

## ОТЗЫВ

доктора физико-математических наук, профессора

**Богатова Николая Марковича** на автореферат диссертации

**Потлова Антона Юрьевича** на тему «Методы и средства оптической когерентной эластографии мягких биологических тканей с использованием экзогенных и эндогенных деформирующих воздействий», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности

2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения»

Медицинская интроскопия и неразрушающий контроль во многом родственные понятия. В обоих случаях производится не повреждающая исследуемый объект оценка его внутреннего строения, а также процессов протекающих в нем. Как для медицинской интроскопии, так и для неразрушающего контроля областями интереса являются локальные отклонения в размерах, форме, взаимном расположении и однородности составляющих исследуемый объект структур. И самое главное, получение полезной информации в обоих случаях базируется на взаимодействии физических полей с исследуемым объектом и последующей интерпретации одного или нескольких информативных параметров. Ключевое отличие заключается в том, что неразрушающий контроль предназначен для работы с неживыми объектами и, соответственно, стандартным подходом к устранению выявленных дефектов является банальная замена непригодно объекта (например тепловой трубки для ядерного реактора) на заведомо пригодный. С живыми объектами работать сложнее. Хотя трансплантация органов и тканей давно вошла в реальную клиническую практику – все же это крайняя мера. Медицинская интроскопия нужна не только для поиска структурных изменений и функциональных нарушений в исследуемой биологической ткани, но также для подбора оптимальных терапевтических мероприятий, оценки отклика на лечебные воздействия и как система навигации при интервенционной хирургии.

В связи с вышесказанным, работы по созданию методологического, аппаратного и программного обеспечения для повышения скорости и достоверности оценки, а также последующего картирования тех или иных свойств биологических тканей заведомо актуальны, поскольку ускоряют и упрощают процесс принятия врачебных решений, к тому же снижая вероятность ошибок.

Диссертационное исследование Потлова А.Ю. направлено на развитие технологий, лежащих в основе оптической когерентной эластографии до уровня, позволяющего использовать для сканирования исследуемого биообъекта не зафиксированные эндоскопические и интраваскулярные волоконно-оптические зонды. При этом решается крупная научная проблема, связанная с компенсацией негативных эффектов сканирования с микронным пространственным разрешением. Такой уровень детализации структурных изменений и функциональных нарушений в мягких биологических тканях делает оптическую когерентную эластографию уникальным инструментальным аналогом биопсии, не требующим повреждения живых тканей. Но также, является первопричиной высокой чувствительности к объемным движениям, эффектам прилипания, не канонической геометрии сканируемого объекта, форме профиля деформирующего воздействия и т. п.

Ключевым элементом научной новизны докторской диссертации Потлова А.Ю. является идея отказа от попыток создать идеальные условия для

диагностического исследования, например: заполнив неровности внешнего контура сканируемого объекта иммерсионной жидкостью; обеспечив перпендикулярность оси сканирующего зонда сканируемой поверхности; жестко зафиксировав сканирующий зонд по двум координатам, но управляемого перемещая по третьей и т. п. Вместо этого соискателем предлагается оценивать актуальную форму профиля деформирующего воздействия с использованием гибкой тонкопленочной матрицы датчиков давления, окольцовывающей либо торцевую часть (для эндоскопических зондов), либо боковую поверхность (для интраваскулярных зондов) катетера соответствующего волоконно-оптического зонда. Принцип действия активных элементов таких датчиков связан с пьезорезистивным эффектом, т.е. со способностью каждого активного элемента независимо изменять удельное сопротивление при оказании на него деформирующего воздействия. Реконструкция динамически изменяющегося профиля деформирующего воздействия при этом организована посредством кубической интерполяции преобразованных разреженных данных с использованием триангуляции Делоне. Коррекцию артефактов движения соискатель организовал на основе геометрически обратной найденным объемным сдвигам «пересборки» массивов интерференционных сигналов, причем для робастности к спекл-паттернам вектора объемных смещений оцениваются для точек «квенча» на топологических скелетах, построенных с учетом морфологических особенностей обрабатываемых оптических изображений. При этом предусмотрен алгоритм разграничения деформирующих воздействий и объемных смещений. Оценка основных биомеханических характеристик исследуемого объекта, соответственно, адаптирована под работу с профилем деформирующего воздействия и «пересобранными» исходными данными. В частности, площадь деформирующего воздействия приравнена площади сканирования волоконно-оптического зонда, распределение деформирующей силы под нагруженной областью характеризуется профилем деформирующего воздействия, оценка абсолютных смещений комбинирует амплитудный и фазовый подходы, геометрия границ деформируемой области (по глубине) вычисляется посредством объединения проекций векторов смещения на соответствующие координатные оси.

Достоверность и практическая направленность полученных результатов сомнений не вызывают. По материалам диссертационного исследования соискателем опубликовано более 100 печатных работ, в том числе: 2 монографии, 17 статей в журналах из перечня ВАК и 34 публикации в значимых (индексируемых базами данных Web of Science и Scopus) тематических зарубежных изданиях. У соискателя имеются 21 патент Российской Федерации на изобретения и полезные модели и 42 свидетельства на программные продукты. Такой уровень публикационной активности в полной мере соответствует докторской диссертации.

Внедрение результатов диссертационного исследования в практику осуществлено соискателем 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».

С теоретической точки зрения, наиболее важны математическая модель (на стыке фотоники и биомеханики) для описания физических процессов,

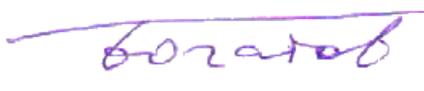
происходящих при оптической когерентной эластографии с использованием экзогенных и эндогенных деформирующих воздействий, а также авторские подходы к развитию аппарата математической морфологии и топологии применительно к динамическому анализу сильно зашумленных изображений.

По автореферату диссертационной работы диссертации Потлова А.Ю. имеются одно замечание: формулу для расчета сигнала на детекторах разработанной системы для оптической когерентной томографии и эластографии следовало развернуть, как минимум указав, что  $k$  – это волновое число.

Замечание носит характер рекомендации и не влияет на новизну, достоверность, а также обоснованность основных положений, выносимых соискателем на защиту.

Диссертационная работа А.Ю. Потлова соответствует всем актуальным на дату написания отзыва требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (согласно постановления Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года) 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».

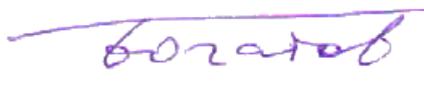
Заведующий кафедрой физики и информационных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный университет» (ФГБОУ ВО «КубГУ»), доктор физико-математических наук по специальности 01.04.10 «Физика полупроводников», профессор



/ Богатов Николай Маркович /

**28 марта 2025 года**

Я, Богатов Н.М., даю согласие на обработку моих персональных данных в документах, связанных с работой диссертационного совета 24.2.375.03.



/ Богатов Николай Маркович /

Подпись проф. Богатова Николая Марковича **удостоверяю**. Ученый секретарь Ученого совета ФГБОУ ВО «КубГУ»



/ Касьянова Екатерина Михайловна /

**Информация о месте нахождения образовательной организации:** 350040, Краснодарский край, город Краснодар, улица Ставропольская, дом 149  
**Контактный телефон:** 8 (861) 219–95–66  
**Адрес электронной почты:** physinf@phys.kubsu.ru