

ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертации Жданова Иннокентия
«Исследование генерации сильночирпованных диссипативных солитонов
в области нормальной дисперсии на длинах волн более 1,5 мкм»,
представленной на соискание степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.3.6 «Оптика»

Неугасающий интерес к импульсным волоконным лазерам с синхронизацией мод связан как с обилием возможных режимов генерации, так и с широким спектром применений буквально во всех областях науки и техники. В таких лазерах излучение распространяется внутри оптического волокна, характеризующегося множеством параметров: дисперсией, нелинейностью, профилем показателя преломления. Значения указанных параметров зависят как от самого материала, так и от длины волны излучения, зачастую определяемой используемыми активными элементами. Однако в ряде приложений, таких как, нелинейная многофотонная микроскопия, оптическая когерентная томография, когерентная антистоксова спектроскопия комбинационного рассеяния, предпочтительными являются свои, специфические, длины волн, не перекрывающиеся со спектрами усиления известных активных сред. Тогда в дело вступают методы нелинейной фотоники, такие как параметрическое преобразование частоты и вынужденное комбинационное рассеяние, практическая реализация которых в волокнах имеет свои особенности для каждого спектрального диапазона.

В начале работы И. Жданову была поставлена цель исследовать возможности создания волоконного источника мощных фемтосекундных импульсов с центральной длиной волны более 1,5 мкм, а также его использования для генерации импульсов с большим значением чирпа (линейной частотной модуляции) и центральной длиной волны 1,6-1,7 мкм за счет эффекта вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР). Для достижения поставленной цели необходимо было решить целый ряд задач:

- *Разделить эффекты синхронизации мод и формирования диссипативного солитона для получения импульсов наибольшей энергии в волоконном резонаторе с нормальной суммарной дисперсией в области длин волн 1,5 мкм.* Соискателем был реализован ряд экспериментальных схем волоконных лазеров, преследующих целью сохранить полную нормальную дисперсию резонатора и получить увеличение энергии генерируемого импульса за счёт увеличения длины волокна с сохранением поляризации. Режим синхронизации мод при этом достигался за счёт эффекта нелинейного вращения поляризации в той части резонатора, которая состояла из обычного одномодового волокна. Для всех компонент, составляющих лазер, были измерены или взяты из литературы их основные парамет-

ры, включая дисперсию активных эрбиевых волокон. Это позволило построить адекватные численные модели и исследовать причины потери стабильности при определённых конфигурациях резонатора.

- *Определить оптимальную схему волоконного резонатора и подходящие составляющие его компоненты, при которых будет достигаться наибольшая энергия генерируемых импульсов.* Комплексное исследование различных конфигураций волоконного лазера позволило создать экспериментальную установку, наиболее подходящую для дальнейших исследований. Кроме запланированного подхода по генерации сильночирпованных солитонов впервые была предпринята попытка значительного увеличения энергии солитонов, управляемых дисперсией. Стабилизация одноимпульсного режима потребовала преодоление ряда технических сложностей, что уже выходило за рамки настоящей работы, но создало задел для будущих исследований. Были определены факторы, ограничивающие дальнейший рост энергии в схеме с нормальной дисперсией резонатора. Несмотря на то, что добиться высокой энергии в импульсе для достижения порога ВКР не удалось, другие параметры излучения (частота повторения и возможность её подстройки, величина чирпа, центральная длина волны) полностью удовлетворяли поставленным требованиям и оставляли возможность для использования эффекта ВКР во внешнем волоконном резонаторе.

- *Провести усиление генерируемых импульсов до значений выше порога ВКР.* Задача решалась с использованием техники усиления чирпованных импульсов, реализованной в полностью волоконном варианте. Получено усиление с 0,1 нДж до практически 30 нДж с сохранением относительно большой величины нормального чирпа в выходном сигнале, необходимом для последующей генерации рамановских диссипативных солитонов (РДС). Проведены измерения длительности усиленных импульсов с использованием методики частотно-разрешённого оптического стробирования (FROG).

- *Продемонстрировать генерацию РДС с длиной волны 1,6-1,7 мкм методом синхронной накачки внешнего волоконного резонатора, а также провести характеристику генерируемых импульсов.* Это ключевая задача всей работы. Критическим моментом являлось точное согласование длин резонаторов задающего генератора и внешнего ВКР-преобразователя. Для её реализации И. Жданов сначала принял активное участие в уже ведущихся в лаборатории работах по генерации РДС на 1,3 мкм с использованием фосфоросиликатного волокна. Он исследовал параметры генерируемых импульсов и возможность их усиления за счёт вторичного использования прошедшего усиленного импульса накачки. Это позволило успешно перенести данную методику в область

полтора микрон, и реализовать условия для генерации РДС с центральной длиной волны 1660 нм. Измеренные оптические спектры являются характерными для сильночирпованных диссипативных солитонов, а контраст радиочастотного спектра составлял порядка 70 дБ, что говорит о высокой кратковременной стабильности генерируемого цуга. Дифференциальная эффективность преобразования составила рекордные 85%.

Таким образом, И. Жданов полностью справился с поставленными задачами, выполнив программу исследований на высоком уровне. Очевидным является огромный объем проделанной работы. Помимо научных знаний и навыков работы с современными измерительными приборами, полученных Иннокентием во время работы, стоит отметить и его способность к организации исследований в коллективе. Всё вышеописанное позволяет сделать вывод о соискателе как о сформированном молодом специалисте, способном самостоятельно решать поставленные исследовательские задачи, а также доступно и понятно представлять результаты полученной работы.

И. Жданов обучался в аспирантуре Новосибирского государственного университета с 2017 года. За эти годы он зарекомендовал себя как инициативный, высококвалифицированный сотрудник, способный как к экспериментальным, так и теоретическим изысканиям. Соискатель является автором и соавтором в общей сложности 26-ти индексируемых печатных работ (включая тезисы конференций), 5 из которых опубликованы в рейтинговых рецензируемых зарубежных журналах.

Результаты И. Жданова демонстрируют глубокие знания в области нелинейной оптики, физики лазеров, скрупулёзность при проведении экспериментов и прекрасную теоретическую подготовку. Выполненная диссертация на тему «Исследование генерации сильночирпованных диссипативных солитонов в области нормальной дисперсии на длинах волн более 1,5 мкм» отвечает всем необходимым требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (ред. от 11.09.2021 г.), а ее автор, Иннокентий Жданов, заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 «Оптика».

Старший научный сотрудник ИАиЭ СО РАН

к.ф.-м.н.

подпись к.ф.-м.н. Харенко Д.С. *заверяю*

Учёный секретарь ИАиЭ СО РАН

к.ф.-м.н.




Харенко Д.С.
31.08.22


Донцова Е.И.