

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук, профессора Федорука Михаила Петровича на диссертацию Комарова Андрея Константиновича “Динамика формирования и взаимодействия ультракоротких импульсов в лазерах с пассивной синхронизации мод”, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Генераторы ультракоротких импульсов света на основе волоконных лазеров, по сравнению с другими типами импульсных источников, обладают рядом достоинств, которые привлекают особое внимание исследователей. Преимущества таких генераторов связаны, прежде всего, с их эксплуатационными характеристиками, с многообразием режимов генерации, с возможностью менять в широких пределах нелинейно-дисперсионные параметры системы и изучать, таким образом, различные проявления солитонных свойств формируемых импульсов, что также представляет интерес для исследования других нелинейных систем, в которых солитоны реализуются. Для адекватной интерпретации накопленных экспериментальных данных и стимулирования постановки новых экспериментов по многоимпульсным режимам генерации волоконных лазеров, наблюдающимся бифуркационным и мультигистерезисным явлениям требуется создание теории, последовательно учитывающей механизмы, приводящие к экспериментально наблюдаемым генерационным особенностям. Таким образом, тема диссертационной работы А.К. Комарова, безусловно, является актуальной.

Диссертация содержит введение, пять глав, заключение, список публикаций автора и список цитируемой литературы. Общий объем работы составляет 298 страниц, включая 94 рисунка. Список цитируемой литературы содержит 227 ссылок.

Во введении рассматривается состояние проблем в данной области исследований с соответствующим обзором литературы, обосновывается актуальность темы диссертационной работы, определяются цель и задачи проводимых исследований, формулируются защищаемые положения, кратко изложено основное содержание работы, приведены данные об авторских публикациях по теме диссертации.

В первой главе диссертационной работы пассивная синхронизация лазерных мод анализируется с использованием простейшей модели, в которой внутрирезонаторная среда предполагается распределенной, описывается комплексной квадратичной частотной дисперсией и комплексной кубической нелинейностью. Показано, что после переходного процесса устанавливается либо пассивная синхронизация мод с одиночным импульсом в

лазерном резонаторе, либо генерация с заполнением всего лазерного резонатора излучением. Никакие многоимпульсные устанавливающиеся режимы генерации в рамках такой модели не реализуются.

Во второй главе диссертации пассивная синхронизация лазерных мод исследуется с использованием более сложных моделей, учитывающих частотную дисперсию и нелинейности лазерной среды более высоких порядков, чем рассматривавшихся в первой главе. Было установлено, что такая модификация моделей позволяет описывать многоимпульсную пассивную синхронизацию лазерных мод (эффект квантования внутрирезонаторного излучения на идентичные диссипативные солитоны), а также пороговую зависимость самостарта модовой синхронизации от интенсивности начального излучения. Таким образом, появилась основа для последовательной интерпретации механизмов, ответственных за экспериментально наблюдаемые проявления указанных генерационных явлений.

Третья глава посвящена разработке теории пассивной синхронизации мод волоконных лазеров с техникой нелинейного поляризационного вращения, которая создает нелинейные потери, формирующие ультракороткие импульсы в лазерном резонаторе. Дан анализ генерационных особенностей, связанных с квантованием внутрирезонаторного излучения на отдельные идентичные солитоны, с мультигистерезисной зависимостью числа генерируемых импульсов от уровня накачки и ориентационных углов внутрирезонаторных фазовых пластин, входящих в систему поляризационного контроля, формирующую нелинейные потери. Исследованы особенности лазерной генерации, возникающие из-за конечности времени релаксации усиливающей среды, приводящей к пиковым режимам генерации. Полученные данные анализа находятся в хорошем качественном согласии с результатами многочисленных экспериментальных исследований обсуждаемых генерационных особенностей.

В четвертой главе диссертационной работы анализируются связанные состояния лазерных солитонов. Установлено, что энергия связи квантуется, причем фазовые разности пиковых амплитуд солитонов в стационарном состоянии близки к значениям 0 , π и $\pi/2$. Показано, что основной механизм взаимодействия солитонов на больших расстояниях, отвечающий также за значительные энергии связи, обусловлен дисперсионными волнами. Такие волны испускаются солитонами при периодическом ударном воздействии сосредоточенных нелинейных потерь при каждом обходе поля по резонатору. Установлено, что парные взаимодействия солитонов могут приводить к структурам с эквидистантным расположением импульсов (солитонные кристаллы), а

также позволяют формировать информационные последовательности импульсов с меняющимся типом связи вдоль солитонного цуга.

В пятой главе предлагаются различные способы управления режимами пассивной синхронизации мод через контроль солитонного взаимодействия в лазерной системе. Среди них – методы, связанные с узкополосной селекцией внутрирезонаторного излучения, с дополнительными инерционными нелинейностями внутрирезонаторных элементов, с инъекцией в лазерный резонатор узкополосного непрерывного излучения. Дан анализ механизмов увеличения энергии генерируемых импульсов при диссипативном солитонном резонансе.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации, из которых к наиболее значительным следует отнести:

1. Разработана теория генерации волоконных лазеров с нелинейными потерями, основанными на технике нелинейного поляризационного вращения. На ее основе дан анализ квантования внутрирезонаторного излучения на отдельные идентичные солитоны. Исследована мультстабильная зависимость числа импульсов от начальных условий генерации, мультигистерезисная зависимость числа импульсов от накачки и ориентационных углов внутрирезонаторных фазовых пластин, пороговая зависимость самостарта пассивной синхронизации лазерных мод от интенсивности начального излучения. Изучены бифуркационные явления, связанные с пиковыми режимами генерации, обусловленными конечностью времени релаксации усиливающей среды.
2. Решена задача о квантовании энергии связи пары взаимодействующих лазерных солитонов.
3. Выявлена роль сосредоточенных нелинейных потерь в формировании мощных протяженных солитонных крыльев, приводящих к взаимодействию солитонов на больших расстояниях и ответственных за значительные энергии связи в многосолитонных структурах.
4. Предложены способы управления режимами пассивной синхронизации мод волоконных лазеров, связанные с узкополосной селекцией внутрирезонаторного излучения, с дополнительными инерционными нелинейностями внутрирезонаторных элементов, с инъекцией в лазерный резонатор узкополосного непрерывного излучения.
5. Установлен и исследован механизм подавления выхода в генерацию с ростом накачки новых импульсов при диссипативном солитонном резонансе. Полученные

результаты представляют интерес для формирования высокоэнергетических световых импульсов в волоконных лазерах за счет увеличения уровня накачки.

Оригинальность и новизна полученных результатов не вызывают сомнений. Они гарантируются приоритетными публикациями автора в ведущих научных журналах по данной тематике. Обоснованность и достоверность результатов диссертации подтверждается использованием апробированных методов теоретической физики, согласованностью аналитических расчетов с результатами численного моделирования, с известными результатами других авторов, согласованностью с результатами эксперимента. Научная значимость результатов диссертационной работы состоит в выявлении физических механизмов, ответственных за реализацию различных режимов пассивной синхронизации лазерных мод. Практическая значимость связана с возможностью использования полученных в диссертации результатов для разработки генераторов ультракоротких импульсов света.

Результаты, представленные в диссертации, прошли апробацию на многочисленных отечественных и зарубежных конференциях. Они опубликованы в 57 работах, в том числе 27 статей в рецензируемых журналах, удовлетворяющих требованиям ВАК, 25 статей – в материалах российских и международных конференций. Эти публикации в полной мере отражают основное содержание диссертационной работы.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Следует отметить некоторые замечания по работе:

1. Диссертантом представлены характерные особенности формы импульса и его спектра в условиях диссипативного солитонного резонанса с использованием достаточно точной модели. Однако само это явление (диссипативный солитонный резонанс) было обнаружено гораздо позднее другими авторами в рамках более простого уравнения, не учитывающего насыщение усиления. Следовало бы пояснить эту достаточно парадоксальную ситуацию.
2. В диссертации показано, что сосредоточенные нелинейные потери, за счет периодического ударного воздействия на импульс, формируют его мощные крылья, отвечающие за взаимодействие между импульсами. Следовало бы рассмотреть возникновение таких крыльев за счет аналогичного воздействия стыков оптоволокон с отличающимися характеристиками в лазерах с составными волокнами.
3. На графиках, как правило, используются безразмерные физические величины. В диссертации приводятся выражения, позволяющие связать размерные и безразмерные величины, тем не менее, следовало бы приводить значение цены

делений в размерных величинах, хотя бы для некоторых характерных экспериментальных систем.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. В целом, диссертация Комарова А.К. “Динамика формирования и взаимодействия ультракоротких импульсов в лазерах с пассивной синхронизации мод” представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне. Совокупность полученных результатов является значительным научным достижением в области лазерной физики.

Диссертационная работа Комарова А.К. полностью соответствует всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, сформулированным в пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г., а ее автор Комаров Андрей Константинович, достоин присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 –Лазерная физика.

Доктор физико-математических наук, профессор,
ректор Новосибирского государственного университета,
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2



М.П. Федорук

05.05.2015г.

Подпись М.П. Федорука заверяю.
Ученый секретарь Новосибирского государственного
университета, кандидат химических наук



Е.А. Тарабан