

ОТЗЫВ

официального оппонента Хохловой Веры Александровны
на диссертационную работу Леонова Дениса Владимировича
«Методы и средства повышения качества ультразвуковой диагностики в
медицине», представленную на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности 2.2.12.
«Приборы, системы и изделия медицинского назначения»

Актуальность темы

Увеличивающийся в последние годы интерес к совершенствованию ультразвуковой медицинской диагностики обусловлен заметным ростом технического уровня медицинской аппаратуры, программных средств, созданием новых технологий, позволяющих существенно улучшить качество получаемой информации, а также доступностью, высокой диагностической информативностью и безопасностью ультразвуковых исследований.

Поиск принципиально новых решений, позволяющих справиться с проблемами, ограничивающими области применения ультразвуковых методов медицинской диагностики, включая коррекцию аберраций и подавление артефактов доплеровских режимов, делает **актуальными** совершенствование существующих ультразвуковых методов медицинской визуализации, а также разработку новых методов обработки ультразвуковых сигналов для повышения качества получаемой информации.

Диссертационная работа Леонова Д.В. посвящена разработке методов математической коррекции информативных свойств эхо-сигналов, а также технологии создания фантомов, имитирующих акустические характеристики человеческих тканей и органов. Основное назначение фантомов — апробация новых методов визуализации и обучение медицинского персонала ультразвуковым диагностическим исследованиям и проводимым под контролем УЗИ манипуляциям. Таким образом, работа является достаточно **актуальной** как в теоретическом, так и в прикладном плане.

Научная новизна и практическая значимость работы

Основную новизну представляемой диссертационной работы можно сформулировать следующим образом. Автором были разработаны:

- новые методы обнаружения и компенсации искажений волнового фронта, применяемые для систем, работающих в режиме синтезированной апертуры;
- технология изготовления антропоморфных тренировочных фантомов, позволяющая моделировать акустические свойства тканей человека;
- имитационная модель ультразвуковой диагностической системы, предназначенная для экспериментального исследования метрологических характеристик алгоритмов обработки сигналов, используемых для построения ультразвуковых изображений в медицине.

Помимо перечисленного выше, автором предложен метод обнаружения сигналов доплеровского тракта ультразвукового прибора, отличающийся повышенной диагностической эффективностью, а также метод оценки размера рассеивателей, формирующих ультразвуковое изображение. В целом, все результаты, полученные в работе, являются **новыми** и направлены на повышение качества ультразвуковой визуализации. **Практическая ценность** работы уже получила подтверждение, ее результаты используются в производстве наукоемкой продукции, учебном процессе и клинической практике.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Полученные в работе результаты, научные положения и выводы представляются достоверными, что может быть обосновано следующим образом:

- разработанные методы и средства основываются на современных общепризнанных представлениях о распространении ультразвука в биологических средах;
- фантомы для ультразвуковой визуализации разработаны на основе рекомендаций врачей и разработчиков ультразвуковых приборов,

сформулированы с учетом современных научных знаний, представленных в публикациях в российских и зарубежных изданиях;

- математические методы и программное обеспечение улучшения качества ультразвуковых изображений разработаны на основе общепризнанного аппарата цифровой обработки сигналов, а также современных подходов к анализу медицинских изображений;

- научные идеи, реализованные в диссертации, базируются на известных биофизических данных о свойствах биологических тканей, структурированных наблюдениях медицинского персонала, современных общепризнанных достижениях в области ультразвуковой визуализации и не противоречат известным результатам.

Общая характеристика работы

Представляемая диссертационная работа Д.В. Леонова изложена на 317 страницах, содержит 7 таблиц и 102 рисунка, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы из 397 наименований и 7 документов в приложении, таких как справка об участии Д.В. Леонова в различных НИР и НИОКР и акты внедрения результатов работы в производство наукоемкой продукции, учебный процесс и клиническую практику.

Во введении обосновывается актуальность работы, сформулированы ее цели и задачи, научная новизна и практическая значимость проведенных исследований, представлены выносимые на защиту положения. Отмечается необходимость разработки новых методов повышения диагностической информативности ультразвуковых данных как за счет развития алгоритмов формирования и обработки сигналов в различных режимах ультразвуковой визуализации, так и за счет создания фантомов биотканей и органов для обучения врачей навыкам выполнения ультразвуковой визуализации и манипуляций, чтобы эффективнее использовать весь спектр возможностей современных ультразвуковых диагностических устройств.

В первой главе представлен обзор современного состояния развития ультразвуковых диагностических систем и наиболее востребованных направлений совершенствования методов ультразвуковой диагностики. Подробно рассматриваются существующие алгоритмы обработки сигналов доплеровского тракта и тракта формирования серошкального изображения. Обсуждаются влияние шумов и другие ограничения.

Во второй главе с использованием метода синтезированной апертуры разрабатывается новый подход к выявлению aberrаций волнового фронта эхо-сигналов применительно к транскраниальному УЗИ. Для выявления aberrаций предлагается использовать количественный параметр уширения луча. Предлагаются новые методы коррекции выявленных aberrаций путем аппроксимации искажений волнового фронта с использованием полиномов Лежандра либо преобразования Фурье. Эффективность предлагаемых методов исследуется на приборе Сономед-500 с использованием специально разработанных aberrаторов и датчика в виде фазированной антенной решетки.

В третьей главе представлена развитая в работе имитационная модель ультразвукового диагностического устройства с открытой архитектурой, с использованием которой создана база данных доплеровских сигналов из тракта предварительной обработки. Также анализируются особенности доплеровских сигналов в режиме исследования кровотока в присутствии шумовых артефактов мерцания. Предлагаются признаки, позволяющие отличить эхо-сигналы кровотока от артефактных сигналов и тем самым повысить диагностическую эффективность системы картирования кровотока.

В четвёртой главе развивается численный подход к оцениванию размеров неоднородностей биологической ткани на основе статистического анализа эхо-сигналов от рассеивателей, формирующих ультразвуковое изображение. Метод основан на том, что статистическое распределение амплитуд принимаемых эхо-сигналов, создающих ультразвуковое

изображение, изменяется от распределения Рэлея до распределения Райса в зависимости от соотношения между размерами области когерентности рассеянного сигнала и шириной луча. Для тестирования метода проводится серия численных экспериментов. Эта часть работы относится к области количественного ультразвука, который, в отличие от традиционной серошкальной визуализации, позволяет получить информацию о микроструктуре тканей в исследуемой области.

В пятой главе описывается технология и свойства созданных тренировочных ультразвуковых фантомов для проверки выдвигаемых в диссертационном исследовании гипотез, исследования алгоритмов улучшения визуализации и в учебных целях. При этом для создания формы фантомов используются методы 3D печати с вариацией геометрии и составляющих компонент для управления акустическими свойствами различных частей фантомов.

Основные результаты представлены в заключительном разделе диссертации.

Публикации по теме диссертации и апробация результатов работы

Содержание диссертационной работы и положения, выносимые на защиту, подробно изложены в достаточном количестве печатных работ. В автореферате приводится список наиболее значимых работ, опубликованных автором по теме диссертации, который содержит 52 публикации, включая 22 статьи в журналах из текущего перечня Высшей аттестационной комиссии, 17 патентов на изобретения и полезные модели и 5 свидетельств о регистрации программ и баз данных. Приведенные в диссертации результаты докладывались на профильных международных и всероссийских конференциях. В целом, диссертационная работа Д.В. Леонова выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне, охватывает как новые алгоритмические, так и прикладные экспериментальные разработки, написана технически грамотно и имеет несомненную как теоретическую, так и практическую значимость.

Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертационной работы

Замечания по диссертационной работе:

1. Автором работы представлен достаточно подробный обзор эволюции зарубежных и отечественных ультразвуковых диагностических систем. В целях расширения практической значимости диссертации было бы полезно дополнить этот обзор перечнем выпускаемых на сегодняшний день и используемых в клиниках современных отечественных устройств, включая системы с доступом к сырым данным либо полностью открытой архитектурой, в которые могли бы быть включены разработанные в работе алгоритмы.
2. Во второй главе работы подчеркивается, что для осуществления разработанного метода выявления аберраций необходимы два набора данных, полученных при визуализации объекта в отсутствии и в присутствии аберраций. Осуществим ли такой подход в клинических условиях? Непонятно также как можно было провести «исследование *ex vivo* с участием добровольцев и височной кости» (с. 73).
3. В диссертации представлен метод коррекции аберраций на основе полиномиальной аппроксимации и метод коррекции аберраций, использующий преобразование Фурье для оценки фазовых искажений, однако не указано, в какой ситуации лучше использовать один метод, а в какой будет предпочтительным другой. Не обсуждаются возможные ограничения разработанных методов в зависимости от соотношений поперечных размеров неоднородностей аббератора, размеров датчика, его частоты и глубины расположения зоны визуализации.
4. При анализе мерцательных артефактов при визуализации кровотока не обсуждаются возможные физические механизмы их

возникновения. В работе [209] на примере визуализации камней в почках было убедительно показано, что мерцательный артефакт является следствием присутствия газовых микропузырьков на поверхности камней. Могут ли влиять иные механизмы на проявление артефактов в рассмотренных в работе моделях?

5. Проведенные измерения акустических свойств созданных фантомов и калибровочные результаты описаны очень кратко. Не приводится форма пробных сигналов и их спектров, поэтому непонятно, как были получены частотные зависимости коэффициентов поглощения в широком диапазоне частот от 1 до 5 МГц.
6. Стоит отметить имеющиеся в диссертации стилистические орфографические погрешности. Так, выносимые на защиту положения сформулированы скорее как принято в формулах изобретения, а не как защищаемые утвердительные тезисы, отражающие ключевые новые научные результаты и выводы работы. Имеется большое количество опечаток, пропущенных букв и слов, например: шкала ХауНсфилда, артефакТов (с. 7), методов решения задачам?, негАтовность (с. 27), увеличиваетСя, П?олее низкие частоты (с.31), ультразвуККового (с.32), огибаДщей, состоавляте, посокльку (с.50) и некоторые другие.

Отмечу, что перечень моих замечаний носит преимущественно редакционный и рекомендательный характер. Замечания не являются принципиальными и не ставят под сомнение полученные автором результаты, их новизну, теоретическую и практическую значимость. Мне работа понравилась широким охватом актуальных на сегодняшний день направлений развития ультразвуковых методов в медицинской диагностике, а также разнообразием разработанных оригинальных теоретических и экспериментальных подходов.

Степень завершенности диссертационной работы

Структура работы выстроена логично, материал изложен последовательно, каждая глава органично связана с предшествующей. В работе представлены как промежуточные, так и окончательные результаты, подтверждающие достижение всех заявленных целей и полное решение поставленных задач. Это позволяет квалифицировать диссертацию как завершенное научное исследование.

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Леонова Д.В. выполнена на высоком уровне, обладает актуальностью, новизной, значимостью и высокой практической ценностью. Работа обладает внутренним единством и не противоречит известным научным результатам. Название работы хорошо согласуется с научными положениями, выносимыми на защиту. Автореферат достаточно подробно раскрывает ключевые аспекты диссертационного исследования. Тема и содержание диссертации соответствуют пунктам 1, 2, 10, 11, 14, 17, 19 и 22 паспорта научной специальности 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения» (технические науки).

Таким образом, диссертационная работа Леонова Д.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая включает в себя комплекс новых теоретически и экспериментально обоснованных решений. Представленные разработки направлены на совершенствование методов ультразвуковой медицинской диагностики, повышение точности и надежности полученных данных, а также обеспечивают возможность воспроизводимости и сопоставимости результатов различных биомедицинских исследований. Практическое применение предложенных подходов позволит повысить качество ультразвукового медицинского обследования пациентов.

На основании вышеизложенного можно заключить, что диссертационная работа Леонова Д.В. «Методы и средства повышения качества ультразвуковой диагностики в медицине» соответствует полному

набору требований, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук на основании «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а её автор, Леонов Денис Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения».

Я, Хохлова Вера Александровна, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.06. «Акустика»,
доцент кафедры акустики физического факультета ФГБОУ ВО «Московский
государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва

В.Хохлова

/ Хохлова Вера Александровна /

« 6 » января 2026 г.

Адрес: Вера Александровна Хохлова, 119991, Российская Федерация,
Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, с. 2

Телефон: +7 (495) 939-29-52, e-mail: vera@acs366.phys.msu.ru

И.о. декана физического факультета Московского государственного
университета имени М.В. Ломоносова
профессор



[Signature] / Белокуров Владимир Викторович /

С требованием ознакомлен

19.01.2026

[Signature] / Леонов Д.В.