



УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИАиЭ СО РАН,
чл.-корр. РАН
Бабин Сергей Алексеевич

« 16 » _____ 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Изучение статистических свойств излучения многочастотных квази-непрерывных волоконных лазеров» выполнена в лаборатории №17 ИАиЭ СО РАН.

В период подготовки диссертации соискатель Горбунов Олег Александрович работал в ИАиЭ СО РАН в должностях инженера-программиста и младшего научного сотрудника.

В 2010 году окончил магистратуру Физического факультета Новосибирского государственного университета по направлению «Физика».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2020 году ИАиЭ СО РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Чуркин Дмитрий Владимирович, проректор по научно-исследовательской деятельности НГУ, заведующий лабораторией волоконных лазеров Физического факультета НГУ.

Диссертация «Изучение статистических свойств излучения многочастотных квази-непрерывных волоконных лазеров» была рассмотрена на межлабораторном семинаре учебно-научного центра «Квантовая оптика» ИАиЭ СО РАН 19 ноября 2020 года.

На семинаре присутствовали:

Шалагин Анатолий Михайлович, акад. РАН, ИАиЭ СО РАН
Каблуков Сергей Иванович, д. ф.-м. н., ИАиЭ СО РАН
Корольков Виктор Павлович, д. ф.-м. н., ИАиЭ СО РАН
Фрумин Леонид Лазаревич, д. ф.-м. н., ИАиЭ СО РАН
Шапиро Давид Абрамович, д. ф.-м. н., ИАиЭ СО РАН
Подивилов Евгений Вадимович, д. ф.-м. н., ИАиЭ СО РАН
Чуркин Дмитрий Владимирович, д. ф.-м. н., НГУ
Лобач Иван Александрович, к. ф.-м. н., ИАиЭ СО РАН
Перминов Сергей Вадимович, к. ф.-м. н., ИФП СО РАН
Беднякова Анастасия Евгеньевна, к. ф.-м. н., НГУ
Ватник Илья Дмитриевич, к. ф.-м. н., НГУ
Симонов Виктор Александрович, к. ф.-м. н., ИАиЭ СО РАН
Кудашкин Дмитрий Вячеславович, НГУ
Воликова Анастасия Михайловна, ИАиЭ СО РАН
Береза Алексей Сергеевич, ИАиЭ СО РАН

По результатам рассмотрения диссертации принято следующее заключение:

Актуальность

Статистические свойства излучения многочастотных квази-непрерывных волоконных лазеров представляют интерес в нескольких аспектах. Во-первых, данный вопрос можно рассматривать в рамках статистической оптики, изучая волоконные лазеры как один из типов твердотельных лазеров. Во-вторых, в рамках нелинейной оптики можно рассматривать особенности статистических свойств лазерного излучения как результат нелинейных взаимодействий, происходящих в волокне, и использовать их исследование как косвенную методику изучения нелинейных процессов. В-третьих, сами по себе статистические свойства того или иного типа волоконных лазеров могут представлять интерес в рамках конкретных задач, например, статистика интенсивности входит в волновую кинетическую модель, описывающую формирование турбулентного спектра в системах со многими степенями свободы, как начальный параметр. При этом, несмотря на широкую распространенность волоконных лазеров и большой исследовательский интерес, статистические свойства излучения оставались экспериментально не изученными. Исследование в этом направлении позволило бы дать ответы на упомянутые вопросы.

Основная цель диссертационной работы Горбунова Олега Александровича сформулирована как исследование статистических свойств излучения многочастотных квази-непрерывных волоконных лазеров. Для достижения цели были поставлены следующий задачи:

1. Разработка методов анализа данных, полученных при измерениях лазерного излучения в условиях ограниченной полосы измерительного оборудования, меньшей по сравнению со спектром изучаемого излучения.
2. Экспериментальное изучение статистических свойств излучения многочастотных квази-непрерывных волоконных лазеров различных типов. Анализ статистических свойств излучения с помощью разработанных методик.
3. Локализация оптических экстремальных событий, возникающих в излучении многочастотных квази-непрерывных волоконных лазеров, и изучение их свойств.

Личное участие соискателя

В ходе выполнения работ Горбунов О. А. самостоятельно планировал и проводил все эксперименты и производил обработку результатов, принимал активное участие в их обсуждении, формулировке выводов и подготовке статей. При выполнении диссертационной работы Горбунов О. А. проявил себя квалифицированным научным сотрудником, способным самостоятельно решать задачи и проводить исследования на высоком научном уровне.

Научная новизна

В диссертации получены следующие новые научные результаты:

1. Изучено влияние приборных эффектов и разработаны методики изучения статистических свойств излучения при измерениях в условиях ограниченной полосы пропускания измерительного оборудования, меньшей по сравнению с шириной оптического спектра изучаемого сигнала. Предложен метод спектральной фильтрации

– изучения статистических свойств излучения по частям спектра, при котором исследуются отдельно взятые узкие спектральные области. Разработана методика, позволяющая выяснить вопрос о наличии корреляций в излучении при превышении оптической ширины спектра полосы пропускания, заключающаяся в установлении характера изменения функции распределения вероятности и автокорреляционной функции модельного стохастического излучения при измерениях с ограниченной полосой и последующем сравнении экспериментальных данных с полученной универсальной зависимостью.

2. Экспериментально изучены статистические свойства излучения квази-непрерывного волоконного иттербиевого лазера с коротким резонатором длиной 4 м и узким спектром шириной около 2 ГГц. Показано, что функция распределения вероятности интенсивности имеют неэкспоненциальную форму, затухая быстрее экспоненциального закона, что говорит о наличии межмодовых корреляций в излучении лазера и подавлении волн большой интенсивности по сравнению со стохастическим излучением. Вид автокорреляционной функции интенсивности свидетельствует о наличии антикорреляций в излучении. В излучении присутствуют устойчивые оптические структуры, затухающие на расстояниях 100-200 м, что соответствует величине нелинейной длины волокна.
3. Экспериментально и с применением численного моделирования изучены статистические свойства излучения квази-непрерывного волоконного ВКР-лазера с широким спектром шириной около 1 нм. Показано, что функция распределения вероятности интенсивности затухает быстрее соответствующей функции стохастического излучения при том же соотношении полосы к ширине спектра, что говорит о наличии межмодовых корреляций в излучении. Показано, что статистические свойства излучения различны для центра и края спектра. В центре спектра отличие функции распределения вероятности интенсивности от экспоненциального закона мало (эксперимент) или отсутствует (численный расчет), что является признаком стохастического излучения. На краю спектра генерации функция распределения вероятности затухает медленнее экспоненциального закона, таким образом, излучение содержит спектральные корреляции. С удалением от центра спектра наклон крыла функции распределения увеличивается.
4. Экспериментально изучены статистические свойства излучения квази-непрерывного волоконного лазера со случайной распределенной обратной связью в схеме с прямой односторонней накачкой в трех конфигурациях. Для конфигураций с плотной узкой волоконной Брэгговской решеткой или со спектральным фильтром Лио установлено, что характер функции распределения вероятности интенсивности отличен от случая стохастического модельного излучения при аналогичном соотношении полосы и ширины спектра, что свидетельствует о наличии корреляций в излучении. Для конфигурации с плотной волоконной Брэгговской решеткой показано, что при малых мощностях накачки функция распределения вероятности затухает медленнее функции стохастического излучения, а при больших – быстрее. Для конфигурации с фильтром Лио показано, что статистические свойства излучения различаются для отдельных линий, формирующих многоволновой спектр.
5. Установлено наличие редких событий на краю спектра генерации волоконных ВКР-

лазера и лазера со случайной распределенной обратной связью в схеме с прямой односторонней накачкой в конфигурации с кольцевым зеркалом. При отстройке 1 нм от центра спектра в излучении наблюдались оптические экстремальные события. Интенсивность волн достигала 150 средних значений при численном моделировании и 60 – в эксперименте. Для лазера со случайной распределенной обратной связью исследован закон распределения временных интервалов между интенсивными волнами и показано, что и в центре, и на краю спектра генерации при стабильной генерации он является экспоненциальным. Установлено, что процесс возникновения оптических экстремальных событий является пуассоновским с характерными временами до 10 мкс.

Степень достоверности результатов

Все полученные результаты не противоречат известным научным положениям, экспериментам и теоретическим результатам других работ. Все экспериментальные результаты получены с применением современных методов исследования, а измерения проведены с помощью точных калиброванных приборов. Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, обоснованы полученными в работе экспериментальными и расчётными результатами.

Практическая значимость

Практическая ценность обусловлена возможностью применения полученных результатов как первичных данных для аналитических и численных моделей, в которых требуется знание статистических свойств излучения волоконных лазеров.

Соответствие специальности

Диссертационная работа соответствует специальности 01.04.05 «Оптика», так как тематика и методы исследования соответствуют паспорту специальности в части физико-математических наук.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Результаты диссертационной работы достаточно подробно и в полном объёме отражены в шести опубликованных печатных работах в зарубежных рецензируемых научных журналах:

1. Churkin D.V., Gorbunov O.A., and Smirnov S.V. Extreme value statistics in Raman fiber lasers // *Opt. Lett.* – 2011. – Vol. 36, no. 18. – pp. 3617-3619.
2. Bednyakova A.E., Gorbunov O.A., Politko M.O., Kablukov S.I., Smirnov S.V., Churkin D.V., Fedoruk M.P, and Babin S.A. Generation dynamics of the narrowband Yb-doped fiber laser // *Opt. Express.* – 2013. – Vol. 21, no. 7. – pp. 8177-8182.
3. Gorbunov O.A., Sugavanam S., and Churkin D.V. Revealing statistical properties of quasi-CW fibre lasers in bandwidth-limited measurements // *Opt. Express.* – 2014. – Vol. 22, no. 23. – pp. 28071-28076.
4. Gorbunov O.A., Sugavanam S., and Churkin D.V. Intensity dynamics and statistical properties of random distributed feedback fiber laser // *Opt. Lett.* – 2015. – Vol.40, no. 8.

– pp. 1783-1786.

5. Gorbunov O.A., Sugavanam S., Vatnik I.D., and Churkin D.V. Statistical properties of radiation of multiwavelength random DFB fiber laser // Opt. Express. – 2016. – Vol. 24, no. 17. – pp. 19417-19423.
6. Gorbunov O.A., Sugavanam S., Vatnik I.D., and Churkin D.V. Poisson distribution of extreme events in radiation of random distributed feedback fiber laser // Opt. Lett. – 2020. – Vol. 45, no. 8. – pp. 2375-2378.

Также результаты работ по теме диссертации были доложены на следующих всероссийских и международных конференциях и семинарах

1. Чуркин Д.В., Горбунов О.А., и Смирнов С.В. Статистика редких событий в выходном излучении волоконного ВКР-лазера // Спецвыпуск Фотон-Экспресс. – Материалы конференции ВКВО-2011. – 2011. – Т.6 (94) – с. 97-98.
2. Чуркин Д.В., Горбунов О.А., и Смирнов С.В. Численное изучение статистических свойств излучения волоконного ВКР-лазера. // – Материалы конференции "Российский семинар по волоконным лазерам". – 2012. – с. 176-177.
3. Gorbunov O.A., Kablukov S.I., Politko M.O. et. al. Experimental investigation of statistical properties of Ytterbium doped fiber laser // in 5th International Conference on Laser Optics 2012. – 2012. – no. TuR8-13. – 3 p.
4. Чуркин Д.В., Горбунов О.А., Бабин С.А. и др. Экспериментальное изучение временных характеристик волоконного ВКР-лазера // Фотон-Экспресс. – Материалы конференции ВКВО-2013. – 2013. – Т.6 (110). – с. 213-214.
5. Gorbunov O.A., Sugavanam S., and Churkin D.V. Influence of the generated power, measurement bandwidth, and noise level on intensity statistics of a quasi-CW Raman fiber laser // Proc. SPIE. – 2014. – Vol. 9136, no. 913613. – pp. 1-8.
6. Горбунов О.А., Сугаванам Ш. и Чуркин Д.В. Экспериментальное изучение редких событий в излучении волоконного лазера со случайной распределенной обратной связью // Фотон-Экспресс. – Материалы конференции ВКВО-2015. – 2015. – Т.6 (126) – с. 63-64.

Диссертация «Изучение статистических свойств излучения многочастотных квази-непрерывных волоконных лазеров» Горбунова Олега Александровича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 «Оптика».

Председатель семинара
академик РАН



Шалагин А.М.