

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Коляда Натальи Александровны

«Волоконный фемтосекундный эрбьевый синтезатор частот стабилизированный по Nd:YAG/I₂ оптическому стандарту частоты для мобильных метрологических систем»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.21 - Лазерная физика

Диссертация Коляда Н.А. посвящена исследованию физических основ создания компактного волоконного фемтосекундного синтезатора частот, предназначенного для переноса стабильности частоты оптического стандарта (Nd:YAG/I₂) в радиодиапазон и, таким образом, для реализации на его основе мобильных фемтосекундных оптических часов (МФОЧ). Создание МФОЧ сложная задача, требующая специальных исследований процессов функционирования различных оптико-физических схем и надежности конструкций фемтосекундных синтезаторов частот и оптических стандартов частоты в различных условиях. В то же время реализация мобильных вариантов позволит расширить сферу их применений не только в наземных, но и в космических системах, например, для увеличения точности позиционирования спутниковой системы ГЛОНАСС.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка цитируемой литературы. Работа изложена на 140 страницах, содержит 69 рисунков и 2 таблицы. Список литературы содержит 96 наименований.

В введении перечислены преимущества волоконных лазеров с синхронизацией мод, обоснована актуальность исследования возможности создания мобильных вариантов фемтосекундных оптических часов на основе волоконного эрбьевого синтезатора частот, приведено описание проблемы на момент начала работы, сформулирована цель работы и изложено краткое содержание глав диссертации. В конце приведен список публикаций и защищаемые положения.

В главе 1 определены методы управления спектральными и частотными характеристиками волоконных эрбьевых лазеров с синхронизацией мод. Рассмотрены различные типы резонаторов лазеров наиболее применимые на практике, их преимущества и недостатки. Проанализированы линейные, кольцевые и линейно-кольцевые схемы резонаторов. Описаны различные принципы синхронизации мод и методы их реализации. Рассмотрены принципы уширения спектра излучения лазера с синхронизацией мод. Проанализированы действия различных нелинейных эффектов. Также рассмотрены

дисперсионные эффекты, влияющие на длительность импульсов. Приведено обоснование выбора эрбьевого волоконного лазера для реализации МФОЧ.

Глава 2 посвящена определению оптимальной конфигурации волоконного эрбьевого синтезатора частот для мобильных фемтосекундных оптических часов. Приведены основные блоки синтезатора, который включает в себя задающий фемтосекундный волоконный лазер, систему увеличения ширины спектра его излучения и систему переноса стабильности оптического стандарта частоты на полученный уширенный спектр оптических частот. Приведено описание оптического стандарта частоты на основе стабилизированного по молекулярному йоду Nd:YAG -лазера с удвоением частоты, используемого для стабилизации волоконного эрбьевого синтезатора частот. Предложен метод стабилизации спектральных компонент излучения фемтосекундного волоконного эрбьевого лазера с помощью одновременной фазовой автоподстройки оптических частот крайних спектральных компонент уширенного до октавы спектра фемтосекундного излучения по частоте Nd:YAG/I₂ оптического стандарта. Приведены результаты исследований с целью определения оптимальной схемы резонатора волоконного эрбьевого лазера. В результате была выбрана линейно-кольцевая схема резонатора с синхронизацией мод за счет эффекта нелинейной эволюции состояния поляризации в волокне. Предложен, экспериментально и теоретически исследован принцип построения составных высоконелинейных оптических волокон с переменной дисперсией длиной менее 1 метра увеличивающих ширину спектра волоконных лазеров до октавы. Такие волокна состоят из двух или более сегментов с разными профилями дисперсии. Преимущество составного волокна состоит в том, что изменение его дисперсионного профиля от сегмента к сегменту учитывает эволюцию спектра импульса.

В главе 3 экспериментально продемонстрировано, что на основе кристалла КТР может быть разработан и изготовлен надежный миниатюрный фазовый электрооптический модулятор. Модулятор позволяет осуществлять эффективную стабилизацию компонент гребенки оптических частот лазера по опорному оптическому стандарту частоты в широкой полосе частот (до нескольких сотен килогерц). При этом впервые для стабилизации волоконного эрбьевого синтезатора частот была использована комбинация из миниатюрного внутристороннего электрооптического фазового модулятора и акустооптического частотного модулятора с волоконным вводом-выводом излучения. Приведены исследования, подтверждающие возможность реализовать мобильные фемтосекундные оптические часы на основе эрбьевого волоконного лазера с синхронизацией мод. Определена нестабильность, которую вносит разработанный волоконный синтезатор в выходные оптические и радиочастоты МФОЧ. Так же представлены результаты предварительных измерений выходной радиочастоты МФОЧ.

Завершает работу заключение, включающее основные научные результаты.

Научная новизна работы заключается в получении ряда новых результатов:

1. Предложен новый принцип построения составных высоконелинейных волокон, дисперсионный профиль которых изменяется от сегмента к сегменту с учетом эволюции спектра импульса.
2. Предложен новый метод стабилизации спектральных компонент излучения фемтосекундного волоконного эрбьевого лазера с помощью одновременной фазовой автоподстройки оптических частот крайних спектральных компонент уширенного до октавы спектра фемтосекундного излучения по частоте Nd:YAG/I₂ оптического стандарта.
3. Впервые продемонстрирована возможность использования кристалла КТР в качестве наиболее эффективного материала для реализации внутрирезонаторных фазовых электрооптических модуляторов в системе стабилизации волоконных фемтосекундных эрбьевых лазеров. Модулятор обладает рядом преимуществ в сравнении с традиционно применимыми электрооптическими материалами.
4. Предложен метод полной стабилизации волоконного эрбьевого синтезатора частот по оптическому стандарту частоты, основанный на использовании комбинации внутрирезонаторного электрооптического фазового модулятора и внerezонаторного акустооптического частотного модулятора для отработки фазо-частотных возмущений.
5. Впервые исследованы физические основы волоконно-оптического синтезатора частот для мобильных оптических часов на основе фемтосекундного волоконного эрбьевого лазера и Nd:YAG/I₂ оптического стандарта частоты.

Научную новизну и значимость полученных результатов подтверждает их опубликование в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией, а также их обсуждение в рамках докладов на российских и международных конференциях и симпозиумах. Кроме того получен патент Российской Федерации на полезную модель.

Практическая значимость обусловлена тем, что приведённые исследования и разработки доказывают возможность создания компактного волоконно-оптического синтезатора частот для реализации мобильных фемтосекундных оптических часов.

В качестве **замечаний** следует отметить:

- Стр. 50. «Эффективная полоса отработки возмущений пьезокерамического стретчера ограничена автомодуляционными процессами возникающими в лазере». Что это за процессы, не поясняется.
- В конечном варианте задающего фемтосекундного лазера (Рис.3.13) используются элементы объемной оптики, в т.ч. внутрирезонаторный электро-оптический модулятор. Было бы полезно обсудить, возможен ли в принципе цельноволоконный вариант такой схемы.

Перечисленные замечания не влияют на общую положительную оценку представленной диссертации Н.А. Коляда. Все поставленные перед автором задачи выполнены. Автор продемонстрировал глубокое знание тематики. Тема диссертации является актуальной, а полученные результаты - оригинальными. Проведен большой объем исследований, результаты которых отражены в 5 научных рецензируемых журналах. Также результаты диссертационной работы докладывались на многочисленных конференциях и семинарах. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Представленная диссертационная работа соответствует всем требованиям ВАК России, и её автор, Коляда Наталья Александровна, достойна присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - Лазерная физика.

Отзыв составил:

Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.,
Врио директора, заведующий лабораторией
волоконной оптики Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института автоматики
и электрометрии Сибирского отделения Российской
академии наук (ИАиИЭ СО РАН)

С.А. Бабин

Почтовый адрес:

630090 г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 1

Тел. 8(383) 330-69-39, эл. адрес: babin@iae.nsk.su



Подпись С.А. Бабина заверяю:

Ученый секретарь ИАиИЭ СО РАН, к.ф.-м.н.

Е.И. Донцова