

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе

и цифровому развитию ФГБОУ ВО

«СГУ имени Н.Г. Чернышевского»,

доктор физ.-мат. наук, профессор

Алексей Александрович Короновский



2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

о научно-практической ценности диссертационной работы

Шерстнева Евгения Павловича на тему

«Метод реконструкции распределения коэффициента ослабления в оптической когерентной томографии», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Актуальность темы диссертации. Оптическая когерентная томография (ОКТ) – активно развивающийся метод визуализации оптически мутных сред, основанный на принципах низкокогерентной интерферометрии. Основной сферой применения ОКТ является визуализация биологических тканей с целью количественного дифференцирования патологических и здоровых тканей. Отдельным направлением развития ОКТ является определение оптических свойств тканей на основе анализа данных сигнала ОКТ. Одним из параметров, которые можно количественно оценить, является коэффициент ослабления сигнала в среде. Диссертационная работа Е.П. Шерстнева посвящена разработке метода реконструкции распределения коэффициента ослабления на основе данных оптической когерентной томографии.

Оценка распределения коэффициента ослабления тканей позволяет улучшить ОКТ-визуализацию за счет реконструкции параметра, характеризующего среду и остающегося постоянным для этой среды, вместо использования регистрируемого изображения ОКТ-сигнала, который изменяется с глубиной из-за его ослабления сигнала. Это делает диссертационную работу несомненно актуальной.

Новизна исследования и полученных выводов, сформулированных в диссертации. Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

Впервые учтено влияние разрешающей способности дифракционной решетки и изменения дисперсии спектрометра из-за использования корректора неэквидистантности на ослабление сигнала с глубиной в спектральной ОКТ.

Предложено применять винеровскую фильтрацию непосредственно к значениям оценки коэффициента ослабления для подавления шумовых эффектов и влияния аппаратного изменения сигнала на оценку.

Впервые исследована возможность дифференциации деформируемых оптически мутных сред с различной твердостью по Шору с помощью анализа изменения коэффициента ослабления при компрессии этих сред. На основе проведенного исследования предложен двухпараметрический метод дифференциации сред на основании коэффициента ослабления этих сред и параметра, описывающего величину изменения коэффициента ослабления этих сред при компрессии.

Значимость для науки и практики полученных результатов и их вклад для развития соответствующей отрасли науки.

Практическая значимость данного исследования заключается в существенном вкладе в развитие ОКТ визуализации. Разработанные в диссертации подходы позволяют существенно упростить интерпретацию ОКТ изображений. Также в работе вводится новый способ дифференциации сред, обладающих различными свойствами.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

Разработанная во второй главе аналитическая модель аппаратно-обусловленного ослабления сигнала может быть использована для оценки оптимальных параметров ОКТ-спектрометра при его разработке.

Разработанные во третьей и четвертой главах подходы к визуализации на основе оценки коэффициента ослабления и к дифференциации тканей на основе анализа изменения коэффициента ослабления при компрессии сред могут быть использованы в лабораторной и клинической практике для повышения качества и надёжности диагностических исследований.

Печатные работы, опубликованные по материалам диссертационного исследования. Основные результаты диссертации 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.

Объём и содержание работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Во введении отображена общая характеристика работы и приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор публикаций по тематике исследования. Приводится описание метода ОКТ и подходов к определению рассеивающих характеристик исследуемых сред. Отдельно выделяется подход к оценке распределения коэффициента ослабления согласно приближению однократного рассеяния и обсуждаются его недостатки. Также в этой главе рассматриваются работы по исследованию изменения оптических свойств биологических тканей при их деформации. Приводятся основные подходы к эластографическим измерениям на основе ОКТ.

Вторая глава посвящена составлению аналитического описания ослабления ОКТ-сигнала, обусловленного особенностями спектрального способа регистрации. На передний план выходит задача об устранении расхождения между экспериментальным ослаблением ОКТ-сигнала и теоретическим предсказанием ослабления в рамках общепринятой модели, которая учитывает влияние на ослабление сигнала конечных размеров единичного фотоприемного элемента и конечных размеров изображения для отдельной монохроматической компоненты спектра. Для устранения расхождения вводится учет влияния на ослабление сигнала конечной разрешающей способности дифракционной решетки и изменения дисперсионной характеристики из-за использования дополнительного корректора неэквидистантности при регистрации спектральных компонент. Экспериментальная проверка уточненной модели, которая предлагается в этой главе, показывает, что учет введенных факторов позволяет устранить расхождение между теоретическим предсказанием и экспериментальными данными.

Третья глава посвящена разработке метода определения локальных значений коэффициента ослабления с коррекцией влияния шумов и изменения сигнала, обусловленного конфокальным фактором и особенностями спектрального способа регистрации сигнала. Предложенный способ коррекции основан на применении винеровской фильтрации к первичной оценке коэффициента ослабления. В этой главе представлена верификация работоспособности предложенного подхода с использованием численного моделирования и анализа реальных ОКТ-изображений. Также в этой главе предложен подход для устранения неопределенности интеграла рассеянного сигнала для случая, когда сигнал не рассеивается полностью в пределах изображения.

Четвертая глава диссертации посвящена развитию предложенного в третьей главе метода в направлении эластографических измерений. Описано экспериментальное исследование зависимости коэффициента ослабления исследуемых сред с различными механическими свойствами от величины компрессирующего воздействия. Для оценки механических свойств экспериментальных образцов было использовано измерение твердости по шкале Шора. В главе вводится параметр наклона зависимости коэффициента ослабления от величины прикладываемого деформирующего воздействия, который выступает в качестве количественной оценки изменения коэффициента ослабления при компрессии. Величина этой количественной оценки во всех описанных эксперимента была большей для образцов с меньшей твердостью по Шору и позволяла однозначно различить образцы со схожими рассеивающими свойствами. На основании полученных результатов в главе предложен подход к различению деформируемых сред на основании двух параметров: среднего коэффициента ослабления и величины его изменения.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Обоснованность и достоверность сформулированных научных положений, выводов и рекомендаций. Все представленные результаты диссертационного исследования являются достоверными и обоснованными. Теоретические исследования и численные расчеты проведены с применением известных, проверенных ранее подходов и методов. Полученные аналитические и численные результаты хорошо согласуются между собой. Физическая трактовка полученных результатов находится в согласии с общепризнанными представлениями.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации и автореферата.

К достоинствам диссертации следует отнести комплексный и последовательный подход к решению поставленной задачи. В диссертации содержится подробный обзор литературы по тематике исследования; теоретически и экспериментально оценивается ослабление ОКТ-сигнала, обусловленное спектральным способом регистрации сигнала; разработан метод реконструкции коэффициента ослабления и предложены области применения разработанного метода. При этом в работе используются различные методы исследования, включая аналитические расчеты, численное моделирование, натурные эксперименты и обработку экспериментальных данных.

Диссертационное исследование представляет собой законченную работу, содержащую решение научных задач, имеющих как научное, так и практическое значение. Результаты и положения, выносимые на защиту, являются достоверными и обоснованными. Личный вклад диссертанта хорошо известен научной общественности и подробно описан во

введении. Все приведенные в диссертации результаты получены либо лично диссертантом, либо при его непосредственном участии. В частности, соискателем выполнены все представленные в работе численные расчёты и реализованы алгоритмы разработанных подходов. Численные расчёты выполнялись на основе оригинальных программ, созданных автором самостоятельно. Постановка экспериментов, описанных в диссертации, осуществлялась соискателем.

Аннотация правильно и полно отражает содержание диссертации.

Вместе с тем, диссертация не свободна от некоторых недостатков:

1. В диссертации используются представления ОКТ-сигнала и в линейном, и в логарифмическом масштабе. Подобная разница представлений мешает интерпретации полученных результатов. В частности, трудно соотносить величину ослабления сигнала в разных представлениях в контексте второй главы диссертации.

2. Во второй главе диссертации при формулировке результата и положения, выносимого на защиту, автор не указывает среди параметров конфигурации системы длину волны используемого излучения.

3. В тексте диссертации не обсуждается вопрос о способности поляризационных эффектов, связанных с двулучепреломлением, оказывать существенное влияние на оценку коэффициента ослабления, предложенную в третьей главе диссертации. Соответственно, не понятно, как можно подавить влияние этого фактора.

4. В третьей главе для моделирования сигнала используется закон Бугера-Ламберта-Бера, при этом в записи показателя экспоненты присутствует постоянный множитель, равный двум, физический смысл которого остаётся за рамками изложения.

5. В тексте диссертации и аннотации присутствует ряд опечаток.

Отмеченные недостатки не влияют на высокую оценку диссертационной работы в целом.

Заключение. Таким образом, можно заключить, что диссертация Е.П. Шерстнева «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.

Отзыв о научно-практической значимости диссертационной работы Шерстнева Евгения Павловича на тему «Метод реконструкции распределения коэффициента ослабления в оптической когерентной томографии», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности: 1.3.4. – Радиофизика, заслушан, обсуждён и одобрен на расширенном заседании кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО СГУ им. Н.Г. Чернышевского, протокол № 14/25 от 20 ноября 2025 года.

Отзыв составили:

Профессор кафедры оптики и биофотоники
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»
доктор физико-математических наук
(специальность 03.01.02 - Биофизика), доцент
e-mail: eagenina@yandex.ru
телефон: +7 (917) 312-59-81

Генина Элина Алексеевна

Заведующий кафедрой оптики и биофотоники
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»
доктор физико-математических наук,
профессор, член-корреспондент РАН
(специальность 01.04.03 - Радиофизика)
e-mail: tuchinvv@mail.ru
телефон: +7 (904) 241-97-10

Тучин Валерий Викторович

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» Министерства науки и высшего образования (ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» Минобрнауки России); 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83
+7 (8452) 26-16-96, rector@sgu.ru, www.sgu.ru

24 ноября 2025 г.

Подпись удостоверяю
Ученый секретарь
Ученого совета СГУ В.И. Семенова
«25» ноября 2025 г.

Подпись удостоверяю
Ученый секретарь
Ученого совета СГУ В.И. Семенова
«25» ноября 2025 г.