

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.375.03,

созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, по диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18.04.2025 г. №12

О присуждении Потлову Антону Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Методы и средства оптической когерентной эластографии мягких биологических тканей с использованием экзогенных и эндогенных деформирующих воздействий» по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения, принята к защите 15.01.2025 г. (протокол заседания №1) диссертационным советом 24.2.375.03, созданным на базе ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1 приказом Минобрнауки России №449/нк от 18.12.2013 г., срок полномочий продлен приказом Минобрнауки России №561/нк от 03.06.2021 г.

Соискатель Потлов Антон Юрьевич, 9 сентября 1989 года рождения. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Модели и алгоритмы для локализации патологических отклонений в структуре биологической ткани с помощью импульсной диффузионной оптической томографии» защитил в 2016 году по специальности 05.11.17. Приборы, системы и изделия медицинского назначения в диссертационном совете Д 212.211.04, созданном на базе ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет». Работает доцентом кафедры «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), Министерство науки и высшего образования РФ.

Диссертация выполнена на кафедре «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «ТГТУ», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный консультант – Фролов Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «ТГТУ».

Официальные оппоненты:

Бодин Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Биомедицинская инженерия» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза.

Старченко Ирина Борисовна, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по учебно-научной работе политехнического института (филиала) ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» в г. Таганроге Ростовской области.

Ивахно Наталия Валериевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Газовая динамика» института высокоточных систем им. В.П. Грязева ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург **в своем положительном отзыве, подписанном Юлдашевым Зафаром Мухамедовичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой биотехнических систем, и утвержденном Семеновым Александром Анатольевичем, доктором технических наук, доцентом, проректором по научной и инновационной деятельности, указала, что** диссертационная работа Потлова А.Ю. выполнена на актуальную тему, на высоком научно-техническом уровне, качественно оформлена и обладает внутренним единством. Диссертационное исследование проведено автором самостоятельно, автореферат диссертации соответствует ее содержанию. Диссертационная работа Потлова А.Ю. представляет собой завершенную научно-квалификационную работу в которой на основании выполненных автором исследований решена актуальная научно-техническая проблема учета заведомо сложной формы профиля деформирующего воздействия и организации многоуровневой коррекции артефактов объемного движения для обеспечения многомерной оптической когерентной эластографии без жесткой фиксации сканирующего зонда и (или) сканируемого биообъекта. Решение этой проблемы, позволяет медицинскому персоналу более эффективно проводить диагностические процедуры с использованием систем для

оптической когерентной эластографии (обнаруживать опухоли, оценивать глубину их инвазии, контролировать процедуру прицельной биопсии, оценивать воспалительные процессы и стадии заживления ран, диагностировать паразитарные инвазии, оценивать геометрию и состав атеросклеротических отложений, их стабильность, контролировать процедуры имплантации стента и ротационный атерэктомии и т.п.), что имеет важное политическое, социально-экономическое, культурное и хозяйственное значение. Материалы диссертационной работы Потлова А.Ю. полностью соответствуют научной специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения. При этом, имеется соответствие пунктов научной новизны диссертационного исследования 2, 7, 8, 10, 14, 15, 19 и 20 направлениям исследований из паспорта вышеуказанной научной специальности. Диссертация соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а соискатель, Потлов Антон Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения.

Соискатель имеет 273 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 126 работ, из них: 17 работ – это статьи в журналах из перечня ВАК и 34 работы опубликованы в изданиях, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus. Также имеются 2 монографии, 21 патент РФ на изобретения и полезные модели, 42 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1) Потлов, А. Ю. Использование топологических скелетов для коррекции артефактов объемного движения в оптической когерентной томографии и эластографии / А. Ю. Потлов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2024. – Т. 12. – № 4. – URL : <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1715>. *Публикация без соавторов.*

2) Потлов, А. Ю. Фрактальный подход к численному моделированию фотонного транспорта в биологических тканях на основе метода статистических испытаний Монте-Карло / А. Ю. Потлов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2024. – Т. 12. – № 3. – URL : <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1648>. *Публикация без соавторов.*

3) An Approach for Patient-Specific Hemodynamics Modeling Taking into Account Biomechanical Properties of the Cerebral Artery / S. Frolov, S. Sindeev, A. Potlov, D. Liepsch //

Биомедицинская радиоэлектроника. – 2018. – № 5. – С. 26 – 29. *Потлов А.Ю. представил базовую версию метода оценки величины модуля Юнга на основе оптической когерентной эластографии.*

4) Monte Carlo Simulation of a Biological Object with Optical Coherent Tomography Structural Images using a Voxel-Based Geometry of a Medium / S. V. Frolov, A. Yu. Potlov, D. A. Petrov, S. G. Proskurin // Quantum Electronics. – 2017. – Vol. 47. – Is. 4. – P. 347 – 354. *Потлов А.Ю. представил вычислительно эффективный подход к моделированию интерференционного сигнала оптической когерентной томографии и эластографии.*

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов, все они положительные и были подготовлены и присланы из:

1) ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск. Отзыв подписал профессор кафедры биомедицинской инженерии, д.т.н., проф. Филист Сергей Алексеевич. 2) ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), г. Москва. Отзыв подписал директор Института бионических технологий и инжиниринга, д.т.н., доц. Тельшев Дмитрий Викторович. 3) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск. Отзыв подписал профессор исследовательской школы химических и биомедицинских технологий, д.т.н. Бразовский Константин Станиславович. 4) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул. Отзыв подписал профессор кафедры «Информационные технологии», д.т.н., проф. Пронин Сергей Петрович. 5) ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань. Отзыв подписал профессор кафедры «Приборостроение и мехатроника», д.т.н., доц. Хизбуллин Роберт Накибович. 6) БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут. Отзыв подписал профессор кафедры экологии и биофизики, д.б.н., проф. Филатов Михаил Александрович. 7) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар. Отзыв подписал заведующий кафедрой физики и информационных систем, д.ф.-м.н., проф. Богатов Николай Маркович. 8) ГБОУ АО ВО «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет», г. Астрахань. Отзыв подписала заведующий кафедрой «Пожарная безопасность и водопользование», д.т.н., проф. Шикунская Ольга Михайловна. 9) ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический

университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск. Отзыв подписал заведующий кафедрой «Информационные и измерительные системы и технологии», д.т.н., проф. Горбатенко Николай Иванович. 10) ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж. Отзыв подписал профессор кафедры цифровых технологий, д.т.н., доц. Туровский Ярослав Александрович. 11) ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук», г. Москва. Отзыв подписала заведующий лабораторией №49 «Инфраструктурных систем», д.т.н., доц. Барабанова Елизавета Александровна. 12) ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва. Отзыв подписал профессор кафедры основ радиотехники, д.т.н., проф. Крамм Михаил Николаевич.

В отзывах указаны следующие замечания:

вопросы, связанные с использованием иммерсионных жидкостей для снижения аббераций оптической системы, следовало рассмотреть подробнее; из текста докторской диссертации и автореферата не понятно является ли целесообразным создание и использование робототехнических комплексов для оптической когерентной эластографии; биомедицинские фантомы по рисункам 3.13 и 4.12 представляют собой микрофлюидные устройства; описанию аспектов, связанных с использованием параллельных вычислений на графических процессорах следовало уделить больше внимания; работы по омологации предложенных научно-технических решений, показанные в 2-6 главах, целесообразно было представить в отдельном пункте диссертационной работы; первая глава перегружена научно-технической информацией и излишне подробным анализом предметной области; следовало в явном виде указать какие участки человеческого тела или какого органа человеческого тела соответствуют геометрическим параметрам используемых в диссертационном исследовании фантомов биологических тканей? А также каким образом осуществлена сегментации априорной анатомической информации при формировании геометрических моделей?; следовало чаще использовать привычные биологам выражения «*ex vivo*», «*in situ*», «*in utero*», «*in papyro*», «*in vivo*» и «*in vitro*»; у первого раздела четвертой главы не корректное название; в ряде случаев информация о спектре не указывается соискателем при упоминании характеристик источников излучения; рисунок 5.1 следовало продублировать в автореферате; методологию оценки вязкости сильно рассеивающих биологических жидкостей и фармацевтических препаратов (пункт 5.5) следовало раскрыть подробнее и

упомянуть в автореферате; целесообразно было представить в диссертационной работе пример внешнего вида и характерных размеров фиксаторов, используемых в классическом варианте оптической когерентной эластографии; в диссертации представлены базовая и упрощенная версии метода коррекции артефактов движения, но четко не разграничены ситуации их применения; предложенные методы постпроцессинговой обработки оптических изображений следовало структурировать в виде дерева решений; использование в опорном плече разработанной системы нейтрального фильтра переменной плотности упростило бы процесс настройки базового блока; причины отказа от использования технологий искусственного интеллекта при распознавании образов на оптических медицинских изображениях не очевидны; из текста диссертации и автореферата не понятно содержится ли в составе многоканальных зондов омыватель прозрачной оболочки торцевой части катетера?; устройство для формирования пульсирующих потоков кровеимитирующей жидкости целесообразно было дополнить инфракрасным нагревательным элементом; из текста автореферата не ясно совокупность каких конкретного датчиков давления образует гибкую тонкопленочную матрицу, почему выбран этот вариант и с какой частотой осуществляется опрос активных элементов; в автореферате не раскрыто какая среда программирования была использована и почему; следовало бы в явном виде указать методологию, используемую в качестве прототипа; наличие рентгеноконтрастных полос для общего позиционирования упоминается в тексте автореферата, однако на рисунке 2б они в явном виде не указаны; формула для расчета межкадровой разности фаз для представленных в комплексной форме интерференционных сигналов не очевидна широкому кругу заинтересованных лиц; «статистический вес» фотона следовало дополнить пороговым уровнем; формулу для расчета сигнала на детекторах разработанной системы для оптической когерентной томографии и эластографии следовало развернуть; комплекс методов и средств для оптической когерентной эластографии не лишним было бы представить в виде эргатической системы; текущие значения направляющих косинусов следовало бы дополнить информацией об их начальных значениях; как вычислялись полярный и азимутальный углы; в пункте «основное содержание работы» целесообразно было указать чувствительность и специфичность разработанных методов оптической когерентной эластографии.

Все отзывы **положительные** и содержат вывод о том, что диссертационная работа соответствует актуальным на момент написания отзыва требованиям (согласно п. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), предъявляемым Высшей аттестационной комиссией к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор Антон Юрьевич Потлов заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается известностью их достижений в соответствующей области наук и наличием тематических публикаций, что позволяет компетентно определить теоретическую и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная идея оптической когерентной эластографии без жесткой фиксации сканирующего зонда и сканируемого биообъекта;

предложены методы реконструкции профиля деформирующего воздействия и робастной к спекл-шумам коррекции артефактов объемного движения;

доказана целесообразность проективного преобразования оптических изображений с учетом векторов смещения точек соответствия на топологических скелетах;

введены понятия профилей эндогенного и экзогенного деформирующих воздействий, сдвиговой оптической когерентной вискозиметрии, уточнено и расширено понятие априорной анатомической информации на фазовые изображения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана целесообразность реконструкции формы профиля деформирующего воздействия на основе анализа репрезентативных выборок и с использованием тонкопленочной матрицы датчиков давления;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы методы мультимодального математического и натурного моделирования оптических и биомеханических свойств живых тканей с учетом геометрии границ анатомических структур, а также физиологии эндогенных деформирующих воздействий;

изложена и развита научная идея робастной к спекл-структуре коррекции артефактов объемного движения на основе аппарата математической морфологии, топологии и динамического анализа изображений;

раскрыты аспекты, связанные с оценкой магнитуды и пространственного распределения как экзогенных, так и эндогенных деформирующих воздействий с учетом их суперпозиции.

изучены особенности разграничения физиологического тремора, сканирующих и деформирующих воздействий;

проведена модернизация математического аппарата оценки величин основных биомеханических характеристик под нужды оптической когерентной эластографии с использованием экзогенных и эндогенных деформирующих воздействий без использования жесткой фиксации сканирующего зонда и сканируемого биообъекта.

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

разработаны и внедрены в профильную деятельность АО «Тулиновский приборостроительный завод», ФГАУ НМИЦ «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» имени академика С. Н. Федорова, ООО «Биомедтех» (г. Тамбов), ООО «Медтехника» (г. Тамбов), ООО «Интертехмед» (г. Тамбов), ООО «Доступная диагностика» (г. Тамбов), кафедра «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «ТГТУ» методы и технические средства для оптической когерентной томографии и эластографии с использованием волоконно-оптических зондов без жесткой фиксации сканируемого объекта, а также сопутствующие численные и физические модели, рекомендации и программные продукты;

определены перспективы использования оптической когерентной эластографии в качестве системы локального позиционирования и источника дополнительной диагностической информации при оценке точности позиционирования стента, определении структуры и состава областей атеросклеротического поражения стенок кровеносных сосудов и анализе их стабильности;

созданы биомедицинские фантомы, имитирующие анатомические и физиологические свойства живых тканей, для оценки технического состояния систем оптической томографии, эластографии, эндоскопии, ультразвуковой диагностики;

представлена рекомендуемая к дальнейшему совершенствованию сдвиговая оптическая когерентная вискозиметрия биологических жидкостей и жидких лекарственных форм.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ по созданию мультимодальных тканеимитирующих фантомов применялись известные технические решения в области 3D-печати жидкими фотополимерными смолами, а также технологии вакуумной и ротационной дегазации современных синтетических полимерных материалов для литья;

теория, совместно описывающая оптические и биомеханические процессы при оптической когерентной эластографии, базируется на современных общепринятых представлениях о напряженно-деформированных состояниях биологических объектов и биотехнических систем, а также на известном методе статистических испытаний Монте-Карло;

идея базируется на структурированных наблюдениях медицинского персонала об артефактах медицинских оптических изображений и действиях, предшествующих их возникновению;

использованы репрезентативные источники научной информации, а также общепризнанная методология верификации и валидации результатов разнодиапазонных измерений;

установлено качественное и количественное соответствие картограмм, получаемых на основе авторских методов и средств для оптической когерентной эластографии без жесткой фиксации сканирующего зонда и сканируемого биообъекта, и картограмм на основе классической методологии;

использованы общепризнанные в медицине протоколы снижения инвазивности и дискомфорта, а также современные представления медицинской эргономики о высокой степени визуализации диагностической информации.

Личный вклад соискателя состоит в: самостоятельной разработке основного объема методологического, аппаратного и программного обеспечения для высокоточной оценки и последующего картирования механических свойств биологических тканей при медицинской интроскопии на основе оптической когерентной эластографии сменными волоконно-оптическими зондами с экзогенными и эндогенными деформирующими

воздействиями, без жесткой фиксации исследуемого биообъекта и сканирующего зонда друг относительно друга.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: использование математического аппарата комплексных чисел и функций в ряде случаев не обосновано; эксперименты по верификации и валидации математической модели процессов, происходящих в мягких биологических тканях, при оптической когерентной эластографии изложены недостаточно подробно; следовало пояснить особенности синхронизации работы основных элементов волоконно-оптических зондов.

Соискатель Потлов Антон Юрьевич ответил на все задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, с частью замечаний согласился и часть развернуто пояснил.

На заседании от 18.04.2025 года диссертационный совет принял решение присудить Потлову А.Ю. ученую степень доктора технических наук за решение актуальной научной проблемы организации многомерной визуализации структуры и механических свойств биологических тканей на основе оптической когерентной эластографии волоконно-оптическими зондами с опциональным учетом экзогенных или эндогенных деформирующих воздействий без фиксации сканируемого биообъекта и сканирующего зонда, имеющее важное социально-экономическое значение.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по научной специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета проголосовали: за – 19 , против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета, д.т.н., проф.

/Кошелев Виталий Иванович/

Ученый секретарь

диссертационного совета, д.т.н., доц.

/Овечкин Геннадий Владимирович/

18.04.2025 г.