

ОТЗЫВ

На диссертацию Егорова Федора Андреевича «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МИКРООПТОМЕХАНИЧЕСКИХ РЕЗОНАНСНЫХ СИСТЕМ С ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

В самое последнее время в областях мехатроники, волоконной оптики и лазерной физики возникло новое направление исследований - создание новых методов управления параметрами оптического излучения с помощью оптомеханического взаимодействия света с микромеханическими устройствами. В основе таких устройств лежат микрооптомеханические резонансные системы с микронными и субмикронными размерами - колебательные системы с распределенными параметрами. Эти системы возбуждаются оптическим излучением и являются перспективными в для ряда фундаментальных физических исследований и разработки информационно-измерительных систем нового поколения

Механические колебания в микрооптомеханических резонансных системах (микроосцилляторах) приводят к модуляции амплитуды, фазы, частоты, направления волнового вектора и состояния поляризации света. В оптических резонаторах на основе микрооптомеханических резонансных систем обмен энергией между оптическими и механическими колебаниями может вызывать возникновение автоколебаний микроосциллятора и преобразование спектра излучения.

Особенно перспективным в настоящее время является применение микрооптомеханических резонансных систем для волоконных лазеров, где они могут осуществлять пассивную модуляцию параметров оптического резонатора, понизить порог генерации. В связи с этим перспективным является проведение комплексных исследований динамики лазерных систем с микрооптомеханическими резонансными системами разных типов в активных резонаторах лазеров различных классов - А,В,С,Д - обладающими различными динамическими характеристиками.

Рассмотрению этих вопросов и посвящена диссертационная работа Ф.А. Егорова. Проведена разработка физических и математических моделей лазерных систем, проведены комплексные исследования эффектов синхронизации и зависимостей характеристик

синхронных автоколебаний интенсивности излучения лазера и координат микроосциллятора от параметров системы и внешних воздействий; поиск и исследование новых механизмов лазерного возбуждения микрооптомеханических резонансных систем и исследование динамики систем. Проведено исследование оптико-физических свойств микрооптомеханических резонансных систем различных типов, их взаимодействия с лазерным излучением в условиях внутренних резонансов, приводящих к автомодуляционным режимам генерации волоконных лазеров и создание на их основе нового класса резонансных волоконно-оптических датчиков физических величин.

Во Введении диссертационной работы Ф.А. Егорова обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее основные цели и задачи и определены основные направления исследований.

В первой главе диссертационной работы Ф.А. Егорова изложены основные методы создания микрооптомеханических резонансных систем с заданными физико - техническими свойствами. Анализ возможных механизмов оптического возбуждения упругих колебаний и волн в микрооптомеханических резонансных систем показал, что они имеют две различные физические причины: непосредственное механическое действие излучения, связанное с передачей количества движения (импульса) и момента импульса от излучения к объекту; и пространственно-временной модуляции упруго - механических, термодинамических, геометрических параметров оптической среды с последующим преобразованием их в механические колебания.

Проведены оценки частот и декрементов затухания релаксационных колебаний в различных типах волоконных лазеров, частот продольных и поперечных межмодовых биений, поляризационных биений в анизотропных резонаторах. Полученные оценки указывают на то, что в волоконных лазерах с микроосцилляторами возможны внутренние резонансы между характерными частотами в волоконных лазерах и частотами собственных колебаний микроосцилляторов, охватывающие в совокупности широчайший диапазон частот от единиц килоггерц до десятков гигагерц.

Экспериментальные исследования проведенные автором диссертационной работы, с хорошей точностью подтвердили его теоретические расчеты.

Вторая глава диссертационной работы Ф.А. Егорова посвящена исследованию взаимодействия микрооптомеханических резонансных систем с лазерным излучением в условиях совпадения частоты релаксационных колебаний лазера с собственной частотой колебаний микорезонатора. Численное моделирование с помощью распределенной модели подтвердило существование режима синхронных автоколебаний. Сравнение полученных результатов с данными «точечной» модели показывает, что зависимости частот автоколебаний от параметров систем в общей зоне для указанных моделей практически совпадают.

Экспериментальные исследования динамики волоконных лазеров - микрооптомеханических резонансных систем проведены с использованием разных типов микрооптомеханических резонансных систем, играющих роль как нелинейных внутрирезонаторных элементов, так и нелинейных зеркал лазерного резонатора. Установлено, что в условиях указанного резонанса существование синхронных автоколебаний является характерным свойством рассматриваемых лазерных систем независимо от особенностей волоконных лазеров и микроосцилляторов. Показано, что в волоконных лазерах с несколькими внутрирезонаторными микроосцилляторами возможно существование, по крайней мере, двухчастотных синхронных автоколебаний. Установлена возможность повышения частоты синхронных автоколебаний за счет пассивной модуляции спонтанного времени жизни активной среды.

В третьей главе диссертационной работы Ф.А. Егорова исследована динамика лазерных систем волоконных лазеров-микрооптомеханических резонансных систем в условиях совпадения частоты колебаний микроосциллятора с частотой межмодового интервала резонатора волоконного лазера, соответствующих режимам пассивной синхронизации продольных и поляризационных мод волоконном лазере.

Автором диссертационной работы установлено, что оптомеханическая нелинейность в волоконных лазерах приводит к режиму пассивной синхронизации мод. В пределах области существования пассивной синхронизации мод частота регулярных лазерных импульсов зависит от частоты межмодового интервала резонатора и собственной частоты микроосциллятора. Показано, что многочастотность микроосциллятора, (его неотъемлемого свойства как и всякой распределенной системы), позволяет реализовать режимы пассивной синхронизации мод волоконных лазеров с широким набором

частот лазерных импульсов, определяемых собственными частотами одного и того же микроосцилятора.

Экспериментальные результаты, полученные в волоконных лазерах- микрооптомеханических резонансных системах с автоколлиматорной и интерферометрической связью в условиях возбуждения различных мод микрооптомеханических резонансных систем показывают, что режим пассивной синхронизации мод возможен как в условиях пассивной модуляции одной лишь добротности резонатора, так и при одновременной модуляции: добротности, длины резонатора и доплеровского смещения частоты световой волны, отраженной от микрооптомеханической резонансной системы. Установлено, что в условиях комбинационного резонанса, когда разность собственной частоты микроосцилятора и частоты межмодовых биений в резонаторе кратна частоте релаксационных колебаний в лазере, частота лазерных импульсов совпадает с собственной частотой микроосцилятора. Это открывает новые возможности для управления частотой лазерных импульсов за счет изменения резонансной частоты микроосцилятора и частоты релаксационных колебаний волоконного лазера.

В четвертой главе диссертационной работы Ф.А. Егорова рассмотрены физические основы, методы создания и результаты исследований волноводных МОМРС на основе специальных световодов, включая микро (нано) световоды, волоконные структуры соединения световодов. Рассмотрено влияние интенсивного излучения в световоде на устойчивость световода. С помощью предложенной модели установлено существование критической мощности излучения зависящей от упруго-механических и оптических параметров световода, превышение которой приводит к потере устойчивости световода.

Предложены и разработаны оптоволоконные микрооптомеханические резонансные системы, основанные на амплитудно-фазовой модуляции излучения в структурах соединения световодов в условиях лазерного возбуждения мод собственных поперечных колебаний сегмента могомодового волоконного световода.

Предложен метод лазерного возбуждения низшей моды «краевого» резонанса в могомодовом волоконном световоде, основанный на эффекте давления света, открывающий перспективы создания микроосцилляторов с высокой стабильностью резонансной частоты.

В пятой главе диссертационной работы Ф.А. Егорова проведено обоснование актуальности разработки резонансных волоконно-оптических датчиков, принцип действия которых базируется на возбуждении и регистрации параметров резонансных колебаний микрооптомеханических резонансных систем оптическими методами. Рассмотрены также принципы построения и результаты исследований нового класса резонансных волоконно-оптических датчиков на основе лазерных систем волоконных лазеров - микрооптомеханических резонансных систем. В частности, разработан новый тип волоконно-оптических датчиков акустического давления, основанный на модуляции частоты синхронных автоколебаний в миниатюрном иттербиевом волоконном лазере с зеркалом в виде микромембраны, находящейся в звуковом поле, который в классе «точечных» датчиков акустического давления может, в перспективе, обеспечить характеристики, близкие к рекордным.

Приведены результаты разработки автогенераторных волоконно-оптических датчиков механических и термодинамических величин с сенсорными элементами на основе оптоволоконных и микрооптических кремниевых микрооптомеханических резонансных систем, которые по основным метрологическим показателям могут превосходить электромеханические.

На основе балансных схем, реализованных на суперлюминесцентных волоконных лазерах, показана возможность регистрации термофлуктуационных колебаний микрооптомеханических резонансных систем и разработаны резонансные волоконно-оптические датчики, не требующие специального источника возбуждения колебаний.

Важно отметить, что ряд типов волоконно-оптических датчиков, разработанных на основе результатов диссертационной работы нашли практическое применение в качестве составных частей систем мониторинга напряженно-деформированного состояния несущих конструкций уникальных строительных сооружений. В частности, данные от указанных датчиков использованы при оценке последствий воздействия ударной волны от Челябинского метеорита (15. 02. 2013г.) на уникальный спортивный комплекс «Уральская Молния» (г.Челябинск).

В Заключении диссертации приведены основные выводы и результаты, полученные в диссертационной работе Ф.А. Егорова.

Цели, задачи методы исследования диссертационной работы Ф.А. Егорова сформулированы достаточно точно и ясно. Научная новизна

полученных соискателем результатов не вызывает сомнений. Практическая значимость результатов полученных в диссертационной работы Ф.А. Егорова вполне обоснована как в самой диссертации, так и в журнальных статьях и тезах докладов на конференциях соискателя. Соискателем проделана большая и продуктивная работа,

По диссертации имеются замечания:

1. Приближенная формула, определяющая критическую мощность Эйлеровой неустойчивости световода получена без учета эффекта электрострикции в световоде, что следовало бы обосновать.

2. В гл.2 (стр.151, рис.2.27) зависимость частоты синхронных автоколебаний в лазерной системе от условий отражения света на внешней границе активного световода объясняется исключительно влиянием спонтанного излучения на инверсию в активной среде (в световоде). В этой связи следует отметить, что при погружении активного световода в различные жидкости, характеризующиеся существенно разными коэффициентами теплопроводности (в диапазоне воздух - ртуть) значительно изменяется тепловой режим в активном световоде, влияние которого на параметры автоколебаний следовало бы учитывать.

3. К сожалению, автор диссертационной работы в обзоре литературы не рассмотрел перспективы развития и применения микромеханических датчиков угловой скорости вращения на эффекте Саньяка.

Кроме того, в диссертации имеются ряд стилистических грамматических ошибок, жаргонных терминов. Так, например, на стр. 5 диссертации написано: «взаимодействие света с механическими степенями свободы объектов.»

Разумеется, свет не может взаимодействовать «со степенями свободы».

А слово «объектов» пишется не через мягкий знак, а через твердый знак.

Не все выносимые на защиту положения сформулированы правильно. Положения, выносимые на защиту, это не перечисления результатов диссертационной работы. Положения, выносимые на защиту должны формулироваться в виде утверждений. Автор диссертационной работы иногда упускает это из вида. Например:

1. Стр.17 диссертационной работы. П.1. Положений, выносимых на защиту. Написано:

«1. Результаты анализа и исследований механизмов лазерного возбуждения упругих колебаний и волн в микрооптомеханических резонансных системах с поляризационно-анизотропными свойствами, позволившие реализовать режим регулярных автоколебаний направления поляризации излучения волоконного лазера с резонансной частотой микроосциллятора.»

Следовало бы переформулировать:

«Результаты анализа и исследований механизмов лазерного возбуждения упругих колебаний и волн в микрооптомеханических резонансных системах с поляризационно-анизотропными свойствами, *позволяют* реализовать режим регулярных автоколебаний направления поляризации излучения волоконного лазера с резонансной частотой микроосциллятора.»

2. Стр.18 диссертационной работы. П.3. Положений, выносимых на защиту. Написано:

«Экспериментальная реализация режима регулярных автоколебаний излучения лазера с собственной частотой микроосциллятора в условиях комбинационного резонанса, когда разность частот межмодовых биений волоконного лазера и собственных частот микроосциллятора кратна частоте релаксационных колебаний ВЛ. Автоколебания имеют место при длинах лазерного резонатора, по крайней мере, до 2,5 км.»

Первое предложение не содержит никаких утверждений, а второе не связано с первым.

3. Стр.19 диссертационной работы. П.7. Положений, выносимых на защиту. Написано:

«Применение термостабильных микроосцилляторов с механической добротностью позволяет при нормальных условиях получать автоколебания интенсивности излучения волоконного лазера с кратковременной относительной нестабильностью частоты, не превышающей $2 \cdot 10^{-6}$.»

Непонятно, к чему относится цифра $2 \cdot 10^{-6}$: к кратковременной относительной нестабильностью частоты лазера или к кратковременной относительной нестабильностью частоты автоколебаний интенсивности его излучения.

Однако указанные неточности никоим образом не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Ф.А. Егорова, которая является актуальным вкладом в разработку новых типов волоконных датчиков с микрооптомеханическими резонансными системами и представляет интерес для специалистов по волоконным

световодам. По объему полученных новых актуальных научных результатов диссертационная работа Ф.А. Егорова вполне соответствует уровню докторской диссертации.

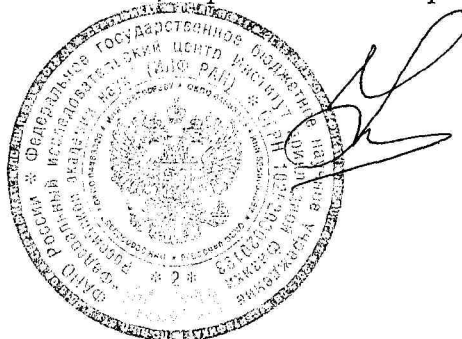
Результаты диссертации опубликованы в большом числе научных работ, в т.ч., в физических журналах входящих в список ВАК. Автореферат достаточно полно и адекватно отражает содержание Диссертационная работа Ф.А. Егорова является законченным актуальным исследованием выполненном на весьма высоком научном уровне, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 радиофизика.

Официальный оппонент д.ф.-м.н., в.н.с. отдела Нанооптики и Высокочувствительных Оптических Измерений отделения Нелинейной Динамики и Оптики
ФГБУН ФИЦ ИФФ РАН Г.Б. Малыкин



Подпись Г.Б. Малыкина заверяю.

/ Ученый секретарь ФГБУН ФИЦ ИФФ РАН, к.ф.-м.н. И.В. Корюкин



10 мая 2017 г.

Оппонент Малыкин Григорий Борисович

Адрес: 603950, г.Нижний Новгород БОКС-120, ул.Ульянова, 46.

Тел. 831-416-48-70

E-mail: malykin@ufp.appl.sci-nnov.ru