

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи



СУСЬЯН Александр Александрович

ОПТИЧЕСКИЕ СИГНАЛ-ГЕНЕРАТОРЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В
РЕФЛЕКТОМЕТРИИ

Специальность 01.04.05 – Оптика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2011

Работа выполнена на *кафедре оптики и спектроскопии физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова*

Научный руководитель: Доктор физико-математических наук
Наний Олег Евгеньевич

Официальные оппоненты: Доктор физико-математических наук
Курков Андрей Семёнович (Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН)

Кандидат физико-математических наук
Сидоров-Бирюков Дмитрий Александрович
(Международный лазерный центр МГУ)

Ведущая организация: Институт радиотехники и электроники им.
В.А. Котельникова РАН

Защита состоится 14 декабря 2011 года в 15 час. 00 мин. на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д.501.001.45 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, дом 1, стр.5 (19 корпус НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова), ауд. 2-15.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова.

Автореферат разослан 10 ноября 2011 г.

Учёный секретарь совета по защите
докторских и кандидатских диссертаций
Д.501.001.45 при МГУ имени М.В. Ломоносова
кандидат физико-математических наук

Вохник О.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Развитие оптики, оптоэлектроники и фотоники достигло такого уровня, когда для многих приложений требуются источники оптического излучения, мощность которого изменяется по заданному закону – оптические сигнал-генераторы.

Необходимость в таких источниках существует во многих областях. В промышленности – для резки, сварки, сверления, маркировки и других применений. В медицине – для хирургических и косметологических операций, различных видов терапии. В диагностике – для бесконтактных и распределенных измерения параметров различных сред и веществ. В телекоммуникациях – для реализации новых форматов модуляции. Очень многочисленны применения оптических сигнал-генераторов в научных исследованиях, фотохимии и биотехнологиях.

Наиболее простой способ амплитудной модуляции – прямая модуляция выходного излучения путём модуляции мощности накачки. Быстродействие этого способа ограничено временем жизни возбуждённого состояния, которое в волоконных лазерах достигает единиц миллисекунд. Применение решения, основанного на использовании маломощного управляющего полупроводникового лазера, генерирующего импульсы нужной формы, с последующим усилением внешними волоконными усилителями ограничено сверху частотами более сотни кГц. При низкочастотной модуляции передаточные характеристики обладают очень сильной нелинейностью, связанной с эффектом насыщения из-за модуляции величины инверсной населённости усилителей. В телекоммуникационных усилителях, в частности, наблюдается переходной процесс, для борьбы с которым необходимо использовать специальные системы стабилизации. Также, в диапазоне частот

1 кГц < f_M < 100 кГц затруднена модуляция выходного излучения путём модуляции потерь лазера из-за возникновения переходных релаксационных процессов.

Таким образом, существует реальная потребность в разработке сигнал-генераторов на основе волоконных лазеров, использующих новые принципы управления выходным излучением.

Распределенные фазочувствительные волоконно-оптические датчики внешних воздействий (когерентные рефлектометры) – важная область применения оптических сигнал-генераторов. В связи с быстрым ростом областей применения когерентных рефлектометров исключительно актуальна задача улучшения характеристик таких датчиков: достижение максимальной чувствительности, увеличение дальности действия и разрешающей способности. Для решения этой задачи необходимо исследовать взаимосвязь характеристик когерентного рефлектометра с формой и мощностью тестирующих импульсов, а также с параметрами чувствительного волоконно-оптического тракта и приёмной аппаратуры.

Цель диссертационной работы

Определить физическую возможность создания оптических сигнал-генераторов на основе двухканальных волоконных лазеров, исследовать выходные характеристики таких устройств, а также исследование влияния характеристик оптического передатчика и оптического волокна на разрешающую способность и дальность действия когерентного оптического рефлектометра.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1. Разработанные оптические сигнал-генераторы на основе волоконных лазеров имеют широкие области применения в медицине, промышленности и диагностики.

2. Результаты исследований могут быть использованы для увеличения дальности работы, чувствительности и разрешающей способности когерентного рефлектометра.

Научная новизна

1. Впервые доказана возможность создания оптического сигнал-генератора на основе метода управления мощностью выходного излучения иттербиевого волоконного лазера за счёт модуляции потерь в конкурирующем канале генерации.
2. Установлено, что физический механизм переключения спектра иттербиевого волоконного лазера – конкуренция в активной среде и в области поглощения. Определены условия существования режимов генерации иттербиевого волоконного лазера, в которых происходят переключения спектра его излучения.
3. Установлено, что дальность работы когерентного рефлектометра в линейном режиме ограничена быстрым уменьшением значения отношения сигнал/шум из-за экспоненциального уменьшения уровня полезного сигнала, а увеличению дальности путём увеличения мощности вводимого излучения препятствует эффект фазовой самомодуляции.
4. Предложен новый метод увеличения дальности работы когерентного рефлектометра, основанный на использовании нескольких отрезков волокон с различными уровнями оптических потерь, и несколько вариантов его реализации.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Предложен и реализован новый способ оптического управления выходной мощностью линейно поляризованного излучения иттербиевого волоконного лазера с двойной оболочкой, при котором

модуляция рабочего канала осуществляется без внесения в него каких-либо управляющих элементов.

2. Установлено, что спектральная динамика иттербиевого волоконного лазера определяется взаимодействием нескольких групп обобщённых спектральных мод в усиливающей и поглощающей областях оптического волокна.
3. Чувствительность и дальность работы когерентного оптического рефлектометра ограничивается расширением спектра тестирующего сигнала под действием фазовой самомодуляции (ФСМ) при увеличении мощности импульсов. Увеличение дальности работы возможно при использовании волокон с изменяющимся коэффициентом рэлеевского рассеяния.

Достоверность результатов обеспечена тщательностью проведения экспериментов с использованием современного экспериментального оборудования, применением компьютерной обработки результатов измерений, совпадением результатов численного моделирования с экспериментальными данными и корректным выбором физической и математической модели, используемой в численном эксперименте.

Личный вклад диссертанта состоит в проведении экспериментальных исследований, разработке теоретических моделей, объясняющих данные экспериментов, в проведении компьютерного моделирования, интерпретации и анализе полученных результатов.

Публикации

По материалам, вошедшим в диссертационную работу, было опубликовано: 7 статей в российских и иностранных рецензируемых журналах [1-7], из них 4 статьи в журналах из списка, рекомендованного ВАК

[2-5], 8 работ представлены в форме научных докладов на Всероссийских конференциях и опубликованы в тезисах докладов и трудах этих конференций [8-15].

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Международной научной конференции «Ломоносовские чтения – 2007» (Москва, Россия, 2007), Международной научной конференции «Ломоносов – 2007» (Москва, Россия, 2007), «Всероссийской конференции по волоконной оптике» (Пермь, Россия, 2007)., «2ом российском семинаре по волоконным лазерам» (Саратов, Россия, 2008), «Всероссийской конференции по волоконной оптике» (Пермь, Россия, 2009), «Четвёртой отраслевой научной конференции-форуме – Технологии информационного общества» (Москва, Россия, 2010).

Структура и объём работы

Диссертационная работа изложена на 148 страницах печатного текста и включает 72 рисунка. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка цитируемой литературы, состоящего из 104 наименований, и 3 глав приложений.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе представлен обзор опубликованной литературы по теме диссертации. Обобщены и систематизированы литературные данные о

применениях источников лазерного излучения с управляемой по заданному закону выходной мощностью. Рассмотрены актуальные приложения мощных лазеров. Обоснована перспективность использования оптических сигнал-генераторов в телекоммуникациях, для задач диагностики ВОЛС, обработки сигналов. Описаны созданные на сегодняшний день генераторы оптических импульсов различных форм. Рассмотрены актуальные задачи когерентной рефлектометрии. Обсуждена перспективность использования когерентного рефлектометра для создания распределённого оптоволоконного датчика акустических и вибровоздействий.

Во второй главе описаны эксперименты, направленные на обоснование исследуемого способа оптического управления выходной мощностью линейно поляризованного излучения иттербиевого волоконного лазера с двойной оболочкой. Способ основан на возможности модуляции в активном элементе коэффициента усиления излучения рабочего канала излучением конкурирующего управляющего канала. Преимущество предложенного метода состоит в том, что модуляция рабочего канала осуществляется без внесения в него каких-либо управляющих элементов. На рис.1 приведена принципиальная схема лазера.

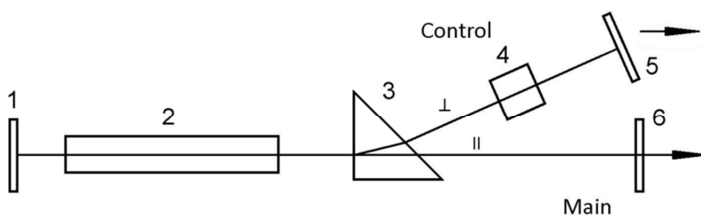


Рис.1. Принципиальная схема лазера: зеркало 1, активный элемент 2, полупрозрачные зеркала 5 и 6, поляризационная призма 3, модулятор 4.

В главе приведены также математические модели двухканального лазера, дающие хорошее совпадение с экспериментом. Результаты опубликованы в работах [1,2].

Исследуемый способ оптического управления выходной мощностью лазеров относится к внутрирезонаторным методам и основан на возможности модуляции в активном элементе коэффициента усиления излучения рабочего канала излучением конкурирующего управляющего канала.

Для описания работы двухканального лазера в первом приближении используется система балансных уравнений четырёхуровневого лазера и схема лазера, приведенная на рис.1. Получены решения для выходной мощности P_i^{out} каждого из каналов. Найдены оптимальные значения коэффициентов отражения выходных зеркал, обеспечивающие максимальную выходную мощность и глубину модуляции выходной мощности рабочего канала.

В реальных условиях обеспечить оптимальные значения всех параметров не удастся, в частности из-за наличия паразитных внутрирезонаторных отражений и потерь во внешней части управляющего канала. Увеличение паразитных потерь во внешней части резонатора приводит к снижению эффективности модуляции и максимальной мощности рабочего канала (см. рис.2).

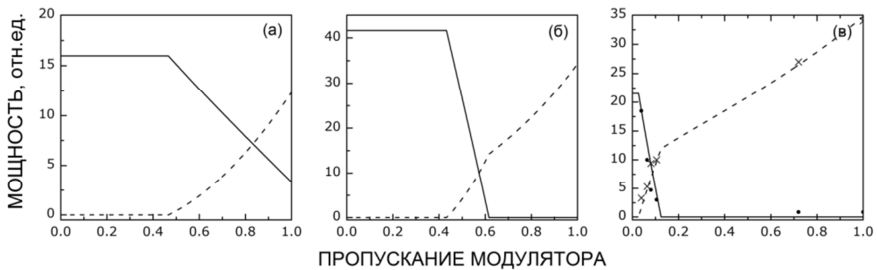


Рис.2. Зависимости мощностей основного (сплошные линии) и управляющего (пунктир) каналов генерации от пропускания модулятора при неоптимальных зеркалах: (а) R_2 меньше оптимального, (б) R_2 больше оптимального, (в) R_2 больше оптимального значений. $R_3 \approx 0$.

Двухканальная модель даёт наглядное качественное описание идеи метода и позволяет быстро получать аналитические решения. Для некоторых

типов лазеров, в которых большое количество мод выступают как небольшое число коллективных мод, эта модель будет достаточно точной.

В общем случае для описания работы двухканальных волоконных лазеров необходимо учитывать многомодовый характер генерации в каждом канале. Теоретический анализ получаемой системы уравнений быстро усложняется по мере увеличения числа взаимодействующих мод. В диссертационной работе численно исследован случай трехмодовой генерации. Показано, что одновременно с модуляцией мощности излучения трехмодового канала наблюдается изменение его спектра. В частности показано, что конкуренция мод при определённых условиях приводит к частичному или полному подавлению генерации центральной моды.

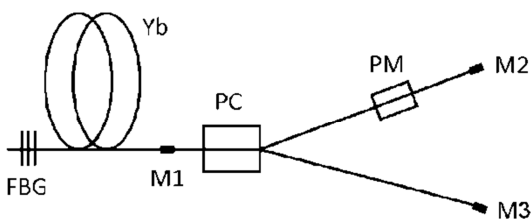


Рис.3. Схема экспериментального макета. Резонатор управляющего канала образован брэгговской решеткой и зеркалами M1 и M2.

Схема экспериментальной установки для исследования эффективности предложенного метода модуляции приведена на рис.3.

Целью этого эксперимента было получение оптических импульсов различных форм милли- и микросекундной длительности. Были получены прямоугольная и пилообразная формы сигналов. На рис.4 приведены полученные зависимости в случае генерации миллисекундных импульсов.

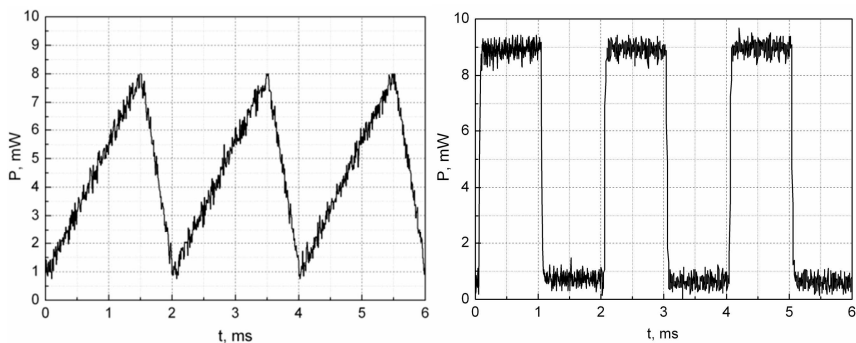


Рис.4. Осциллограммы оптических импульсов пилообразной и прямоугольной форм.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований поляризационной динамики иттербиевого волоконного лазера и построена полуфеноменологическая теоретическая модель для её описания. Обнаружено изменение структуры спектра генерации в масштабе частот много большем межмодового расстояния при изменении мощности накачки. Исследовано явление переключения спектральных супермод иттербиевого волоконного лазера и дано его качественное и количественное объяснение в рамках развитой теории.

На рис.5 приведена схема установки, использованной в эксперименте по обнаружению спектральных особенностей иттербиевого волоконного лазера.

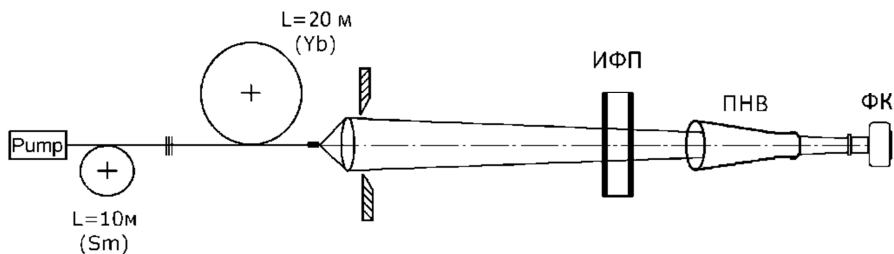


Рис.5. Схема экспериментальной установки: ИФП – интерферометр Фабри-Перо, ПНВ – прибор ночного видения, ФК – фотокамера.

Экспериментально установлено, что огибающая спектра излучения иттербиевого волоконного лазера, имеющая при малом превышении накачки над порогом форму монотонно убывающей кривой с одним максимумом, приобретает при увеличении накачки форму кривой с двумя максимумами. При дальнейшем увеличении накачки спектр приобретает форму кривой с тремя и далее с большим числом максимумов.

Другая особенность спектральной динамики иттербиевого волоконного лазера – самопроизвольные переключения спектра. Обнаружено, что такие переключения наблюдаются в ограниченной области превышений накачки над порогом (дать диапазон), а частота переключений лежит в диапазоне от десятых до 25 Герц.

Для теоретического описания экспериментально обнаруженного самопроизвольного переключения спектра генерации иттербиевого волоконного лазера предложена обобщенная феноменологическая модель многомодового лазера, учитывающая кросс-конкуренцию не только в усиливающей, но и в поглощающей частях резонатора.

В предложенной феноменологической модели, обнаруженные экспериментально спектральные структуры, состоящие из большого количества продольных мод, рассматриваются как группы коллективных мод или «супермод». Спектральная динамика лазера определяется взаимодействием таких коллективных мод. Таким образом, удаётся сократить количество рассматриваемых мод от нескольких тысяч до единиц, что существенно упрощает анализ.

Скоростные уравнения, составляющие феноменологическую модель с учётом конкуренции в поглощающей области, могут быть записаны следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{dn_i}{d\tau} = \alpha_i - n_i \left(1 + \sum_{j=1}^N \zeta_{ij} m_j \right), \\ \frac{ds_i}{d\tau} = \delta \beta_i - s_i \left(\delta + \sum_{j=1}^N \rho_{ij} m_j \right), \\ \frac{dm_i}{d\tau} = g_i m_i (n_i - s_i - 1). \end{cases}$$

Анализ полученной системы позволяет определить условия различных типов стационарной генерации, а также области существования самопроизвольных переключений. На рис.6 приведена фазовая α - β -диаграмма, отображающая границы стационарных решений этой системы уравнений для определённых значений коэффициентов кросс-насыщения ζ_{ij} и ρ_{ij} .

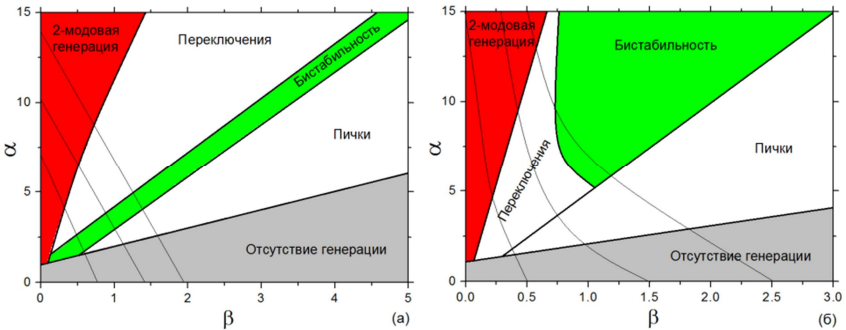


Рис.6. α - β -диаграммы для двух наборов параметров: (а) $\zeta_{ii} = 1$, $\zeta_{ij} = 0.9$, $\rho_{ii} = 3$, $\rho_{ij} = 1.5$, $\delta = 1$, (б) $\zeta_{ii} = 1$, $\zeta_{ij} = 0.9$, $\rho_{ii} = 1$, $\rho_{ij} = 0.5$, $\delta = 5$; $g_i = 5000$.

Тонкие линии, которые пересекают области устойчивой и неустойчивой генерации, определяют режим работы лазера при постепенно увеличивающейся мощности накачки. Точная форма линии определяется конструкцией лазера, но для простоты её можно принять прямой, как это сделано на рис.6.а. А на рис.6.б изображена более сложная форма зависимости $\alpha(\beta)$. Наблюдаемое в эксперименте развитие генерации по

мере увеличения мощности накачки в большей степени соответствует крайним левым секущим.

Четвёртая глава посвящена исследованию чувствительности и разрешающей способности когерентного рефлектометра и способов их увеличения. Рассмотрен принцип работы обычного и когерентного рефлектометра, а также факторы, ограничивающие дальность их работы. Численно исследовано несколько методов увеличения дальности работы рефлектометра. Изучено влияние полосы приёмника на отношение сигнал/шум и влияние формы и ширины импульса, ширины полосы приёмника и шумов на разрешающую способность когерентного рефлектометра.

Главное отличие когерентного рефлектометра от обычного, используемого для тестирования оптических линий связи, заключается в том, что длина когерентности когерентного рефлектометра совпадает с протяженностью импульса в волокне. В этом случае рассеянные на неоднородностях световые волны интерферируют (складываются когерентно). Рефлектограмма в когерентном случае отличается сильной изрезанностью, а главное, оказывается чувствительной к фазовым воздействиям на волокно. Точность локализации фазового воздействия равна примерно длине импульса в волокне.

Дальность действия оптического рефлектометра зависит от потерь в волокне и определяется тем, можно ли при данной мощности шума извлечь из рефлектограммы полезный сигнал. Критерием выступает отношение сигнал/шум: если для некоторой точки волокна оно снижается ниже критического значения – становится невозможным определение наличия вибрации в этой точке.

Самый простой метод увеличения дальности действия рефлектометра – увеличение мощности вводимого в волокно импульса. Однако максимальная мощность импульса ограничена нелинейными эффектами в волокне. В диссертации теоретически показано, что главным ограничивающим фактором является фазовая самомодуляция излучения.

В диссертации предложен и теоретически обоснован новый метод увеличения дальности работы оптического рефлектометра, основанный на соединении нескольких отрезков волокон с разными коэффициентами рэлеевского рассеяния. Суть метода заключается в том, чтобы волокно с более высоким коэффициентом обратного рассеяния присоединить в точке, в которой значение SNR уменьшается до минимально допустимого. При этом увеличится количество света, рассеиваемого назад в моду волокна, что приведет к скачку мощности на рефлектограмме, как это показано на рис.7.

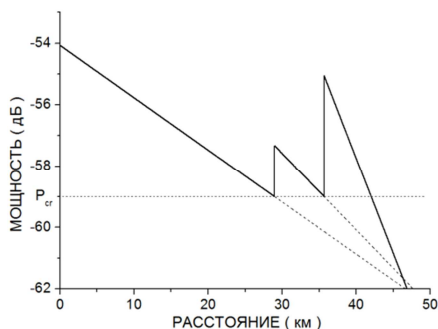


Рис.7. Мощность отражённого назад импульса от длины волокна для соединенных между собой волокон: SSMF, NZDSF и DCF.

Теоретические результаты, полученные в диссертации, подтверждены экспериментально (эксперименты проведены сотрудниками компании T8) [5]. Получено очень хорошее совпадение формы теоретических и экспериментальных рефлектограмм.

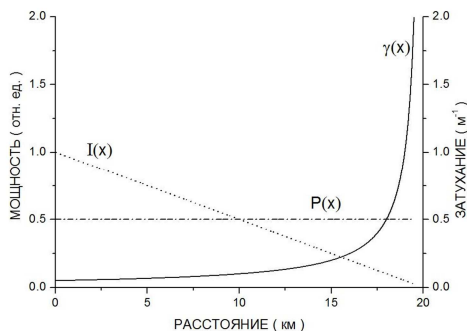


Рис.8. Зависимости коэффициента затухания $\gamma(x)$, мощности прошедшего $I(x)$ и отражённого назад $P(x)$ импульсов при неравномерном затухании сигнала.

В развитие этого метода предложена идея использовать волокно с изменяющимся коэффициентом рассеяния. Параметры волокна выбираются такими, чтобы отношение сигнал-шум сохраняло своё значение и было не ниже минимально допустимого уровня. Суть метода поясняет рис.8. Видно, что можно изготовить волокно, параметры которого изменяются таким образом, что мощность отраженного назад сигнала остаётся неизменной. Показано, что такое волокно целесообразно использовать совместно с обычным волокном, обладающим минимальным коэффициентом затухания.

В диссертации путем численного моделирования показана возможность использования для увеличения дальности работы рефлектометров распределенных ВКР усилителей. Показана возможность увеличения дальности работы когерентного рефлектометра на несколько десятков километров при использовании попутной и встречной накачки.

Численные расчеты показали, что оптимальная (обеспечивающая максимальное отношение сигнал-шум) ширины полосы приёмника зависит от длительности и, в меньшей степени, от формы тестирующего импульса. Установлено, что для импульса длительностью 50 нс квадратной или

супергауссовой формы оптимальная ширина полосы составляет 30-50 МГц (рис.9).

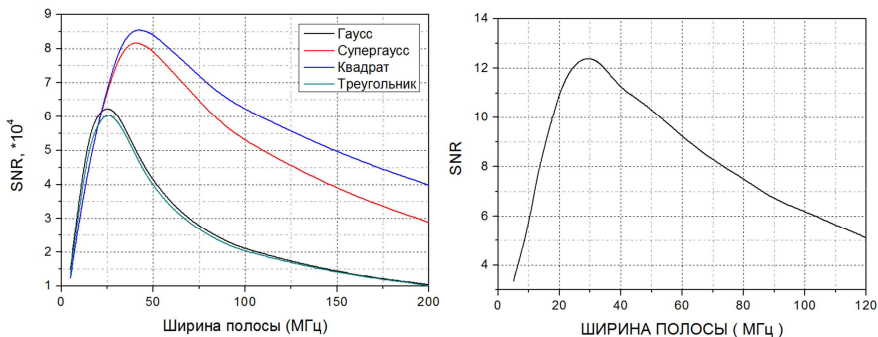


Рис.9. Зависимость отношения сигнал/шум от полосы приёмника для импульсов разной формы: слева – в начале волокна (первые 100 м), справа – на конце волокна длиной 25 км.

В заключении перечислены основные результаты и выводы диссертации.

Диссертация содержит 3 главы приложений. В **Приложении А** изложен способ приведения ненормированных балансных уравнений к нормированному виду для анализа режимов работы иттербиевого лазера. В **Приложении Б** приведён вывод формулы для коэффициентов кросс-насыщения, входящих в систему балансных уравнений. В **Приложении В** получено условие подавления центральной моды в трёхмодовом лазере.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Высокая эффективность оптического управления мощностью иттербиевого волоконного лазера связана с конкуренцией ортогонально поляризованных каналов генерации и качественно правильно описывается двухканальной моделью. Для правильного количественного описания необходимо учитывать многомодовый характер генерации в каждом канале,

пространственную неоднородность насыщения и конкуренцию мод. Предложенная многомодовая двухканальная модель адекватно описывает экспериментальные результаты.

2. Продемонстрирована возможность создания оптического сигнал-генератора на основе двухканального иттербиевого волоконного лазера, модуляция излучения рабочего канала которого осуществляется оптически – излучением управляющего канала с модулируемыми потерями.
3. Установлено, что существуют стационарные режимы генерации иттербиевого волоконного лазера, характеризующиеся разным количеством максимумов в спектре излучения, а также области переключений, в которых наблюдаются быстрые скачкообразные переходы между режимами. Количество максимумов увеличивается с повышением мощности накачки.
4. Предложена модель взаимодействия спектральных каналов генерации, объясняющая спектральную динамику иттербиевого волоконного лазера с учётом конкуренции обобщённых мод в усиливающей и поглощающей областях.
5. Предложен новый способ увеличения дальности работы оптического рефлектометра, основанный на использовании в качестве чувствительного элемента волокна с изменяющимися в продольном направлении характеристиками. Установлено, что совместное использование SMF и DCF волокон позволяет увеличить дальность работы оптического рефлектометра на 10 км, а использование SMF, DCF и NZDSF – на 15 км.

Список печатных работ, опубликованных по теме диссертации

1. Nanii O.E., Pavlova E.G., Susyan A.A., Hoan B.T.. Fiber laser as an optical-signal generator // *Laser Physics*. 2008. V.18. N.11. PP.1238-1240.
2. Воронин В.Г., Наний О.Е., Сусьян А.А., Хлыстов В.И. Новый способ управления выходной мощностью иттербиевого волоконного лазера // *Квантовая электроника*. 2010. Т.40. №2. С.111-114.
3. Воронин В.Г., Наний О.Е., Сусьян А.А., Хлыстов В.И. Оптическое управление выходной мощностью иттербиевого волоконного лазера // *Вестник МГУ. Физика*. 2010. №3. С.18-23.
4. Нестеров Е.Т., Слепцов М.А., Трещиков В.Н., Наний О.Е., Сусьян А.А. Когерентный оптический рефлектометр. Концепция создания прибора 2011 // *Телекоммуникации и транспорт*. 2010. №8. С.51-54.
5. Сусьян А.А., Наний О.Е., Камынин В.А., Нестеров Е.Т., Трещиков В.Н., Озеров А.Ж., Слепцов М.А. Метод увеличения дальности работы когерентного оптического рефлектометра // *Письма в ЖТФ*. 2011. Т.37. №9. С.55-63.
6. Величко М.А., Наний О.Е., Сусьян А.А. Новые форматы модуляции в оптических системах связи // *Lightwave Russian Edition*. 2005. №4. С.21-30.
7. Величко М.А., Сусьян А.А. Двойной фазомодулированный бинарный формат // *Lightwave Russian Edition*. 2004. №4. С.26-29.

Тезисы научных конференций

8. Сусьян А.А. Чувствительность когерентного волоконного рефлектометра // *Сборник тезисов Международной научной конференции «Ломоносовские чтения – 2007. Секция Физика»*. Москва, Россия, 16-25 апреля 2007. С.18.
9. Сусьян А.А. Чувствительность когерентного волоконного рефлектометра // *Сборник тезисов Международной научной конференции «Ломоносов – 2007. Секция Физика»*. Москва, Россия, 11-14 апреля 2007. С.137-138.

10. Сусьян А.А., Наний О.Е., Соколов А.Н., Яцеев В.А.. Моделирование распределенного волоконно-оптического датчика вибровоздействий // Фотон-Экспресс. Спец. вып. Труды «Всероссийской конференции по волоконной оптике». Пермь, Россия, 10-12 октября 2007. С.18-19.
11. Сусьян А.А., Воронин В.Г., Наний О.Е., Хлыстов В.И., Буй Тхи Хоан. Управление поляризацией излучения иттербиевого волоконного лазера в режиме модуляции добротности // Сборник тезисов конференции «2ой Российский семинар по волоконным лазерам». Саратов, Россия, 1-4 апреля 2008. С.53.
12. Наний О.Е., Павлова Е.Г., Сусьян А.А., Буй Тхи Хоан. Волоконный лазер – оптический сигнал-генератор // Сборник тезисов конференции «2ой Российский семинар по волоконным лазерам». Саратов, Россия, 1-4 апреля 2008. С.54.
13. Сусьян А.А., Наний О.Е., Павлова Е.Г. Селекция поперечных мод в лазерах на основе многомодовых волноводов // Сборник тезисов конференции «2ой Российский семинар по волоконным лазерам». Саратов, Россия, 1-4 апреля 2008.
14. Наний О.Е., Сусьян А.А. Спектральная динамика иттербиевого волоконного лазера // Сборник тезисов конференции «Всероссийская конференция по волоконной оптике». Пермь, Россия, 8-9 октября 2009. В спец. вып. ж-ла «Фотон-Экспресс», Т.87. №6. 2009. С.70-71.
15. Нестеров Е.Т., Слепцов М.А., Трещиков В.Н., Наний О.Е., Сусьян А.А. Когерентный оптический рефлектометр. Концепция создания прибора. // Сборник тезисов «Четвёртой отраслевой научной конференции-форума – Технологии информационного общества». Москва, Россия, 5-7 апреля 2010 г.

Подписано в печать 08.11.2011
Формат 60x88 1/16. Объем 20 п.л.
Тираж 100 экз. Заказ № 970
Отпечатано в ООО «Соцветие красок»
119992, г. Москва, Ленинские горы, д.1
Главное здание МГУ, к. А-102