

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Чуркина Дмитрия Владимировича “Стохастические режимы генерации непрерывного волоконного ВКР-лазера”, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Непрерывные волоконные ВКР-лазеры активно развиваются в последние годы в связи с тем, что лазеры этого типа обладают уникальными свойствами, востребованными в различных сферах применения – в оптических телекоммуникациях, в научных исследованиях, в технологических процессах, в медицине и в других областях. В числе режимов генерации этих лазеров – стохастические режимы, динамика которых определяется взаимодействием относительно большого количества мод лазера и/или случайной распределённой обратной оптической связью в длинном резонаторе. Избранная диссертантом тема исследования актуальна, так как связана с выявлением новых свойств излучения непрерывных волоконных ВКР-лазеров, важных для решения научных и прикладных задач.

В диссертации представлен уникальный экспериментальный материал по достижению и исследованию новых фундаментальных режимов генерации в волоконных ВКР-лазерах. Глубокий физический анализ полученных результатов позволил автору определить механизмы, ответственные за формирование формы спектра генерации волоконного квазинепрерывного длинного ВКР-лазера, обнаружить ламинарно-турбулентный переход в излучении такого лазера и выявить механизм такого перехода, определить роль случайной распределённой обратной связи за счет рэлеевского рассеяния на формирование безмодового спектра генерации ВКР-лазера.

Диссертационная работа содержит 269 страниц текста, 101 рисунок и 1 таблицу, а также список цитируемой литературы из 399 наименований. Основной текст состоит из списка обозначений и сокращений, введения, пяти глав, заключения с выводами по результатам работы.

**Во введении диссертации** рассматривается состояние проблемы с обзором литературы, области исследования, обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируются цели и задачи работы, приводится краткое содержание диссертации, формулируются защищаемые положения.

**В первой главе** дается описание основных свойств волоконных ВКР-лазеров. Исследуется каскадное поведение выходной мощности в волоконных ВКР-лазерах, в которых осуществляется генерация нескольких стоксовых компонент одновременно, обсуждается эффект последовательного насыщения мощностей. Экспериментально исследуется вопрос о характере и механизме насыщения ВКР-усиления в фосфосиликатном волокне. Уделяется внимание методам экспериментального измерения стохастической временной динамики интенсивности излучения непрерывных волоконных лазеров. Обсуждается экспериментальная методика измерения пространственно-временной динамики интенсивности излучения.

**Вторая глава** посвящена описанию спектра излучения волоконного ВКР-лазера, генерирующего в турбулентном режиме. В ней приводится экспериментальное доказательство существования продольных мод в спектре волоконного ВКР-лазера, а также показано наличие флуктуаций амплитуды и фазы данных мод и определен характер статистики выявленных флуктуаций. Экспериментально исследована форма спектра генерации волоконного ВКР-лазера в турбулентном режиме в случае большой дисперсии по сравнению с нелинейностью и показано, что спектр имеет форму гиперболического секанса и определяется процессами четырехволнового взаимодействиями продольных мод. Проведено сравнение с теоретическими предсказаниями, развитыми в рамках модели слабой волновой турбулентности. Выявлен корневой закон уширения спектра с ростом мощности излучения.

**Третья глава** посвящена экспериментальной реализации ламинарного режима генерации в волоконном ВКР-лазере. Предложен и реализован данный режим стохастической



генерации. Экспериментально показано, что с ростом мощности излучения происходит ламинарно-турбулентный переход в стохастическом излучении волоконных ВКР-лазеров. Проведённые экспериментальные измерения пространственно-временной динамики излучения в ламинарном и турбулентном режимах позволили выявить наличие когерентных структур в стохастическом излучении и прояснить их роль в разрушении ламинарного режима.

**В четвертой главе** описывается принцип достижения нового режима стохастической генерации в волоконных ВКР-лазерах – за счет случайно распределенной обратной связи на основе рэлеевского рассеяния, и экспериментально демонстрируется генерация на основе указанного принципа. Изучены и описаны основные свойства излучения лазеров данного нового типа, в том числе показано наличие существенной неоднородности продольного распределения мощности генерации вдоль длины случайного волоконного лазера. Экспериментально доказано существование предела длины линейного резонатора волоконного ВКР-лазера, выше которого генерация осуществляется со спектром, не имеющим определенной модовой структуры. При длине резонатора меньше данного предела осуществляется генерация в спектре которой присутствуют различные продольные моды. При превышении данного предела генерация осуществляется со спектром, не имеющим определенной модовой структуры.

**В пятой главе** описывается спектр генерации волоконного ВКР-лазера со случайной распределенной обратной связью. Описываются подходы по достижению режимов генерации в указанных лазерах с заданными спектральными свойствами и экспериментально демонстрируются узкополосный и многоволновый режим генерации. Экспериментально определена форма спектра генерации волоконного ВКР-лазера со случайной распределенной обратной связью в случае малой (по сравнению с усилением) нелинейности и малой дисперсии и показано, что спектр имеет форму гиперболического секанса. Данная форма соответствует форме спектра, рассчитанной в рамках концепции волновой кинетики активных циклических систем.

**В заключении** приводятся основные результаты диссертации.

В представленной Д.В. Чуркиным диссертации получены следующие **основные научные результаты**:

1. 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. Показано, что спектр генерации формируется за счет четырехволнового взаимодействия большого числа флуктуирующих продольных мод между собой, что описывается моделью слабой волновой турбулентности. Совместная динамика большого количества продольных мод приводит к стохастической динамике полной интенсивности излучения.
2. Экспериментально реализован ламинарный режим генерации в непрерывных волоконных ВКР-лазерах, который характеризуется узким спектром, состоящим из большого количества коррелированных мод, и подавленными флуктуациями интенсивности излучения. Экспериментально обнаружен переход из ламинарного в турбулентный режим генерации и выявлен механизм ламинарно-турбулентного перехода.
3. Экспериментально реализована генерация в волоконных ВКР-лазерах за счет случайной распределённой обратной связи и описаны их основные свойства (локализованный спектр излучения, не имеющий определённой модовой структуры, стохастический характер динамики интенсивности излучения, пороговое поведение мощности генерации). Реализованы и описаны основные конфигурации лазеров данного нового типа.



4. Экспериментально показано, что в случае малой дисперсии спектр генерации непрерывного волоконного ВКР-лазера со случайной распределённой обратной связью имеет форму гиперболического секанса, а также определен закон уширения спектра. Спектральные свойства согласуются с описанием в рамках концепции волновой кинетики активных циклических систем.
5. Экспериментально показано, что продольное распределение мощности генерации вдоль длины волоконного ВКР-лазера со случайной распределённой обратной связью является существенно неоднородным, что позволяет использовать маломощные спектральные компоненты для достижения новых режимов генерации волоконных ВКР-лазеров со случайной распределённой обратной связью. Продемонстрирована генерация с суженным спектром шириной до 0.02 нм и многоволновая генерация.
6. Экспериментально определено существование и значение предела 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.

Следует отметить высокий уровень экспериментальной работы, необходимый для достижения представленных в диссертации результатов. Достоверность и новизна полученных результатов не вызывает сомнений. Основные результаты диссертации опубликованы в 19 статьях в ведущих рецензируемых журналах, 1 главе в коллективной монографии, доложены на 23-х международных и российских конференциях. Все указанные в диссертации результаты получены автором лично, либо под его научным руководством.

Диссертация Д.В.Чуркина является масштабным завершённым научным исследованием, содержащим научно обоснованные положения и выводы и выполненным на мировом уровне. Полученные результаты открывают новые перспективы для применения непрерывных волоконных ВКР-лазеров.

В то же время можно отметить несколько заметных недостатков работы:

1. Диссертационная работа не содержит ссылок на диссертационные работы по данной теме, защищённые ранее:

- И.А.Буфетов. Непрерывные рамановские волоконные лазеры и усилители. Диссертация в форме научного доклада на соискание степени д.ф.-м.н. по специальности 01.04.21 – Лазерная физика, Москва, 2002;

- А.С.Курков. Волоконные источники излучения в диапазоне 1-2 мкм. Диссертация на соискание степени д.ф.-м.н. по специальности 01.04.21 – Лазерная физика, Москва, 2003;

2. Диссертационная работа не содержит ссылок на патенты по данной теме, хотя некоторые из исследованных в диссертационной работе схем лазеров заявлены в российских или зарубежных патентах, описание которых включает в том числе и результаты исследований этих лазеров, см., например: патент РФ №2158458, Буфетов И.А., Дианов Е.М., Курков А.С., Рамановский волоконный лазер (2000); патент РФ №2152676, Дианов Е.М., Буфетов И.А., Греков М.В., Карпов В.И., Прохоров А.М., Рамановский волоконный лазер (варианты) (2000); патент США №6163554, D.I.Chang, H.Y.Kim, E.H.Lee, Optical fiber raman laser (2000); патент США №7936795, E.Yoshihiro, Cascade Raman laser (2011); и другие.

3. Широкий спектр излучения, состоящий из большого количества продольных мод, имеют не только длинные волоконные лазеры, но и, например, лазеры со спектрально-широкой полосой усиления без частотной селекции спектра излучения лазера (перестраиваемые твердотельные и жидкостные лазеры без использования спектрально-селектирующих элементов). Ранее

исследовались проблемы нестабильности генерации этих лазеров в режимах, когда число продольных мод излучения этих лазеров относительно велико и может достигать нескольких сотен или тысяч, см., например: I.McMackin, C.Radzewicz, M.Beck, M.G.Raymer. Instabilities and chaos in a multimode, standing-wave, cw dye laser. Phys. Rev. A 38, 820 (1988); J.Sierks, T.J.Latz, V.M.Baev, P.E.Toschek. Dynamics of a cw multimode dye laser. Phys. Rev. A 57, 2186 (1998); и другие. В диссертационной работе отсутствует рассмотрение этого круга работ, хотя такое рассмотрение было бы полезно, на мой взгляд, для выяснения особенностей стохастического, турбулентного режима генерации именно длинных волоконных лазеров.

Однако данные замечания не умаляют значимости полученных результатов, и не снижает общую высокую оценку работы. Результаты, изложенные в диссертации, имеют важное научное и практическое значение. Полученные результаты опубликованы в ведущих журналах и докладывались на многочисленных международных и российских конференциях. Автореферат и публикации по теме диссертации отражают ее содержание.

Диссертационная работа Чуркина Дмитрия Владимировича "Стохастические режимы генерации непрерывного волоконного ВКР-лазера", представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, отвечает всем требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней", предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям, а её автор Д.В.Чуркин заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 - Оптика.

Доктор физико-математических наук, доцент,  
заведующий отделом лазерной физики и инновационных  
технологий научно-исследовательской части,  
Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет,  
ул. Пирогова 2, Новосибирск, 630090

С.М. Кобцев

19 марта 2015 г.

**ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ**  
Ученый секретарь НГУ

