



УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИАиЭ СО РАН  
академик РАН

Шалагин Анатолий Михайлович

«17» декабря 2014 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматике и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН)

Диссертация «Стохастические режимы генерации непрерывного волоконного ВКР-лазера» выполнена в лаборатории волоконной оптики ИАиЭ СО РАН. Часть работ выполнена Д.В. Чуркиным в рамках совместных научно-исследовательских проектов в Астонском университете, Великобритания. В период подготовки соискатель Чуркин Дмитрий Владимирович работал в ИАиЭ СО РАН в должности старшего научного сотрудника.

В 2003 году окончил с отличием магистратуру Новосибирского государственного университета по специальности «Магистр физики».

Диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук защитил в 2006 году в совете, созданном при ИАиЭ СО РАН, по специальностям 01.04.05 Оптика, 01.04.21 Лазерная физика.

По результатам рассмотрения диссертации «Нелинейное преобразование спектра генерации перестраиваемых волоконных лазеров» принято следующее заключение:

1. Научные результаты исследований на диссертационную тему: «Стохастические режимы генерации непрерывного волоконного ВКР-лазера» получены автором лично и под его руководством во время его работы лаборатории волоконной оптики ИАиЭ СО РАН, а также в Астонском университете, Великобритания.
2. Результаты, полученные автором, достоверны, работа содержит обоснованную доказательную научную базу. Свыше 20 научных работ, опубликованных по результатам диссертации, опубликованы в ведущих международных и российских рецензируемых журналах.
3. Актуальность темы диссертационной работы обусловлена важностью создания эффективных источников излучения для проточной цитометрии и конфокальной микроскопии, а также для спектроскопии комбинационного рассеяния и классической лазерной спектроскопии. Волоконные лазеры уже продемонстрировали высокие эксплуатационные

характеристики. Основной целью работы стало получение и описание новых режимов генерации непрерывных волоконных ВКР-лазеров, связанных со случайными процессами дефазировки мод в длинных резонаторах и генерации за счёт случайной распределённой обратной связи в отсутствие резонатора фиксированной длины.

Научная новизна заключается в получении новых результатов:

- Экспериментально показано, что внутрирезонаторный спектр генерации непрерывного многомодового волоконного ВКР-лазера в случае большой по сравнению с нелинейностью дисперсии имеет форму гиперболического секанса, а уширение спектра происходит по корневому закону с ростом мощности генерации. Спектр генерации состоит из большого числа продольных мод, амплитуды которых флуктуируют со статистикой, близкой к гауссовой, а фазы случайны. Спектр генерации формируется за счет многочисленных четырехволновых взаимодействий продольных мод между собой, что описывается моделью слабой волновой турбулентности. Совместная динамика большого количества продольных мод приводит к стохастической динамике полной интенсивности излучения.
- Реализован ламинарный режим генерации в излучении многочастотных волоконных непрерывных волоконных ВКР-лазеров, который характеризуется узким спектром, состоящим из большого количества коррелированных мод, и подавленными флуктуациями интенсивности излучения. Обнаружен переход из ламинарного в турбулентный режим генерации в излучении таких лазеров, который совершается пороговым образом по мощности накачки. Обнаружено, что в ламинарном режиме осуществляется генерация темных и серых солитонов, кластеризация которых является причиной переход из ламинарного в турбулентный режим генерации.
- Реализована генерация в волоконных ВКР-лазерах за счет случайной распределённой обратной связи на основе рэлеевского рассеяния. Данный режим генерации характеризуется локализованным спектром излучения, не имеющим определённой модовой структуры, стохастической динамикой интенсивности излучения, пороговым поведением мощности генерации в зависимости от мощности накачки. Предложены, описаны и реализованы основные конфигурации лазеров такого типа.
- Экспериментально показано, что спектр генерации непрерывного волоконного ВКР-лазера со случайной распределённой обратной связью в случае пренебрежимой дисперсии имеет форму гиперболического секанса, схожую с формой спектра генерации волоконного ВКР-лазера с регулярным резонатором на основе точечных отражателей. Экспериментальная форма спектра и закон его



уширения с ростом мощности согласуются с предсказаниями в рамках нелинейной кинетической теории формирования спектра, рассматривающей установление равновесных спектральных и статистических свойств излучения в процессе циклической кинетической эволюции.

- Экспериментально измерено распределение мощности генерации вдоль длины волоконного ВКР-лазера со случайной распределённой обратной связью с прямой накачкой и обнаружена существенная неоднородность данного распределения. А именно, максимум мощности генерации наблюдается в точке, в которой локальное усиление равно локальным потерям, а минимум мощности генерации достигается в центральной точке, в которой вводится излучение накачки в резонатор. Наличие минимума продольного распределения мощности генерации позволяет использовать маломощные (до 100 мВт) спектральные компоненты для достижения новых режимов генерации волоконных ВКР-лазеров со случайной распределённой обратной связью с заданными спектральными характеристиками, а именно продемонстрирована генерация с суженным спектром шириной до 0.02 нм при использовании волоконных фильтров Фабри-Перо и многоволновая генерация в при использовании волоконного фильтра Лио или набора волоконных брэгговских решёток.
- Экспериментально показано, что существует предел длины линейного резонатора волоконного ВКР-лазера, выше которого случайная распределённая обратная связь определяет генерацию излучения со спектром, не имеющим определённой модовой структуры, тогда как при длине меньше данного предела преобладает обратная связь за счёт точечных отражателей, что приводит к наличию модовой структуры в спектре генерации. Величина данного предела равна 270 км при осуществлении генерации в стандартных оптических волокнах в области длин волн около 1.5 мкм.

4. Практическая ценность работы состоит в следующем:

- Предложен и реализован новый тип волоконных лазеров – волоконные ВКР-лазеры со случайной распределенной обратной связью, которые нашли применения в телекоммуникационных линиях передачи данных и волоконно-оптических сенсорных системах.
5. По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 01.04.05 Оптика в части физико-математических наук.
6. Работа характеризуется логичностью построения, обоснованностью основных научных положений и выводов, а также чёткостью изложения.



Основные положения диссертации получили полное отражение в 19 статьях в рецензируемых журналах, определённых Высшей аттестационной комиссией, и 1 главе в коллективной монографии, а также 27 статьях в сборниках трудов научных конференций.

Результаты диссертации представлены на 23 международных и всероссийских конференциях:

Optical Fiber Communication Conference (Los Angeles, USA, 2004); International conference on Laser Optics (St. Petersburg, 2006); Всероссийская конференция по волоконной оптике (Пермь, 2007); Российский семинар по волоконным лазерам (Новосибирск, 2007); International Laser Physics Workshop (Leon, Mexico, 2007); International conference on Laser Optics (St. Petersburg, 2008); Photonics West (San Jose, USA, 2008); European Conference on Lasers and Electro-Optics (Munich, Germany, 2009); International conference on Laser Optics (St. Petersburg, 2010); Advanced Workshop on Anderson Localization, Nonlinearity and Turbulence: a Cross-Fertilization (Trieste, Italy, 2010); European Conference Optical Communication (Torino, Italy, 2010); Photonics West (San Francisco, USA, 2011); European Conference on Lasers and Electro-Optics (Munich, Germany, 2011); Optical Fiber Communication Conference (Los Angeles, USA, 2012); Nonlinear Photonics Topical Meeting (Colorado Springs, USA, 2012); SIAM Conference on Nonlinear Waves and Coherent Structures (Seattle, USA, 2012); Российский семинар по волоконным лазерам (Новосибирск, 2012); European Conference and Exhibition on Optical Communication (Amsterdam, Netherland, 2012); Annual Symposium of the IEEE Photonics Society Benelux Chapter, (Mons, Belgium, 2012); Advanced Workshop on Nonlinear Photonics, Disorder and Wave Turbulence (Trieste, Italy, 2013); SPIE Photonics Europe (Brussels, Belgium, 2014); EuroMech EC565 Colloquium on Subcritical transition to turbulence (Cargese, France, 2014); International Workshop "Rogue waves, dissipative solitons, plasmonics, supercontinuum and special fibers" (Barcelona, Spain, 2014).

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

7. Диссертация Чуркина Д.В. является завершённой научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведённых на высоком научном уровне с применением современных методов исследования. Научные положения и выводы, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Чуркину Д. В.; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учётом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и

практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Стохастические режимы генерации непрерывного волоконного ВКР-лазера» рекомендуется к защите на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 Оптика.

Председатель семинара  
академик РАН

 Шалагин А. М.