

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Чеховского Игоря Сергеевича «Численное моделирование нелинейных волновых эффектов в связанных волноводах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

1. Актуальность темы диссертации

определяется требованиями к увеличению пропускной способности оптических волоконных линий связи, для чего в последнее время предлагается использование многосердцевидных световодов. Однако взаимодействие между близко расположенными каналами передачи сигналов может породить нежелательные эффекты. С другой стороны, такое взаимодействие может приводить к интересным физическим эффектам, например к когерентному сложению излучения нескольких каналов с укорочением длительности импульса.

Поэтому актуальность темы исследования, заключающегося в численном моделировании нелинейных волновых эффектов в связанных волноводах, предлагаемая в работе И.С. Чеховского, не вызывает сомнений.

2. Новизна результатов

Научная новизна работы определяется тем, что в ней:

- Проведено исследование нелинейных волновых эффектов, возникающих в многосердцевидных световодах при распространении по ним оптических импульсов. Впервые с помощью математического моделирования продемонстрирована возможность использования многосердцевидных световодов в качестве основы устройства для сокращения временной длительности оптических импульсов, а также для нелинейного сложения мощности импульсов, вводимых в каждую сердцевину. Предложенная технология открывает новые перспективы для генерации сверхкоротких лазерных импульсов большой мощности.
- Разработано обобщение метода расщепления по физическим процессам, включающее вычисление матричной экспоненты в частотной области с помощью аппроксимации Паде для решения систем линейно-связанных нелинейных уравнений Шредингера (НУШ), которые используются для моделирования распространения света вдоль многосердцевидных волокон. Данный метод превосходит конечно-разностные схемы в

скорости и точности вычислений при малом размере системы связанных НУШ.

- Обобщена компактная диссипативная схема с итерациями для решения систем линейно связанных НУШ. Данная разностная схема имеет повышенный порядок аппроксимации и обладает абсолютной устойчивостью.
- Предложенные численные алгоритмы позволяют решать системы связанных НУШ с линейными связями любого вида.
- Предложена программная реализация на основе библиотеки Intel MKL представленных численных методов, распараллеленная с помощью технологии OpenMP.

4. Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка цитируемой литературы и приложения. Диссертация изложена на 117 страницах текста, содержит 43 рисунка и 6 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 133 наименования.

Введение посвящено анализу литературы и описанию области исследований. На основании этого обзора сформулированы цели и задачи работы, и защищаемые положения. В этой части диссертации определяется актуальность и практическая значимость работы, приводятся защищаемые положения, информация о публикациях по теме диссертации и список конференций, на которых представлялись результаты исследований по теме диссертации.

Первая глава диссертации посвящена описанию численных методов решения систем связанных нелинейных уравнений Шредингера (НУШ), которые используются при моделировании распространения оптических импульсов в многосердцевинных световодах. Обстоятельно изложена система линейно связанных НУШ (дискретно-непрерывные НУШ), используемая в диссертационной работе. Затем автор представляет предложенное им обобщение компактной диссипативной схемы с итерациями, а также метода расщепления по физическим процессам, основанного на вычислении матричной экспоненты в спектральной области. Также в работе проведен сравнительный анализ производительности и точности обоих методов. Показано, что компактная схема более предпочтительна для решения систем НУШ большого размера.

Во второй главе описан процесс математического моделирования распространения сигнала в кольцевых многосердцевинных световодах и показано, что эти световоды могут быть использованы для когерентного сложения нескольких каналов и сжатия (укорочения) оптических импульсов.

Вначале обсуждается система линейно связанных НУШ, используемая для математического моделирования распространения оптических импульсов, а затем описывается организация процесса численного моделирования. В частности, обсуждается критерий определения

эффективного расстояния вдоль многосердцевинного световода, на котором происходит когерентное сложение и сжатие импульса. Приведены основные результаты моделирования, среди которых следует отметить демонстрацию возможности сжатия Гауссовских импульсов в несколько сотен раз, а также их когерентного сложения (концентрации энергии в одном световоде) с эффективностью более 80%.

В третьей главе приведено описание численного моделирования распространения импульсного сигнала в многосердцевинном световоде с двумерным осесимметричным расположением сердцевин. Продемонстрировано, что при гексагональной сетке сердцевин эффективность сложения оказывается выше, чем в кольцевом световоде.

Показано, что при оптимизации характеристик входных Гауссовских импульсов (длительность и амплитуда импульса) возможно существование режимов нелинейного сложения импульсов с эффективностью более 90% и уменьшением длительности более чем в 200 раз. Проведено исследование влияния случайного расхождения фаз и временных задержек между входными импульсами на эффективность режимов сложения и сжатия. Рассмотрены также различные способы увеличения эффективности сложения импульсов с помощью гексагональных световодов. Продемонстрирована возможность эффективного сложения оптических импульсов с помощью 7-сердцевинного гексагонального световода с концентрацией энергии в одной из его периферийных сердцевин. С использованием генетического алгоритма определены режимы, обеспечивающие максимальную эффективность сложения при заданных ограничениях на характеристики входных импульсов. В конце главы обсуждаются вопросы практического применения многосердцевинных волокон в качестве основы устройства для сложения и сжатия оптических импульсов.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Таким образом, можно выделить следующие наиболее значимые результаты работы:

1. Для решения систем линейно связанных нелинейных уравнений Шредингера (НУШ), описывающих динамику оптического поля в многосердцевинных световодах, предложено обобщение метода расщепления по физическим процессам, включающее вычисление матричной экспоненты в частотной области с помощью аппроксимации Паде. Данный метод превосходит конечно-разностные схемы в скорости и точности вычислений при малом размере системы связанных НУШ. Также разработано обобщение компактной диссипативной схемы с итерациями на случай систем линейно связанных НУШ. Предложенные численные алгоритмы позволяют решать системы связанных НУШ с линейными связями любого вида.

2. На основе представленных численных алгоритмов разработан программный комплекс моделирования многосердцевинных световодов.

3. С помощью математического моделирования найдены режимы эффективного нелинейного сжатия оптических импульсов с использованием многосердцевинных световодов. С помощью кольцевых световодов достигнуто сжатие импульсов более чем в 700 раз.

4. Найдены режимы эффективного сложения оптических импульсов, введенных в каждую сердцевину многосердцевинного световода, в пределах одной сердцевины. С помощью гексагональных световодов достигнута эффективность сложения более 90%. Продемонстрирована возможность эффективного сложения оптических импульсов в одной из периферийных сердцевинок гексагонального световода.

5. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Диссертационная работа представляет целостное исследование. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации И.С. Чеховского, являются обоснованными. Достоверность выводов и рекомендаций обсуждается автором в тексте диссертации, подтверждается их сравнением с известными из литературы теоретическими и экспериментальными результатами. Новизна научных положений, сформулированных автором, не вызывает сомнений.

6. Публикации, отражающие основное содержание диссертации

Основные результаты диссертации изложены в 14 публикациях, в том числе 4 статьи в научных журналах, которые включены в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации для опубликования основных научных результатов диссертаций. В публикациях достаточно полно отражены главные результаты диссертации.

7. Автореферат

Автореферат полностью соответствует диссертации и опубликованным по ней работам.

8. Замечания по работе

По работе и тексту диссертации можно сделать следующие замечания:

- В подробном литературном обзоре (Глава 1), к сожалению, приводятся только ссылки на работы, опубликованные после 2000 года. Тема линейного и нелинейного взаимодействия электромагнитных волн, распространяющихся по относительно близко расположенным волноводам, имеет значительно более долгую историю. Было бы хорошо посвятить этой истории несколько слов в литературном обзоре.
- Некоторые рисунки в диссертации напечатаны в черно-белом варианте (см., например, рисунки 2.4 и 2.5), а в описании рисунков указываются цветные линии.
- При первом описании эффективности сложения импульсов в многосердцевинном световоде (Глава 2) следовало бы более четко определить собственно понятие эффективности.

Тем не менее, указанные замечания носят, в основном, стилистический характер и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

9. Заключение

Диссертация И.С. Чеховского является законченным исследованием, выводы основаны на большом и достоверном материале проведенных численных экспериментов. Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, хорошо обоснованы, обладают научной новизной и представляют как научную, так и практическую ценность. Сочетание научной новизны, достоверности результатов и практической значимости позволяет заключить, что диссертация И.С. Чеховского представляет собой законченную научно-квалификационную работу и отвечает критериям, установленным в п. 9-11, 13-14 Положения о порядке присуждения учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Чеховский Игорь Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
заведующий лабораторией активных сред
твердотельных лазеров Федерального
государственного бюджетного учреждения
науки Института общей физики
им. А.М. Прохорова РАН (ИОФ РАН)

В.Б. Цветков

ФИО: Цветков Владимир Борисович

Почтовый адрес:

119991, Москва, ул. Вавилова, 38

Рабочий телефон: +7(499)503-8274

E-mail: tsvetkov@lsk.gpi.ru

02.02.2018 г.

Подпись В.Б. Цветкова заверяю:
ВРИО Ученый секретарь ИОФ РАН

С.Н. Андреев