

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.069.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК», МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 13.12.2018 № 15

О присуждении Терпелову Дмитрию Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Системы управления и обработки сигналов в корреляционной и спектральной оптической когерентной томографии» по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики» – принята к защите 11 октября 2018 г. (протокол заседания № 6) диссертационным советом Д002.069.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения (ФГБНУ) «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 603950 г. Нижний Новгород, БОКС - 120, ул. Ульянова, 46, приказ от 30 июня 2017 года номер 670/нк о создании диссертационного совета.

Соискатель Терпелов Дмитрий Александрович, 1981 года рождения, в 2004 году окончил с отличием Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» по направлению "Инженерное дело в медико-биологической практике", освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Научно-

исследовательского радиофизического института (срок обучения 03.09.2007 – 02.09.2010), работает в должности младшего научного сотрудника отдела нанооптики и высокочувствительных оптических измерений ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Геликонов Валентин Михайлович, заведующий отделом нанооптики и высокочувствительных оптических измерений ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

1. Захаров Валерий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой лазерных и биотехнических систем Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет),

2. Орлов Игорь Яковлевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" (ННГУ),

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования (ФГБОУВО) «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» – в своем **положительном отзыве**, составленном и подписанном Тучиным Валерием Викторовичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой оптики и

биофотоники ФГБОУВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», и утвержденном Короновским Алексеем Александровичем, доктором физико-математических наук, профессором, проректором по научно-исследовательской работе ФГБОУВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», указала, что рецензируемая диссертационная работа посвящена разработке систем управления, приема и обработки сигналов в корреляционных и спектральных методах оптической когерентной томографии для визуализации в реальном времени внутренней структуры оптически мутных сред, в том числе живых биологических тканей, а также созданию интерфейсных систем для практической реализации методов при построении приборов ОКТ. Отмечено, что диссертация «является научно-квалификационной работой и соответствует требованиям пп. 9-11, 13,14 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Д.А. Терпелов, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики». «Основные выводы и результаты работы могут быть использованы для создания оптических когерентных томографов нового поколения. Созданные методы и системы управления интерферометрами, системы сбора и передачи данных рекомендуются при проведении экспериментов по визуализации внутренней структуры рассеивающих объектов с микронным разрешением, а также измерения ряда оптических параметров сред».

По теме диссертации соискатель имеет 38 опубликованных работ, в числе которых 13 статей в рецензируемых научных журналах, входящих в список журналов, рекомендованных ВАК. Наиболее значительные работы:

1. Геликонов, В.М. Компенсация когерентных помех в спектральной оптической когерентной томографии с параллельной регистрацией спектра

- [текст] / В.М. Геликонов, Г.В. Геликонов, И.В. Касаткина, **Д.А. Терпелов**, П.А. Шилягин // Оптика и спектроскопия. - 2009. - Т. 106. - № 6. - С.983-988.
2. Геликонов, В.М. Электронные интерфейсные системы для задач спектральной оптической когерентной томографии [текст] / В.М. Геликонов, Г.В. Геликонов, **Д.А. Терпелов**, П.А. Шилягин // Приборы и техника эксперимента. - 2012. - № 3. - С. 100-106.
 3. Геликонов, В.М. Подавление автокорреляционных артефактов изображения в спектральной оптической когерентной томографии и цифровой голографии [текст] / В.М. Геликонов, Г.В. Геликонов, **Д.А. Терпелов**, Д.В. Шабанов, П.А. Шилягин // Квантовая электроника. – 2012. - Т. 42. - № 5. – С. 390-393.
 4. Шилягин, П.А. Ахроматическая регистрация квадратурных компонент оптического спектра в спектральной оптической когерентной томографии [текст] / П.А. Шилягин, Г.В. Геликонов, В.М. Геликонов, А.А. Моисеев, **Д.А. Терпелов** // Квантовая электроника, 2014, т. 44, № 7, 664-669.
 5. **Терпелов, Д.А.** Система управления и сбора данных для спектральной оптической когерентной томографии со скоростью 91912 А-сканов/с на основе USB 3.0 интерфейса [текст] / **Терпелов Д.А.**, Ксенофонтов С.Ю., Геликонов Г. В., Геликонов В. М., Шилягин П. А. // Приборы и техника эксперимента. 2017, № 6, стр. 94-100.
 6. Shilyagin, P. A. Time domain optical coherence tomography is a useful tool for diagnosing otitis media with effusion [текст] / P. A. Shilyagin, A. A. Novozhilov, T. E. Abubakirov, V. G. Gelikonova, **D.A. Terpelov**, V. A. Matkivsky, G. V. Gelikonov, A. V. Shakhov, V. M. Gelikonov. // Laser Phys. Lett. – 2018. - 15 – P. 096201.

Недостовверные сведения об опубликованных соискателем работах в диссертации отсутствуют. Личный вклад соискателя в опубликованные по теме диссертации работы является определяющим.

На автореферат диссертации поступило 5 отзывов. Все отзывы положительные:

1) Свиридов Александр Петрович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией лазерной химии Института фотонных технологий РАН Федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» РАН, в своем отзыве на автореферат диссертации отмечает: «научная новизна полученных в работе результатов состоит в создании для корреляционного и спектрального методов ОКТ новых подходов к формированию сигналов управления, а также к осуществлению последующей регистрации и обработки сигналов». **Отзыв не содержит замечаний.**

2) Котова Светлана Павловна, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией моделирования и автоматизации лазерных систем Самарского филиала ФГБУН Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, в своем отзыве на автореферат диссертации отмечает, что «автором выполнен большой комплекс исследований по разработке систем управления, приема и обработки сигналов в корреляционных и спектральных методах оптической когерентной томографии для визуализации в реальном времени внутренней структуры оптически мутных сред». **Отзыв не содержит замечаний.**

3) Шатилова Ксения Владимировна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела лазерных технологий в медицине НТО «ИРЭ-Полнос», в своем отзыве на автореферат диссертации отмечает, что «автором решены задачи создания методов синтеза управляющих сигналов пьезоволоконным модулятором оптического пути для корреляционной ОКТ, а также разработаны и реализованы для спектральной оптической когерентной томографии методы выделения кросскорреляционной компоненты интерференционного сигнала». **Отзыв не содержит замечаний.**

4) Долганова Ирина Николаевна, кандидат технических наук, научный сотрудник Института физики твердого тела РАН в своем отзыве на автореферат диссертации отмечает, что «тема диссертационной работы

Терпелова Д.А. представляется актуальной»; «основные полученные результаты представляются обоснованными и обладают научной новизной»; «диссертация Д.А. Терпелова является законченным научным исследованием, удовлетворяет требованиям ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, ее автор, Терпелов Дмитрий Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики». **Отзыв содержит следующие замечания:**

1. К сожалению, в автореферате не приведены численные оценки точности сканирования при использовании итерационного процесса подбора управляющего сигнала в виде формы тока, близкой к форме меандра, и численное сравнение точности данного метода по сравнению с использованием пилообразной формы изменения напряжения.

2. Также в автореферате не указан потенциал использования быстродействующей системы с полученными характеристиками, а именно не приведены примеры объектов либо процессов, для которых данное высокое быстродействие крайне актуально.

5) Агрба Павел Дмитриевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского, в своем отзыве на автореферат диссертации дал положительное заключение. **Отзыв не содержит замечаний.**

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тематической близостью их научных исследований и диссертационного исследования соискателя, посвященных разработке систем управления, приема и обработки сигналов в корреляционных и спектральных методах оптической когерентной томографии для визуализации в реальном времени внутренней структуры оптически мутных сред, в том числе живых биотканей, а также созданию интерфейсных систем для практической реализации методов при построении приборов ОКТ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Создана система управления пьезоволоконным модулятором оптического пути, которая, несмотря на наличие нелинейности и механических резонансов, позволяет получать интерференционный сигнал на частоте доплеровского сдвига 11 МГц с отклонениями менее 1% на интервале разности хода в несколько тысяч длин волн и обеспечивает скорость получения изображений до 3 000 А-сканов в секунду.

Показано, что в высокоскоростных системах управления интерферометром в корреляционной ОКТ более высокая точность сканирования при формировании управляющего сигнала для пьезоволоконного модулятора достигается за счет итерационного процесса подбора управляющего сигнала в виде формы тока, близкой к форме меандра, по сравнению с сигналом в форме пилообразно изменяющегося напряжения.

Реализован метод выделения из интерференционного сигнала и эффективного последующего устранения автокорреляционной компоненты и когерентных помех в спектральной оптической когерентной томографии, основанный на модуляции опорного плеча интерферометра по определенному закону в течение отдельной экспозиции оптического спектра на выходе интерферометра.

Установлено, что паразитная амплитудная модуляция принятых сигналов в методе спектральной оптической когерентной томографии с параллельным приемом оптического спектра связана с различиями в частотных характеристиках приемных каналов и разными задержками при распространении и дискретизации сигналов. Показано, что различия в частотных характеристиках приемных каналов приводят к артефактам на изображениях в виде повторов сигналов. **Предложен метод** восстановления изображений без априорной информации о свойствах передаточных каналов на основе моделей, параметры которых оцениваются на основе принятых сигналов.

Разработан программно-аппаратный комплекс для спектральной оптической когерентной томографии, осуществляющий управление интерферометром, регистрацию спектра на выходе интерферометра, обработку и анализ полученных сигналов, визуализацию 2- и 3-мерных изображений. С помощью созданной установки проведена серия натуральных экспериментов по визуализации с достигнутой скоростью 91912 А-скан в секунду 2D- и 3D-структур биологических тканей, в том числе, кожи пальца, а также передних и задних отделов глаза.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что изучены три метода компенсации когерентных помех в спектральной ОКТ с параллельным приемом спектра, отличающиеся способами выделения кросскорреляционной – информативной компоненты из полного сигнала и имеющие различные области применения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработанные методы позволили получать в реальном времени изображения внутренней структуры оптически мутных сред, ориентированные как по глубине, так и в латеральной плоскости.

- разработанные методы и устройства позволили проводить дополнительную функциональную диагностику (построение карт микрососудистого русла, оценка эластичности биоткани) в режимах *in vivo* и *ex vivo* в реальном времени средствами спектральной оптической когерентной томографии.

- использование двумерного и трехмерного ОКТ сканирования позволило получать информацию о строении и функциональном состоянии объектов. Трехмерное изображение позволило осуществлять анализ объемного распределения морфологических особенностей исследуемых объектов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- теоретическая часть диссертационной работы построена на базе численного моделирования, теории спектрального анализа, теории фильтрации

шумов, теории обработки сигналов и спектров, теории обнаружения сигналов и математической статистики;

- в работе использовались апробированные методики исследования. Перед постановкой эксперимента предварительно создавалась теоретическая модель процессов. Измерение характеристик созданных систем и физических величин в ходе экспериментов производилось с помощью сертифицированных приборов;

- теоретическая модель приемных каналов для спектральной ОКТ с параллельным приемом оптического спектра разработана в рамках стандартных подходов теории обработки и анализа сигналов; развитая модель подтверждена экспериментально;

Личный вклад соискателя: Основные результаты, представленные в рассмотренной диссертационной работе, были получены автором лично, либо при непосредственном его участии. Постановка цели и задач диссертационного исследования, интерпретация полученных результатов и формулировка выводов осуществлена совместно с научным руководителем.

На заседании 13.12.2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Терпелову Д.А. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики), участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против 0 (нет), недействительных бюллетеней 0 (нет).

Председатель диссертационного совета



Галонов С.В.



Ученый секретарь диссертационного совета



Водолазов Д.Ю.

Дата оформления Заключения 14.12.2018 г.