

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.069.02 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело №

решение диссертационного совета от 16.04.2018 № 72

О присуждении Геликонову Григорию Валентиновичу, гражданину РФ,  
ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация «Развитие методов оптической когерентной томографии» по специальности 01.04.03 – радиофизика принята к защите 26.12.2017 г., протокол № 70 диссертационным советом Д 002.069.02 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН, 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, приказ Министерства образования и науки РФ № 717 от 09.10.2012 г.)

Соискатель Геликонов Григорий Валентинович 1970 года рождения в 1992 году окончил Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Низкокогерентная волоконно-оптическая интерферометрия для задач оптической когерентной томографии» защитил в 2005 году в диссертационном совете Д 002.069.02, созданном на базе Института прикладной физики РАН, и работает заведующим лабораторией в ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН, приказ №1052-ОК от 15.09.2011).

Диссертация выполнена в отделении Нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН.

Официальные оппоненты:

- Тучин Валерий Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой оптики и биофотоники ФБГОУВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
- Баграташвили Виктор Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом лазерной атомно-молекулярной технологии Института фотонных технологий ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Москва, г. Троицк;

- Захаров Валерий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой ФГАОУ ВО "Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева"

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Международный учебно-научный лазерный центр МГУ им. М. В. Ломоносова (г. Москва) в своем положительном заключении, подписанном Приезжевым Александром Васильевичем, к.ф.-м.н., доцентом физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и утвержденном проректором МГУ им. М. В. Ломоносова доктором физ.-мат. наук, профессором Федяниным Андреем Анатольевичем, указала, что диссертация Г.В. Геликонова свидетельствует о его высокой научной квалификации, позволившей ему развить новое направление в оптической когерентной томографии, обеспечивающее ее качественно новые возможности, а также существенно более высокую чувствительность, разрешающую способность и быстродействие. Автор диссертации Геликонов Григорий Валентинович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».

Соискатель имеет 46 опубликованных статей в рецензируемых научных изданиях по теме диссертации и 34 патента на изобретение, в том числе 14 зарубежных патентов. В 1999г. соискатель в составе коллектива был удостоен Государственной премии в области науки и техники РФ за работы по теме диссертации. Наиболее значимыми работами соискателя являются:

1. Геликонов В.М., Геликонов Г.В., Гладкова Н.Д., Куранов Р.В., Никулин Н.К., Петрова Г.А., Починко В.В., Правденко К.И., Сергеев А.М., Фельдштейн Ф.И., Ханин Я.И., Шабанов Д.В. Когерентная оптическая томография микронеоднородностей биотканей. // Письма в ЖЭТФ 1995. V.61, №.2, P. 149-153.
2. Sergeev A.M., Gelikonov V.M., Gelikonov G.V., Feldchtein F.I., Kuranov R.V., Gladkova N.D., Shakhova N.M., Snopova L.B., Shakhov A.V., Kuznetzova I.A., Denisenko A.N., Pochinko V.V., Chumakov Y.P., Streltzova O.S. In vivo endoscopic OCT imaging of precancer and cancer states of human mucosa. // OpticsExpress 1997. V.1, №.13, P. 432-440.
3. Feldchtein F.I., Gelikonov G.V., Gelikonov V.M., Kuranov R.V., Sergeev A.M., Gladkova N.D., Shakhov A.V., Shakhova N.M., Snopova L.B., Terent'eva A.B., Zagainova E.V., Chumakov Y.P., Kuznetzova I.A. Endoscopic applications of optical coherence tomography // OpticsExpress. 1998. V.3, №.6. P. 257-270.
4. Геликонов В.М., Геликонов Г.В., Шилягин П.А. Линейный по оптической частоте спектрометр для реализации скоростного режима в спектральной оптической когерентной томографии. // Оптика и спектроскопия 2009. V.106, №.3, P. 518-524.

5. Gelikonov V.M., Gelikonov G.V. New approach to cross-polarized optical coherence tomography based on orthogonal arbitrarily polarized modes. // Laser Physics Letters 2006. V.3, №.9, P. 445-451.
6. Matveev L.A., Zaitsev V.Y., Gelikonov G.V., Matveyev A.L., Moiseev A.A., Ksenofontov S.Y., Gelikonov V.M., Sirotkina M.A., Gladkova N.D., Demidov V., Vitkin A. Hybrid M-mode-like OCT imaging of three-dimensional microvasculature in vivo using reference-free processing of complex valued B-scans. // Optics Letters 2015. V.40, №.7, P. 1472-1475.
7. Геликонов В.М., Геликонов Г.В., Касаткина И.В., Терпелов Д.А., Шилягин П.А. Компенсация когерентных помех в спектральной оптической когерентной томографии с параллельным приемом спектра. // Оптика и спектроскопия 2009. V.106, №.6, P. 983-988.

На диссертацию и автореферат поступили 10 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечаются высокий уровень работы, ее актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Отмеченные авторами отзывов замечания не влияют на их высокую оценку диссертации.

В положительном отзыве ведущей организации были сделаны следующие замечания:

- 1) название диссертации является слишком общим и не вполне отражает специфику достижений автора и его основные научные результаты;
- 2) в тексте диссертации недостаточно акцентирована новизна результатов на момент их получения автором. Перечисление новых результатов лишь в одном разделе диссертации затрудняет оценку работы в процессе ознакомления с ней;
- 3) помимо приведения ссылок на работы других авторов, следовало бы явным образом упоминать имена наиболее известных из них;
- 4) на стр. 82 написано: «... Основой восстановления сигнала является преобразование Фурье, которое каждой пространственной частоте модуляции принятого спектра ставит в соответствие точку ...». Нужно было бы пояснить, почему частота является пространственной;
- 5) на стр. 156 написано: «...При этом полностью устраняется зависимость сигнала в ко-канале...». Из этой фразы не понятно о зависимости от чего идет речь.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. В.В. Тучина содержит следующие замечания:

- 1) к недостаткам можно отнести излишнюю краткость при описании ряда оригинальных волоконно-оптических систем и методов для получения ОКТ изображений, систем, разработанных автором впервые, которые автор использовал как базовые при дальнейших разработках;

2) следовало бы большее внимание посвятить обсуждению с физической точки зрения некоторых разработанных в диссертации методов получения ОКТ изображений, основанных на выделении различных оптических, механических и физиологических эффектов в биоткани, что представляет важное методическое значение на практике.

В положительном отзыве официального оппонента д.ф.-м.н. В.Н. Баграташвили замечено, что краткое описание во второй главе базовых радиофизических методов, которые были созданы Г.В. Геликоновым при решении ряда ранних задач ОКТ, неоправданно отделено от их более подробного описания в последующих разделах.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. В.П. Захарова содержит следующие замечания:

- 1) при сканировании сред с существенной продольной неоднородностью, с помощью предложенного автором оптического когерентного микроскопа, могут возникать «искажения» совмещения фокального пятна с центром когерентной зоны, что будет вести к уменьшению предельного разрешения прибора, увеличивая тем самым погрешность его работы;
- 2) очевидно, что для того, чтобы предложенный автором метод нахождения зависимости  $\varphi(\omega)$  непосредственно из ОКТ сигнала сходился, необходимо обеспечить условие малости изменения фазы по частоте между соседними компонентами спектра. Это, в свою очередь, должно приводить к ограничениям на ширину окна Габора. Однако в диссертационной работе данные критерии не приведены;
- 3) для подавления артефактов в спектральной ОКТ автором предложен метод компенсации когерентных помех в спектральной области. Следует, однако, заметить, что при наличии мелкомасштабных регулярных поперечных флуктуаций в среде (например, характерных для плоско-клеточного рака начальной стадии) предложенный метод может приводить к исключению данных структур при поперечном сканировании;
- 4) при компенсации влияния движений на сигнал (стр. 195) автор оценивает ошибку кумулятивного суммирования как погрешность определения разности фаз соседних отсчетов, умноженную на квадратный корень общего числа отсчетов. Однако данная оценка верна только при одинаковом математическом ожидании разброса отсчетов, т.е. только в случае движения объекта как целого, без учета взаимного движения составных частей объекта исследования.

В отзывах оппонентов и ведущей организации также отмечено наличие в тексте незначительных стилистических недочетов, погрешностей оформления и ряда опечаток.

В положительном отзыве на автореферат от д.т.н. И.Я. Орлова (Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского) содержатся следующие замечания:

- 1) из автореферата не ясно учитывались ли в работе дифракционные эффекты приемо-передачи оптического излучения;
  - 2) не ясно как на рис.2 (д) смогли получить кривую 3 из разности кривых 2 и 1.
- Отзывы на автореферат д.ф.-м.н. А.К. Дмитриева, д.ф.-м.н. В.Б. Казанцева, д.ф.-м.н. А.М. Клушина, д.ф.-м.н. В.Г. Колостникова, д.ф.-м.н. С.К. Моршнева и д.ф.-м.н. М.И. Бакунова замечаний не содержат.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что оппоненты являются признанными высококвалифицированными специалистами в области оптических измерений, включая оптическую когерентную томографию, а ведущая организация является передовым институтом в области организации исследований на стыках лазерной физики и других естественных наук - биологии, химии, медицины, геологии, экологии.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- разработан широкий ряд интерферометрических волоконных схем и оптических элементов, позволивших реализовать метод ОКТ для практического медицинского применения;
- реализован метод снижения неэквидистантности регистрации спектральных компонент интерференционного сигнала линейкой фотоприемников в спектрометре на дифракционной решетке при относительной ширине спектра зондирующего излучения 20%;
- разработаны методы эффективного подавления когерентных помех, обусловленных автокорреляционной составляющей, в сигнале спектральной ОКТ;
- разработан универсальный метод вычисления и компенсации влияния дисперсии произвольной формы в среде объекта на изображения, получаемые в спектральных и корреляционных ОКТ-системах на основе анализа и обработки сигнала без дополнительных измерений;
- экспериментально показано превышение локального коэффициента кросс-поляризационного рассеяния при круговой поляризации зондирующего излучения по сравнению с коэффициентом при линейной поляризации;
- разработан метод активного поддержания кругового состояния поляризации зондирующего излучения в кросс-поляризационной системе ОКТ при любых конфигурациях гибкого волоконно-оптического зонда;
- экспериментально показано, что величина сигнала в оптической когерентной томографии при сканировании одновременно двумя некогерентными

ортогонально поляризованными порциями излучения одинакового спектра не зависит от состояния поляризаций этих порций излучения;

- разработан ряд режимов функционирования спектральной ОКТ-системы, обеспечивающих реализацию интерактивных режимов микроангиографии, эластографии и кросс-поляризационных измерений;
- разработан метод компенсации влияния макродвижения объекта на основе анализа и кумулятивного сложения разности фаз соседних пространственных отсчетов и численной коррекции положения изображения.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- подтверждены теоретические основы предложенного метода коррекции суммарных дисперсионных эффектов в корреляционной и спектральной ОКТ без вспомогательных измерений на основе обработки экспериментальных данных, в результате чего было продемонстрировано более, чем пятидесятикратное улучшение разрешения в изображениях сетчатки вплоть до спектрально обусловленного значения при относительной ширине спектра около 20%.
- теоретически доказана и экспериментально подтверждена возможность дистанционного поддержания круговой поляризации зондирующей волны на выходе гибкого одномодового оптического волновода при помощи двухэлементного модулятора двулучепреломления.

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

на основе полученных результатов разработан целый ряд ОКТ устройств, прошедших сертификацию для медицинского применения, успешно применяющихся в гинекологии, гастроэнтерологии, колопроктологии, урологии, стоматологии, дерматологии, офтальмологии и оториноларингологии, и при их использовании создан ряд зарегистрированных медицинских методик.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:**

Все полученные результаты обладают высокой степенью достоверности и являются обоснованными. Достоверность получаемых результатов обеспечивается обоснованным применением, как стандартных методов измерения, так и оригинальных методик, проведением измерений, как правило, несколькими способами. Имеется хорошее качественное и количественное совпадение теоретических результатов с экспериментально полученными данными. Результаты диссертации опубликованы в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах, докладывались на международных и всероссийских конференциях.

**Личный вклад соискателя состоит в том, что:**

Автор занимает ведущие позиции в разработке и развитии методов оптической когерентной томографии с 1993 года по всем направлениям исследований, представленных в диссертации. Он является основным автором и разработчиком всех модификаций метода ОКТ, систем приема, обработки и визуализации ОКТ-информации и активным участником разработок практических приложений. Результаты работы, в основном, базируются на предложенных автором идеях, и получены лично автором или при его участии.

На заседании 16.04.2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Геликонову Г.В. ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 10 докторов наук по специальности, рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 31 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за 23, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель  
диссертационного совета,  
академик РАН

 А.Г. Литвак

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук

 Э.Б. Абубакиров

подписи А.Г. Литвака и  
Э.Б. Абубакирова заверяю  
ученый секретарь ИПФ РАН  
кандидат физ.-мат. наук



 И.В. Корюкин

«16» апреля 2018 г.