

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Шерстнева Евгения Павловича

"Метод реконструкции распределения коэффициента ослабления в оптической когерентной томографии", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4.

«Радиофизика».

Основным направлением диссертации Шерстнева Е.П. являются спектральная оптическая когерентная томография (ОКТ). В работе рассмотрено влияние специфического для спектральной ОКТ ослабления сигнала с глубиной на величину общего ослабления сигнала, предложен метод оценки распределения коэффициента ослабления, устойчивый к влиянию аддитивных шумов и аппаратного изменения ОКТ-сигнала, а также предложен подход к различению деформируемых сред на основании анализа изменения коэффициента ослабления при их компрессии. Общей тематикой работы является восстановление и использование локального коэффициента ослабления для улучшения ОКТ-визуализации и создания подходов к различению тканей на его основе.

Актуальность. Оптическая когерентная томография – метод визуализации, который активно применяется в медицинской диагностике. Восстановление локального коэффициента ослабления имеет значение для устранения эффекта затенения, из-за которого изображение однородно рассеивающих сред на ОКТ-изображения существенным образом зависит, как от ослабления ОКТ-сигнала, так и от конфигурации среды на тракте распространения зондирующего излучения.

Также введение локальной оценки коэффициента ослабления может быть инструментом для количественной характеристики биологических тканей, что может позволить расширить возможности ОКТ как метода диагностики.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы.

Во введении сформулированы актуальность работы, научная новизна и практическая ценность, сведения об апробации работы и личном вкладе автора, а также приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор литературы по теме исследования, включающий описание принципа работы ОКТ, основные методы восстановления рассеивающих свойств тканей по данным ОКТ, описание

аппаратного изменения сигнала с глубиной, сведения об изменении оптических свойств тканей при их деформации, а также описание основных эластографических подходов, основанных на использовании ОКТ. В главе сформулированы задачи, решению которых посвящена диссертация.

Во второй главе рассматривается задача о составлении математического описания ослабления ОКТ-сигнала, возникающего из-за особенностей регистрации сигнала в ОКТ-спектрометре, основанном на комбинированном дисперсионном элементе, который состоит из просветной дифракционной решетки и оптического корректора неэквидистантности регистрации спектральных компонент. В главе предложена аналитическая модель ослабления ОКТ-сигнала, которая учитывает влияние конечного размера единичного элемента приемного устройства, конечного размера изображения монохроматической компоненты регистрируемого излучения, а также конечную разрешающую способность дифракционной решетки и изменение дисперсионной характеристики спектрометра из-за использования корректора неэквидистантности регистрации спектра. Также в главе описана экспериментальная проверка предложенной модели, результат которой показывает ее достоверность.

В третьей главе описана разработка метода оценки распределения коэффициента ослабления. За основу в главе взят известный из литературы метод вычисления локальных значений коэффициента ослабления, основанный на модели однократного рассеяния. В главе на примере численно смоделированных сред с различными коэффициентами ослабления показано, что наличие аддитивного равномерно распределенного шума приводит к возникновению растущей с глубиной ошибки, а также занижению значений оценки по мере снижения уровня ОКТ-сигнала с глубиной. Для борьбы с этими искажениями в главе предложено применение фильтра Винера к первичной оценке коэффициента ослабления, что позволило корректировать описанные искажения. Далее в главе приводится усложнение модели численно сгенерированного сигнала путем учета аппаратного изменения сигнала с глубиной. Показано, что для типичных коэффициентов ослабления биологических тканей, аппаратное изменение сигнала оказывает влияние на расчет при существенном влиянии конфокального фактора (полуширина перетяжки зондирующего излучения от 15 до 5 мкм при центральной длине волны излучения 1300 нм) на аппаратное изменение ОКТ-сигнала с глубиной. Для этого случая предложен подход к коррекции искажений аналогичный случаю предыдущему случаю, но с более сложной оценкой составляющих фильтра Винера. Также в главе предложен подход к оценке

интеграл сигнала вне области визуализации, что позволяет устранить одно из ограничений исходного метода оценки. Предложенные подходы были протестированы на примере численного моделирования. Также в главе показано применение метода реконструкции коэффициента ослабления к ОКТ-изображениям простых сред. Отдельно проведено сравнение распределения коэффициента ослабления для однородно рассеивающего фантома с оценкой коэффициента ослабления методом аппроксимации экспериментальных данных, которое показало хорошее совпадение оценок.

В четвертой главе представлена разработка подхода к различению деформируемых сред на основании анализа изменения коэффициента ослабления при их компрессии. Для этого проведено две группы экспериментов: с контролем оказываемого давления с помощью внешнего измерительного устройства и с контролем давления на основании изменения толщины калибровочного слоя с заранее измеренной зависимостью деформации от приложенного давления. В главе показано, что величина изменения коэффициента ослабления зависит от твердости этих образцов: большее изменение наблюдалось для более мягких образцов. Для оценки величины изменения коэффициента ослабления была использована аппроксимация экспериментальных данных линейной функцией. Картирование на основе среднего коэффициента ослабления образцов и коэффициента наклона линейной аппроксимации позволило различить все исследуемые образцы.

В заключении представлены основные результаты диссертации.

Научная новизна и достоверность результатов.

К новым научным результатам диссертационного исследования следует отнести для спектральной ОКТ предложенную возможность учитывать влияние разрешающей способности дифракционной решетки и изменения дисперсии спектрометра на ослабление сигнала с глубиной; применение винеровской фильтрации для подавления шумовых эффектов непосредственно к значениям оценки коэффициента ослабления; исследования возможности дифференциации сред с различной твердостью по Шору при их компрессии с помощью анализа изменения коэффициента ослабления сред.

Валидация разработанных в диссертации моделей и подходов выполнялась на основе численных и натурных экспериментов с использованием разработанных в ИПФ РАН устройств ОКТ, для

исследований применялись образцы из искусственных и биологических материалов.

Диссертация представляет собой целостную и законченную работу, в которой рассматриваются научные задачи, имеющие теоретическое и практическое значение для сферы оптической когерентной томографии. Все результаты и положения, приведенные в работе, являются обоснованными и достоверными. Все приведенные в диссертации результаты получены либо лично диссертантом, либо при его непосредственном участии.

Достоинством диссертации является несомненная прикладная важность разработанных в ней подходов для визуализации и дифференциации биологических тканей в направлении медицинской диагностики. Визуализация биологических тканей на основе разработанного подхода в перспективе улучшит возможности интерпретации изображений для конечного пользователя ОКТ.

Диссертация написана понятным языком. Автореферат диссертации корректно отображает содержание работы.

По диссертации соискателя имеются следующие замечания.

1. В третьей главе диссертации упоминается, что оценка коэффициента ослабления остается корректной вплоть до того момента, когда уровень ОКТ-сигнала превышает уровень шума хотя бы в e раз, однако из представленного иллюстративного материала это не вполне очевидно.

2. В четвертой главе диссертации вводится понятие измеряемой деформации через величину изображаемой толщины исследуемого объекта. При этом, на изображении ОКТ протяжённость объекта вдоль оси зондирования определяется его оптической толщиной, которая зависит от его показателя преломления. Из текста диссертации не понятно, насколько правомерно такое определение для сред, показатель преломления которых может зависеть от величины продольной деформации.

3. В работе обсуждается величина изменения оптических свойств объектов при их компрессии, однако, не обсуждается природа этих изменений.

Указанные замечания не снижают общую оценку диссертации.

Основные результаты диссертации доложены на профильных международных конференциях, а также опубликованы в 9 работах, из них 5 статей – в рецензируемых журналах, индексируемых в международных наукометрических базах Web of Science и Scopus, 4 публикации – в трудах и тезисах конференций.

Таким образом, диссертация Шерстнева Е.П. «Метод реконструкции распределения коэффициента ослабления в оптической когерентной томографии» удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 25.01.2024 г.), которые предъявляются к кандидатским диссертациям, а ее автор, Шерстнев Евгений Павлович, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. «Радиофизика».

Выражаю согласие на обработку диссертационным советом моих персональных данных, связанных с защитой данной диссертации.

Официальный оппонент:

доктор технических наук по специальностям

05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств,

05.13.16 – Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях, профессор, заведующий кафедрой «Биомедицинская техника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»

Фролов Сергей Владимирович
«18» ноября 2025 г.

Подпись проф. Фролова С.В.
ЗАВЕРЯЮ, секретарь Ученого совета
ФГБОУ ВО «ТГТУ», к.т.н., доцент



Г.В. Мозгова

«18» ноября 2025 г.

Контактные данные

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет"

392000, г. Тамбов, ул. Советская, д.106/5, помещение 2

Телефон: (4752) 63-10-19, Факс: 63-06-43, E-mail: tstu@admin.tstu.ru