

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной и
инновационной деятельности
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им.
В.И. Ульянова (Ленина)»



доктор технических наук, доцент
/ А. А. Семенов/

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»
на диссертационную работу
Потлова Антона Юрьевича

«Методы и средства оптической когерентной эластографии мягких
биологических тканей с использованием экзогенных и эндогенных
деформирующих воздействий»,

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения»
(технические науки).

На отзыв представлена диссертационная работа и автореферат.

Актуальность и практическая значимость темы исследования

Создание систем с высокой степенью визуализации является одним из ключевых направлений развития технологий для неинвазивной диагностики в медицине. Подобные системы, как правило, сочетают в себе сбор разнодиапазонных исходных данных и глубокую их обработку. Системы для оптической когерентной эластографии позволяют формировать многомерные изображения внутренней структуры исследуемых сильно рассеивающих сред с микронным пространственным разрешением на основе обратно отраженного и рассеянного назад излучения ближнего инфракрасного диапазона, а также оценивать величины модуля Юнга, коэффициента Пуассона, модуля сдвига и даже строить кривые напряженно-деформированного состояния для тех же исследуемых сред. Вышесказанное в сочетании с относительной безвредностью зондирующего излучения, относительно небольшими габаритами и приемлемой стоимостью оборудования делает системы для оптической когерентной

эластографии весьма перспективными для массового применения в реальной клинической практике.

Тем не менее, системы для оптической когерентной эластографии относительно редко встречаются в медицинских учреждениях. Микронное пространственное разрешение является не только преимуществом оптической когерентной эластографии, но также и обуславливает высокую чувствительность к форме профиля деформирующего воздействия и артефактам объемного движения. В связи с чем, жесткая взаимная фиксация сканирующего зонда и сканируемого объекта обязательна для подавляющего большинства известных систем оптической когерентной эластографии. Такой подход плохо совместим с реалиями реальной клинической практики.

Таким образом, диссертационное исследование Потлова А.Ю., направленное на решение проблемы учета заведомо сложной (как в пространстве, так и по времени) 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 актуально и ориентировано на практику, в частности на разработку методологических и технических решений, позволяющих медицинскому персоналу эффективно проводить диагностические процедуры на основе оптической когерентной эластографии. Практический эффект для медицинских работников при этом выражается в I) использовании при оптической когерентной эластографии обусловленных физиологическими процессами деформирующих воздействий (по возможности); II) отсутствии ситуаций недостаточного, чрезмерного, некорректного по форме профиля или неверного оцененного по магнитуде искусственного деформирующего воздействия на исследуемый биообъект; III) получении полезной информации об оптическом строении и механических свойствах биологических тканей с приемлемым количеством артефактов, в диалоговом режиме работы и в удобной для корректной интерпретации форме.

Структура диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений, библиографического списка из 378 наименований и трех приложений. Диссертация содержит 98 рисунков и 8 таблиц. Общий объем диссертационной работы 464 страницы, в том числе 365 страниц основного текста, 53 страницы библиографического списка, 46 страниц приложений.

Во введении обоснована актуальность исследования, определены цель и необходимые для ее достижения задачи. Представлены научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость. Уточнена информация о достоверности полученных результатов, выносимых на защиту положений,

приведены сведения о личном вкладе автора, апробации и реализации результатов работы.

В первой главе рассмотрена специфика оптических методов оценки биомеханических свойств биологических тканей, в частности пояснена суть метода оптической когерентной томографии; приведена классификация известных технических решений для оптической когерентной томографии мягких биологических тканей; описана структурная визуализация на основе оптической когерентной томографии; рассмотрена ангиография, доплерография, эластография на основе оптической когерентной томографии; изучены нюансы функционирования систем со стационарным и сменным плечом образца; проанализированы мультимодальные оптические системы для медицинской диагностики; приведена вводная информация о типичных оптических и механических свойствах биологических тканей; подробно изложены известные подходы к оценке и визуализации оптическими методами величин модуля Юнга, коэффициента Пуассона, модуля сдвига и т.п.

Во второй главе представлены разработанные высокоточная математическая модель оптических свойств и геометрии биологических тканей (в первую очередь человека), математическая модель распространения в биологических тканях непрерывного низкокогерентного излучения ближнего ИК-диапазона, математическая модель гидродинамики потоков крови в мягких биологических тканях и объединенная математическая модель. Детально описаны результаты серии компьютерных и физических экспериментов с фантомами кровеносных сосудов по изучению влияния изменений в характеристиках потока биологической жидкости сквозь плоскость сканирования при оптической когерентной томографии (в том числе с функциями ангиографии, доплерографии, эластографии) на получаемый при этом интерференционный сигнал. Представлены разработанные способ формирования фантомов кровеносных сосудов для эндоскопической оптической когерентной эластографии и устройство для формирования пульсирующих потоков в фантомах кровеносных сосудов. Приведены результаты серии физических экспериментов с вышеуказанными фантомами и устройством для формирования пульсирующих потоков в них, причем совместное их использование позволило добиться описания анатомических особенностей реальных биообъектов в целом с достоверностью $>93\%$, а характеристик кровотока в полостях в толще фантома с достоверностью $>91\%$.

В третьей главе детально описывается разработка базового блока и волоконно-оптических зондов для эндоскопической и интраваскулярной оптической когерентной томографии и эластографии, обладающие системой локального позиционирования, а также модулем оценки величины деформирующего воздействия, и позволяющих динамически оценивать профиль

деформирующей силы в независимости от того экзогенной или эндогенной она является по своей природе. Представлены устройство эндоскопической оптической когерентной томографии с коррекцией волнового фронта, метод и устройство для эндоскопической оптической когерентной томографии с функцией измерения поляризационных свойств, метод и алгоритм повышения качества структурных изображений для эндоскопической и интраваскулярной оптической когерентной томографии. Описан метод сканирования в эндоскопической оптической когерентной томографии (как в одно волновой, так и в спектроскопической) с полным обзором исследуемой ткани, повышающий информативность результатов сканирования (оценивалась величина отношения сигнал/шум) на 12% и снижающий количество движений зонда, необходимых для оценки механических свойств церебральной аневризмы на 34%. Предложен метод коррекции артефактов объемных движений сканирующего зонда и сканируемого биообъекта друг относительно друга при оптической когерентной эластографии.

В четвертой главе представлены метод оценки и последующей реконструкции трехмерного профиля деформирующего воздействия при эндоскопической и интраваскулярной оптической когерентной эластографии, позволяющие работать с переменным количеством точек детектирования и восстанавливать профиль деформирующего воздействия в конкретной реализации с точностью до 0.1 кПа; способы ангиографии и цветового доплеровского картирования в эндоскопической оптической когерентной томографии. Описаны восемь выявленных закономерностей (четыре для ламинарных потоков и четыре для турбулентных потоков и потоков с локальными нарушениями ламинарного течения), связывающих среднюю скорость потока биологической жидкости, форму профиля скорости, геометрию внутрисосудистого пространства, временные интервалы между пульсациями в потоках и т.п. с частотой флуктуаций спеклов, их дисперсией, локальными пиками, фазовыми и доплеровскими сдвигами в интерференционном сигнале и т. п. Представлена полезная модель устройства спектроскопической оптической когерентной томографии.

В пятой главе представлена методология оценки основных биомеханических характеристик в эндоскопической и интраваскулярной оптической когерентной эластографии с эндогенными и экзогенными деформирующими воздействиями, отличающаяся прямым подходом к вычислениям (используются классические формулы) с поэтапным нахождением входных величин на основе анализа интерференционного сигнала и данных о величине деформирующего воздействия, и позволяющая представлять диагностические данные медицинскому персоналу в диалоговом режиме работы и в удобной для интерпретации форме, в частности детально изложены способы

определения величин модуля Юнга, модуля сдвига и коэффициента Пуассона в эндоскопической и интраваскулярной оптической когерентной томографии, а также их практические реализации. Подтверждена принципиальная возможность построения кривых напряженно-деформированного состояния за счет высокого быстродействия (временные задержки, как правило не превышают 100 миллисекунд) вышеописанных методов оценки величин основных биомеханических характеристик при оптической когерентной эластографии с экзогенным и эндогенным деформирующим воздействием. Изложен метод и представлен программный продукт для развертывания фазы в пределах одного А-скана с учетом информации от всех соседних А-сканов. Представлены метод и программный продукт для оценки вязкости сильно рассеивающих биологических жидкостей и фармацевтических препаратов на основе сдвиговой оптической когерентной вискозиметрии.

В шестой главе представлены метод оценки риска послеоперационных осложнений после имплантации потоконаправляющего стента; метод выбора потоконаправляющего стента для процедуры стентирования с учетом минимизации риска послеоперационных осложнений; набор анатомически-корректных медицинских фантомов оптических и биомеханических свойств биологических тканей; метод, алгоритм и программные продукты для оценки и визуализации структуры и биомеханических свойств атеросклеротических бляшек. Изложены авторские способ и соответствующий программный продукт для оценки внутренней структуры атеросклеротических бляшек посредством интраваскулярной оптической когерентной томографии, а также способ и соответствующий программный продукт для оценки стабильности атеросклеротической бляшки. Представлены полезная модель интраваскулярного зонда для прицельной биопсии под контролем оптической когерентной томографии и полезная модель интраваскулярного зонда для ротационной атерэктомии под контролем оптической когерентной томографии. Описаны способ и соответствующий программный продукт для оценки точности установки и правильности раскрытия потоконаправляющего стента, способ и соответствующий программный продукт для оценки целесообразности хирургических вмешательств по коррекции эффективности уже установленного потоконаправляющего стента. Установлено, что разработанное методологическое, аппаратное и программное обеспечение в целом позволяют организовать ОКЭ без жесткой взаимной фиксации сканируемого объекта и сканирующего зонда, причем достоверность оценки и последующего пространственного картирования механических свойств биологических тканей повышена по сравнению с практической реализацией методологии-прототипа по меньшей мере на 29%. Посредством серии компьютерных и физических экспериментов (с фантомами и тканями сельскохозяйственных животных)

подтверждено предположение об том, что риск разрыва аневризм в основном связан с ее геометрическими и биомеханическими характеристиками, из гемодинамических факторов особенно опасно резкое повышение внутричерепного давления. Показаны примеры внедрения в практику основных результатов диссертационного исследования в следующих организациях: 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».

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе:

В приложениях приведены скан-копии: 21 тематического патента, 12 ключевых свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, 7 документов о практическом использовании результатов диссертационного исследования.

Научная новизна и практическая значимость диссертационной работы

Научная новизна диссертационного исследования заключается в том, что:

I) Предложена и разработана научная идея оптической когерентной эластографии со сложной формой профиля деформирующего воздействия и многоуровневой коррекцией артефактов объемного движения.

II) Разработаны метод изготовления мультимодальных тканеимитирующих фантомов и совместимое с ними устройство, отличающиеся тем, что имитаторы кровеносных сосудов послойно изготавливаются на основе анатомически корректных негативных моделей, проксимальные и дистальные концы имитаторов кровеносных сосудов снабжаются раздвоенными катетерами, специальное устройство обеспечивает воспроизводимые по времени физиологически корректные пульсации посредством управляемого перекручивания вибрирующей гибкой питающей трубки.

III) Разработана математическая модель, совместно описывающая на основе метода статистических испытаний Монте-Карло оптические и биомеханические процессы, происходящие в исследуемой биологической ткани при оптической когерентной эластографии.

IV) Разработан метод коррекции артефактов объемных движений сканирующего зонда и сканируемого биообъекта друг относительно друга при оптической когерентной эластографии посредством «пересборки» исходных комплексных данных, отличающийся тем, что робастное сравнение последовательности оптических изображений производят посредством оценки

векторов смещений точек «квенча» на топологических скелетах, построенных с учетом морфологических особенностей обрабатываемых изображений.

V) Разработаны метод и устройство для оценки и последующей реконструкции трехмерного профиля деформирующего воздействия при оптической когерентной эластографии, отличающиеся тем, что величина деформирующего воздействия оценивается не в окрестности сканирующего зонда, а по его контуру.

VI) Разработаны методы оценки величин основных биомеханических характеристик при оптической когерентной эластографии, отличающиеся тем, что площадь деформирующего воздействия считают равной площади сканирования используемого волоконно-оптического зонда, величину деформирующей силы для соответствующего участка нагруженной области оценивают на основе профиля деформирующего воздействия, комбинируют амплитудный и фазовый подходы к оценке абсолютных смещений, продольные и поперечные размеры деформируемой области вычисляют посредством объединения проекций векторов смещения на соответствующие координатные оси.

VII) Разработаны методы и устройства для контроля над процедурами атерэктомии и прицельной биопсии, а также методы оценки корректности стентирования, прогнозирования выраженности и продолжительности терапевтического эффекта после соответствующего эндоваскулярного вмешательства, отличающиеся одновременным учетом не только оптических, но и механических свойств исследуемых объектов как при идентификации материала стента, так и анатомических структур.

Практическая значимость исследования заключается в том, что:

1. Разработанные методы, устройства и программные продукты позволяют медицинскому персоналу осуществлять оптическую когерентную эластографию сменными эндоскопическими и интраваскулярными зондами *in vivo*, причем без строгой необходимости жесткой фиксации исследуемого биообъекта или его отдельной части.

2. Разработанные тканеимитирующие фантомы пригодны для оценки технического состояния многих систем для оптической томографии, эластографии, эндоскопии, ультразвуковой диагностики. Вышеуказанные фантомы в сочетании с математическими моделями оказались чрезвычайно полезными в процессе разработки нового медицинского оборудования, а также для обучения персонала работе с ним.

3. Программное обеспечение, реализующее метод коррекции артефактов объемных движений при оптической когерентной эластографии пригодно для практического применения в ультразвуковых системах (спекл-паттерны при

медицинской визуализации на оптических и акустических принципах во много сходны).

4. Устройство и программные продукты, реализующие методы оценки и последующей реконструкции трехмерного профиля деформирующего воздействия при эндоскопической и интраваскулярной оптической когерентной эластографии открывают новые возможности по комплексному сканированию исследуемого биообъекта.

5. Сменные волоконно-оптические зонды, а также программные продукты, реализующие отдельные алгоритмы в составе методов учета экзогенных и эндогенных деформирующих воздействий, дополнительно позволяют решать задачи ангиографии, доплерографии, оценки деполяризующих свойств и параметров двулучепреломления для исследуемых биологических объектов или их частей на основе оптической когерентной томографии.

6. Методы, устройства и программное обеспечение для потоковой оценки величин основных биомеханических характеристик при оптической когерентной эластографии с экзогенным и эндогенным деформирующим воздействием по сути представляют собой навигационную систему и поэтому, среди прочего, применимы в задачах контроля над процедурами ротационной атерэктомии и прицельной биопсии.

7. Разработанные методы, устройства и программные продукты частично освобождают медицинский персонал от трудоемких для ручного выполнения вычислительных операций посредством формирования на основе компьютерной обработки аргументированных выводов о точности позиционирования и правильности раскрытия стента, структуре и составе атеросклеротических бляшек, ожидаемом терапевтическом эффекте после эндоваскулярного вмешательства.

Практическая значимость результатов исследования подтверждена 7 актами о внедрении, представленными в приложении В к тексту докторской диссертации. Из этих документов следует, что:

Большая часть результатов, полученных в рамках диссертационного исследования, используется АО «Тулиновский приборостроительный завод» в рамках решения задачи импортзамещения в области биомедицинских диагностических систем с высокой степенью визуализации, а также перехода к 6-му технологическому укладу.

Результаты диссертационного исследования внедрены в ФГАУ НМИЦ «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» имени академика С. Н. Федорова и практически используются: для цифровой пост-обработки интерференционных сигналов оптической когерентной томографии; моделирования биомеханических свойств переднего отрезка глаза, изготовления фантомов оптических и механических свойств тканей глаза, а также

гемодинамики в них; формирования пульсирующих потоков кровеимитирующей жидкости в них. Методы и технические средства для оптической когерентной эластографии, повышения качества структурной и функциональной визуализации, комплексных эндоскопических и интраваскулярных процедур, моделирования патофизиологических процессов *in vitro* и *in silico* внедрены и практически используются ООО «Биомедтех» (г. Тамбов).

ООО «Медтехника» (г. Тамбов) использует результаты диссертационного исследования для: оценки технического состояния целого ряда систем эластографии, оптической томографии, ангиографии и ультразвуковой диагностики; определения оптимальных значений пользовательских настроек к вышеуказанным системам; тестирования пульсоксиметрических устройств и датчиков к ним; обучения персонала работе с перспективными медицинскими технологиями. ООО «Интертехмед» (г. Тамбов) использует в своей текущей деятельности представленные в диссертационном исследовании: анатомически и физиологически корректные биомедицинские фантомы; способы и программное обеспечение для получения структурных и функциональных изображений в оптической когерентной томографии; полезные модели устройств для оптической когерентной эластографии, эндоскопических и интраваскулярных исследований на ее основе.

ООО «Доступная диагностика» (г. Тамбов) использует на практике разработанные в рамках диссертационного исследования методы, алгоритмы и программные продукты для обработки медико-биологических сигналов и данных (в первую очередь решения по сегментации, классификации и идентификации анатомических структур в оптической когерентной томографии и эластографии).

Результаты диссертационной работы также используются кафедрой «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» в процессе обучения бакалавров (12.03.04) и магистров (12.04.04) по направлению подготовки «Биотехнические системы и технологии».

Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования

Предложенные методы и средства оптической когерентной эластографии мягких биологических тканей с использованием экзогенных и эндогенных деформирующих воздействий, в целом, могут быть использованы в достаточно широком круге медицинских, производственных, сервисных, научно-исследовательских и образовательных учреждений. Однако наиболее перспективной, несомненно, является организация отечественного производства систем для оптической когерентной томографии и эластографии без

необходимости жесткой фиксации сканирующего зонда и сканируемого биообъекта. Примерами отечественных учреждений, потенциально заинтересованных в организации подобного производства и обладающих необходимыми для этого финансовыми и научно-производственными ресурсами могут служить: ТПК «Dixion», НИПК «Электрон», ООО «Мосрентгенпром», НПО «Эндомедиум», ООО «Фотек», ЗАО «Апрелевский завод рентгентехники», АО «Елатомский приборный завод», ООО «РенМедПром», ЗАО «Радиан», ООО «МП НПФ «Гаммамед-П», ООО «Ноэлси», НПАО «Научприбор», АО «Уральский приборостроительный завод», ООО НПП «Биомер», ООО «Компания Нео», ООО «Мед ТеКо», ООО Концерн «АКСИОН».

Внедрение в реальную клиническую практику эффективнее всего организовать в двух направлениях:

I) Разработанные методы, устройства и программные продукты для оценки биомеханических свойств мягких биологических тканей сменными **эндоскопическими** волоконно-оптическими зондами после тщательного тестирования и сертификации могут быть использованы в медицинских организациях в качестве источника дополнительной диагностической информации в онкологии (при обследовании опухолей, оценке глубины их инвазии, для контроля над процедурой прицельной биопсии), гастроэнтерологии (для оценки воспалительных процессов и глубины инвазии язв) и дерматологии (при диагностике злокачественных образований и паразитарных инвазий). Перспективны аналогичные ветеринарные применения.

II) Разработанные методы, устройства и программные продукты для оценки биомеханических свойств мягких биологических тканей сменными **интраваскулярными** волоконно-оптическими зондами после тщательного тестирования и сертификации могут быть использованы в медицинских организациях в качестве источника дополнительной диагностической информации при принятии решений по установке стентов (как коронарных, так и потоконаправляющих), оценке пространственного позиционирования и корректности раскрытия уже установленных стентов, прогнозировании факторов риска сосудистых заболеваний, оценке целесообразности процедуры атерэктомии и пространственном позиционировании при ее проведении, выборе наиболее подходящего места для забора пробы биоматериала (интраваскулярная прицельная биопсия при миокардите, височном артериите, узелковом периартериите) и т.п.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации

Основные положения диссертации логически взаимосвязаны, а полученные в ходе исследований выводы и рекомендации тщательно обоснованы и аргументированы.

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием: современных биофизических представлений о биологических тканях и их физических свойствах; общепризнанных достижений в области микроэлектронных технологий изготовления тонкопленочных датчиков; современных подходов к точному приборостроению; передовых достижений в области цифрового детектирования физических величин в натуральных экспериментах; современных подходов к динамическому анализу изображений и систем технического зрения; передового опыта в области многомерной медицинской визуализации и разработки вычислительно эффективного программного обеспечения; общепризнанной методологии верификации и валидации результатов измерений; современных представлений о медицинской эргономике и общепринятых в медицине протоколов снижения инвазивности, а также дискомфорта.

К тому же все полученные научные и практические результаты не противоречат известным, а основные материалы диссертационной работы апробированы и докладывались автором на многочисленных Всероссийских и Международных научно-технических конференциях, симпозиумах, съездах и семинарах.

По теме диссертации автором опубликовано свыше ста печатных работ. Публикации представлены на русском и английском языках. Перечень тематических публикаций Потлова А.Ю. включает в себя: 2 монографии, 17 статей в журналах из перечня ВАК, 34 статьи в зарубежных изданиях, индексируемых базами данных «Web of Science» и «Scopus». Также соискателем по теме диссертационного исследования получены 21 патент на изобретения и полезные модели. Имеются 42 свидетельства об официальной регистрации тематических программ для ЭВМ.

Замечания по диссертационной работе

1. Вопросы, связанные с использованием иммерсионных жидкостей для снижения аберраций оптической системы, следовало рассмотреть подробнее.
2. Из текста докторской диссертации и автореферата не понятно является ли целесообразным создание и использование робототехнических комплексов для оптической когерентной эластографии сменными волоконно-оптическими зондами?

3. Биомедицинские фантомы по рисункам 3.13 и 4.12 представляют собой микрофлюидные устройства, это следовало указать в явном виде.

4. Авторский метод сдвиговой оптической когерентной вискозиметрии весьма перспективен, его целесообразно было представить не в 5-й, а в 6-й главе и рассмотреть подробнее.

5. Описанию аспектов, связанных с использованием параллельных вычислений на графических процессорах следовало уделить больше внимания.

6. Работы по омологации предложенных научно-технических решений, показанные в 2–6 главах, целесообразно было представить в отдельном пункте диссертационной работы.

Вышеуказанные замечания в основном носят рекомендательный характер, не снижают научной и практической ценности работы, не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

Заключение по диссертационной работе

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, что подтверждается наличием более чем ста печатных работ, раскрывающих основные аспекты проведенного исследования и демонстрирующих основные полученные теоретические и практические результаты. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.


Диссертационная работа Потлова А.Ю. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу в которой на основании выполненных автором исследований решена актуальная научно-техническая проблема учета заведомо сложной (как в пространстве, так и по времени) 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 ротационной 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» (технические науки). При этом, имеется соответствие пунктов научной новизны диссертационного исследования 2-му, 7-му, 8-му, 10-му, 14-му, 15-му, 19-му и 20-му направлениям исследований из паспорта вышеуказанной научной специальности 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения» (технические науки).

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» (технические науки).

Отзыв на диссертационную работу Потлова А.Ю. заслушан и одобрен на заседании кафедры биотехнических систем, протокол № 9 от «29» января 2025 г.

Заведующий кафедрой
биотехнических систем,
доктор технических наук,
профессор

 / Юлдашев Зафар Мухамедович /

Контакты ведущей организации:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

ул. Профессора Попова, д.5 литера Ф, Санкт-Петербург, 197022

Контактный телефон: (812) 234-46-51

Факс: (812) 346-27-58

E-mail: info@etu.ru

Сайт в сети «Интернет»: <https://etu.ru>




НИСЬ ЗАВЕРЯЮ
НАЧАЛЬНИК ОДС
Т.Л. РУСЯЕВА



Исполнитель: Юлдашев З.М., тел.: (812) 234-01-33, E-mail: zmyuldashev@etu.ru

С отзывом ознакомлен 06.02.25г.

 (Потлов А.Ю.)