

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Научный центр волоконной оптики
Российской академии наук,
академик




Е.М.Дианов

« 16 » июня 2014 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Алексева Алексея Эдуардовича
**«ВОЛОКОННАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ЕЕ
ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ»**,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.03 - радиопизика

Диссертационная работа А.Э. Алексева посвящена исследованию физических основ волоконной когерентной интерферометрии рассеянного излучения. Актуальность проведенного исследования обусловлена тем, что рассмотренные в диссертации вопросы относятся к базовым для понимания физических механизмов формирования интерференционного отклика и экспериментальной оценки возможностей использования этого явления для построения распределенных волоконно-оптических датчиков физических воздействий с расширенным динамическим диапазоном по амплитуде регистрации, предельно высокой чувствительности к фазовой модуляции обратно-рассеянных волн и достаточно высоком для распределенных датчиков пространственном разрешении. Использование методов когерентной рефлектометрии позволяет радикально усовершенствовать приборы – когерентные рефлектометры и придать им качественно новые технические характеристики.

В работе впервые произведено детальное теоретическое и экспериментальное рассмотрение волоконного интерферометра рассеянного излучения на одномодовом оптическом волокне, который является предметом произведенного исследования. Для описания когерентных эффектов в обратно-рассеянном излучении в диссертации предложен и развит математический аппарат, основанный на статистическом подходе, позволяющий произвести анализ случайного процесса интерференции оптических полей, рассеянных ограниченным участком (отрезком) одномодового оптического волокна. Корректность предложенного статистического описания подтверждена в работе экспериментально путем исследования интерферограмм на выходе интерферометра.

Волоконные интерферометры рассеянного излучения проанализированы в работе и с точки зрения их спектральных характеристик: получено выражение для средней спектральной плотности мощности шума на выходе, а также для средней мощности

полезного сигнала, в зависимости от параметров интерферометра и степени когерентности излучения. Эти результаты были применены для определения среднего отношения сигнала к шуму на выходе интерферометра, а так же для нахождения его пороговой чувствительности к внешним воздействиям. Общность предлагаемого подхода к описанию волоконных интерферометров рассеянного излучения демонстрируется при анализе различных схем: базовой, с одним рассеивающим участком и схемы с двумя рассеивающими участками.

Для определения места волоконных интерферометров рассеянного излучения в ряду интерферометров классического типа, в работе произведено сравнение их характеристик с характеристиками интерферометра Маха-Цандера с эквивалентными параметрами временных задержек. Продемонстрировано, что волоконные интерферометры рассеянного излучения при этом, в среднем, демонстрируют лучшее отношение сигнала к шуму и более высокую пороговую чувствительность.

Представленная работа имеет наряду с академическим интересом также и практическую значимость, заключающуюся в демонстрации и обосновании использования волоконных интерферометров рассеянного излучения в качестве датчиков внешних фазовых воздействий. Метод фазового разнесения, примененный в волоконных интерферометрах рассеянного излучения, позволяет восстановить форму сигнала внешнего фазового воздействия, как для тонового сигнала, так и для сложного многочастотного сигнала, например, музыкального фрагмента.

Достоинством работы является полнота и обширность описания принципов формирования интерференционных сигналов – откликов при обратном рассеянии когерентного излучения. Произведенный анализ охватывает все основные и наиболее значимые характеристики интерферометра, при этом теоретические выводы всегда подтверждены результатами экспериментов. Экспериментальная часть работы выполнена на высоком техническом уровне с использованием современных измерительных приборов, качественных лазерных источников и других волоконных компонент. Теоретические и экспериментальные данные подтверждены результатами математического моделирования, произведенного с применением вычислительных систем.

Прикладная значимость работы заключается в том, что полученные в ней результаты могут быть применены для анализа когерентного импульсного рефлектометра, который представляет собой каскад участков обратного рассеяния, соединенных последовательно.

Наиболее важные и значимые результаты диссертационной работы могут быть сформулированы следующим образом:

- 1) Решена задача о нахождении статистической плотности распределения интенсивности рассеянного волокном излучения. Установлена ее связь, а также связь контраста интерферограммы волоконного интерферометра рассеянного излучения с его основными параметрами, такими как степень когерентности используемого лазерного источника, длина рассеивающего участка, степень поляризации рассеянного излучения и рассеивающие свойства среды оптического волокна.
- 2) Впервые детально проанализированы шумы интенсивности на выходе волоконных интерферометров рассеянного излучения, вызванные фазовыми шумами лазерного источника. Найдены зависимости для средней спектральной плотности мощности шума интенсивности на выходе от степени когерентности лазера, а также от длины рассеивающего участка. Рассмотрены предельные случаи спектральной

характеристики волоконных интерферометров рассеянного излучения.

- 3) Произведен вывод выражений для средних мощностей полезных сигналов одноканальной и двухканальной схем волоконных интерферометров рассеянного излучения, при внешних гармонических воздействиях на них. На основании найденных средних значений мощности шума и мощности сигнала определена зависимость среднего отношения сигнала к шуму от амплитуды внешнего воздействия и пороговая чувствительность. Произведено сравнение волоконных интерферометров рассеянного излучения с интерферометром Маха-Цандера.
- 4) Продемонстрирована и обоснована возможность использования волоконных интерферометров когерентного обратного рассеяния для регистрации внешних фазовых воздействий на оптическое волокно. Для демодуляции результирующего модулированного по фазе рассеянного излучения был применен метод фазового разнесения, эффективность этого метода была показана на примере восстановления тонового сигнала внешнего воздействия и музыкального фрагмента. Проанализированы причины возникновения замирания восстановленного сигнала и предложены методы его устранения.

По диссертации можно сделать следующие замечания.

- 1) Объем диссертации заметно превышает рекомендуемый. По-видимому, можно было пожертвовать некоторыми результатами исследований или, в случае невозможности этого, изложить их в более компактной форме, чтобы скомпоновать исследование в рекомендуемый объем. Умение диссертанта проделывать сложные вычисления не вызывает сомнений, поэтому столь обширное приложение следовало сократить.
- 2) Теоретические выкладки, приведенные в первой, второй и третьей главах довольно сложны и за ними зачастую теряется физический смысл проводимого математического анализа. Необходимо было уделить большее внимание физической интерпретации результатов рассмотрения, сократив приведенные выкладки.
- 3) Экспериментальные исследования демодуляции и идентификации сигнала внешнего акустического воздействия производились с помощью пьезокерамического фазового модулятора, оказывающего прямое локальное физическое воздействие на оптическое волокно волоконного интерферометра обратного рассеяния. Для чистоты эксперимента следовало бы рассмотреть возможность идентификации звуковых волн при воздействии на небольшую бухту из многих витков или на прямолинейный участок одномодового волокна от внешнего источника звуковых колебаний.
- 4) Первая глава диссертационного исследования, посвященная в основном статистическим аспектам теории интерференции обратно-рассеянного излучения, несколько выпадает из общей канвы работы, посвященной прикладным аспектам интерферометрии обратно-рассеянного излучения. Необходимо было более четко указать связь статистики для волоконного интерферометра рассеянного излучения с легированием сердцевины волокна, влияющим на уровень рэлеевского рассеяния, и с эффективностью проведения фазовых измерений или модуляции.

Однако, отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертации и ее высокий научный уровень.

Научная значимость работы заключается в том, что в ней представлено достаточно полное физическое описание процесса многолучевой интерференции излучения, обратно-рассеянного одномодовым оптическим волокном. В работе впервые получен ряд важных

теоретических зависимостей, позволяющих охарактеризовать основные параметры волоконных интерферометров на принципах когерентного обратного рэлеевского рассеяния излучения, которые являются объектами с малоисследованными свойствами. Все основные теоретические результаты работы подтверждены результатами экспериментов, что позволяет говорить об их научной достоверности.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные в ней результаты могут быть применены для анализа и расширения функциональных возможностей распределенных датчиков на основе когерентного рефлектометра, основой которого является исследованный волоконный интерферометр рассеянного излучения, а также могут быть использованы при разработке акустических датчиков и антенн на основе оптических волокон.

Полученные результаты могут быть использованы в ИРЭ РАН, в Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН, в НЦВО РАН, в Институте прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород), НЦ уникального приборостроения РАН, ФГУП НПО «Старт» (г. Пенза), в Институте физики микроструктур РАН (г. Нижний Новгород), в Институте автоматики и электрометрии (г. Новосибирск), а также на предприятиях и в учреждениях, занимающихся разработкой и созданием волоконно-оптических датчиков физических величин.

Основные результаты диссертации докладывались на Всероссийской конференции по волоконной оптике (г. Пермь, 2011), 8-м Конкурсе молодых ученых ИРЭ РАН, имени Ивана Анисимкина в 2011 году, на котором работа заняла 4-ое место, 9-м Конкурсе молодых ученых ИРЭ РАН, имени Ивана Анисимкина в 2012 году, на котором работа была удостоена 1-го места. Работа неоднократно обсуждалась на научных семинарах ИРЭ РАН. По результатам диссертации опубликовано 9 научных статей, из них 6 работ в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК.

Новизна полученных результатов не вызывает сомнения. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации. Таким образом, работа А.Э.Алексеева соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.03 - радиофизика, а автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертационная работа и отзыв обсуждались на семинаре НЦВО РАН. Отзыв одобрен Ученым советом НЦВО РАН, протокол № 73 от 16 июня 2014 г.

Ученый секретарь НЦВО РАН,
к.ф.-м.н.

/С.А.Васильев/

Отзыв составил:
Ведущий научный сотрудник
НЦВО РАН, к.ф.м.н.

/М.И.Беловолов/

ФИО: Беловолов Михаил Иванович

Ученая степень: Кандидат физико-математических наук

Специальность: 01.04.10 – физика полупроводников и диэлектриков

Почтовый адрес: 119333, г.Москва, ул.Вавилова, 38

Телефон: 8 (499) 135 16 94

Адрес электронной почты: bmi@fo.gpi.ru

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение

науки Научный центр волоконной оптики Российской академии наук

Должность: Ведущий научный сотрудник НЦВО РАН