков Борис Николаевич

аспиранты Иваненко Алексей Владимирович, Федотов Юрий Сергеевич, студенты (6 чел.)

3. **Контактное лицо**

Смирнов Сергей Валерьевич, с.н.с. ОЛФиИТ, к.ф.-м.н. тел. 363-41-65, моб. 8-9232228007.

Кобцев Сергей Михайлович, зав. ОЛФиИТ НИЧ НГУ, д.ф.-м.н., тел. 363-42-65.

4. **Научное содержание работы**

4.1 Постановка задачи. Проводимая в ОЛФиИТ НГУ работа направлена на создание новых более совершенных источников лазерного излучения с высокой энергией ультракоротких импульсов излучения. В частности, задачами проводимой работы являются выявление путей повышения стабильности и уменьшения длительности импульсов излучения в лазерных системах с синхронизацией мод в резонаторах различной длины; определение предельно возможных параметров – минимальной частоты повторения импульсов, максимальной энергии импульсов – волоконно/гибридных лазерных систем с синхронизацией мод и длинными (> 1-10 км) резонаторами. Объектом исследований являются лазеры с пассивной синхронизацией мод за счёт эффекта нелинейного вращения поляризации и насыщающихся поглотителей (CNT).

4.2 Современное состояние проблемы. Высокоэнергетичные импульсы излучения малой длительности требуются в самых разных областях: от спектроскопии с высоким временным разрешением, позволяющей исследовать быстропротекающие процессы, до записи волноводов в прозрачных средах и лазерного ускорения частиц. В последние годы в связи с бурным развитием волоконных и гибридных (волоконно-дискретных) систем и технологий появился большой интерес к генераторам высокоэнергетичных импульсов излучения малой длительности на основе этих систем и технологий, обеспечивающих ряд преимуществ по сравнению с традиционными твердотельными системами. К этим преимуществам относятся как высокая эффективность генерации и повышенная стабильность её параметров, так и компактность, простота эксплуатации, помехозащищенность, повышенный ресурс работы. Особый интерес при этом представляют предложенные недавно новые лазерные системы с полностью

положительной дисперсией внутрирезонаторной среды, работающие в режиме синхронизации мод. Выходные импульсы этих систем характеризуются значительной фазовой модуляцией, что позволяет усиливать их до высоких энергий без традиционного временного «растяжения». Вместе с тем остаётся открытым вопрос о возможностях временной компрессии высокоэнергетичных импульсов, генерируемых в таких лазерах, необходимой для целого ряда применений сверхкоротких импульсов. Многообразие режимов генерации и не полностью раскрытые механизмы синхронизации мод в исследуемых лазерных системах не позволяет в настоящее время дать простой ответ на поставленный вопрос. Проводимые исследования направлены, прежде всего, на понимание физики явлений, происходящих в волоконных и гибридных лазерах с пассивной синхронизацией мод, на описание наблюдаемого многообразия режимов их генерации и на выявление оптимальных режимов и параметров генерации с точки зрения практических приложений.

4.3 К настоящему времени получены следующие основные научные результаты: разработана и реализована в программном комплексе численная модель для анализа режимов синхронизации мод излучения в сверхдлинных лазерных резонаторах. Выявлен новый, частично когерентный, режим лазерной генерации. Получено хорошее качественное согласие аналитического рассмотрения, численного моделирования и экспериментов по лазерной генерации в различных режимах. Дано объяснение двухкомпонентной автокорреляционной функции (АКФ) лазерных импульсов и показано, что наличие и высота пика АКФ является наиболее точным и надёжным критерием при идентификации режимов и свойств лазерной генерации в эксперименте. Наряду с этим предложены также и более простые критерии, основанные на анализе стабильности осциллограмм и форме оптического спектра генерации исследуемых лазеров. Исследованы области стабильности лазерной генерации в резонаторах разных длин; установлено, что увеличение длины резонатора способствует повышению энергии генерируемых импульсов, однако приводит также к уменьшению стабильности режимов генерации. Установлен диапазон оптимальных длин резонаторов (10 - 100 м) на основе стандартного телекоммуникационного волокна для высокостабильной генерации импульсов с повышенным уровнем энергии и возможностью временной компрессии со степенью близкой к пределу Фурье.

4.4 Использование кластера для решения задач НИР позволило существенно расширить возможности численного моделирования, что обусловлено высокой вычислительной сложностью решаемой задачи. Проводимые расчёты основаны на решении системы связанных обобщённых нелинейных уравнений Шрёдингера (НУШ), описывающих эволюцию двух компонент поляризации оптического импульса в лазерном резонаторе. Система НУШ интегрируется вдоль кольцевого лазерного резонатора. Интегрирование проводится многократно, от нескольких сотен до нескольких десятков тысяч раз

(до установления режима лазерной генерации) или даже сотен тысяч раз (для проверки стабильности режимов генерации). При этом интегрирование проводится для большого числа различных параметров настройки волоконных контроллеров поляризации, что обуславливает необходимость в большом количестве вычислительных ресурсов. Решение такой задачи на обычных персональных компьютерах крайне проблематично даже для одного набора физических параметров лазерной системы с относительно коротким (~5 м) резонатором. При увеличении длины резонатора вычислительная сложность задачи возрастает нелинейно, что связано с одновременным увеличением длины волокна (области интегрирования НУШ), ростом длительности лазерных импульсов за счёт хроматической дисперсии групповых скоростей и увеличением энергии импульсов. Использование кластера ИВЦ НГУ обеспечило уникальную возможность проведения серии расчётов для лазерных систем с различной длиной резонатора – от 2 м до 1 км, что позволило получить целый ряд новых важных научных и практических результатов.

4.5 Иллюстрации

Fig 1. Зависимость энергии импульсов от длины резонатора для различных режимов генерации;

Fig 2. Автокорреляционная функция нового частично когерентного режима генерации.

Fig 3. Временное распределение интенсивности импульса для нового частично когерентного режима генерации.

5. Публикации по теме работы, награды, гранты

Награды и гранты:

- ✓ **Золотые медали РАН** с премиями для молодых учёных присуждены в 2011 г. С.В. Смирнову и А.В. Иваненко за лучшие научные работы в области разработки приборов, методик, технологий и новой научно-технической продукции научного и прикладного значения за работу «Волоконные лазеры ультракоротких импульсов для научных и высокотехнологичных применений» (2011 г).
- ✓ FP7-People-2010-IRSES. “Carbon nanotubes technologies in pulsed fibre lasers for telecom and sensing applications” («Технологии на основе углеродных нанотрубок в импульсных волоконных лазерах для телекоммуникаций и сенсоров», 2010-2013).
- ✓ ФЦП «Кадры», мероприятие 1.2.2, гос. контракт № П2489 от «20» ноября 2009 г. на проведение НИР по теме: «Исследование фундаментальных физических процессов при генерации мощного суперконтинуума в оптических волокнах» (2009-2011 гг).
- ✓ Совет по грантам Президента Российской Федерации: «Нелинейная спектроскопия и фотоника наноструктур, микроструктурированных волоконных световодов и атомов», грант Президента РФ НШ-2979.2012.2, 2012-2013 гг., (ведущая научная школа РФ чл.-корр. РАН А.М.Шалагина).

- ✓ Совет по грантам Президента Российской Федерации: «Нелинейная спектроскопия и фотоника наноструктур, микроструктурированных волоконных световодов и атомов», грант Президента РФ НШ-4339.2010.2, 2010-2011 г., (ведущая научная школа РФ чл.-корр. РАН А.М.Шалагина).

Защиты диссертаций (с даты предыдущего отчёта 31.08.2010):

1. А.В. Иваненко «Режимы синхронизации мод в сверхдлинных волоконных лазерах с различными конфигурациями резонаторов» (к.ф.-м.н, специальность 01.04.21 «Лазерная физика»). защита состоялась 16.03.2012 в диссертационном совете ИЛФ СО РАН.
2. С.М. Кобцев «Волоконные генераторы управляемого суперконтинуума» (д.ф.-м.н., специальность 01.04.05 «Оптика»). Защита состоялась 09.11.2010 в ИАиЭ СО РАН.

Основные публикации по теме работы за 2012-2010 гг

1. С.В. Смирнов, С.М. Кобцев, С.В. Кукарин, А.В. Иваненко «Ключевые режимы одноимпульсной генерации волоконных лазеров с синхронизацией мод за счёт нелинейной эволюции поляризации излучения» // Российский семинар по волоконным лазерам, Новосибирск, ИАиЭ СО РАН, 28-30 марта 2012 г. (приглашённый доклад).
2. S.V.Smirnov, S.M.Kobtsev, S.V.Kukarin, S.K.Turitsyn «Mode-Locked Fiber Lasers with High-Energy Pulses» // Chapter 9 in book “Laser Pulses / Book 1”, ed. By Dr. K.Jakubczak, 2011. ISBN 978-953-307-429-0 (**монография**).
3. S.M.Kobtsev, S.V.Smirnov. “Fiber lasers mode-locked due to nonlinear polarization evolution: golden mean of cavity length” // Laser Physics. – 2011. – V. 21. – N 2. – P 272–276
4. Патент на изобретение «Устройство для усиления оптического сигнала». Авторы: Кобцев С.М., Смирнов С.В. Евразийский патент N 014088, дата выдачи 30.09.2010.
5. Патент на изобретение «Устройство для усиления оптического сигнала». Авторы: Кобцев С.М., Смирнов С.В. Патент РФ N 2399128. Дата публикации 10.09.2010.

6. Впечатления

Впечатления положительные. Хотелось бы выразить благодарность администраторам вычислительного центра за хорошую работу системы и оперативную помощь в решении возникающих проблем, а также пожелать расширения их возможностей для дальнейшего повышения темпов ремонтных работ в будущем.