

ОТЗЫВ

официального оппонента Сенатова Фёдора Святославовича 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 исследования

Тематика диссертации Леонова Д.В. связана с разработкой методов и средств, основанных на математической коррекции информативных свойств эхо-сигналов, а также технологии создания фантомов, повышающих качество ультразвуковых (УЗ) диагностических исследований. Тематика отвечает современным тенденциям в развитии систем медицинского назначения. Актуальность работы обусловлена ключевой ролью ультразвукового метода в современной клинической практике, его безопасностью и постоянным технологическим прогрессом. Она определяется важностью совершенствования УЗ метода медицинской диагностики и поиска новых решений для расширения сферы его применения.

Несмотря на развитие аппаратных и программных возможностей, включая новые режимы визуализации и миниатюризацию сканеров, потенциал метода сдерживается рядом фундаментальных проблем. К ним относятся: возникновение фазовых aberrаций, снижающих разрешающую способность; ограничения в точной оценке кровотока и классификации тканей; невозможность определения размеров субразрешающих рассеивателей. Актуальным направлением является совершенствование методов математической обработки сигналов для компенсации этих ограничений. Однако эффективность любых новых алгоритмов напрямую зависит от качества их проверки, для которой требуются высокоточные физические модели — фантомы. Существующий ассортимент фантомов часто не соответствует специфическим исследовательским и клиническим задачам, что определяет параллельную необходимость разработки новых технологий их создания.

Поскольку развитие методов диагностики напрямую зависит от совершенствования и разработки новых методов и средств обработки и

анализа сигналов, а также технологических процессов создания моделей для повышения достоверности медицинской диагностики, то проблемы достоверности моделей органов и тканей человека, используемых для наладки оборудования, и недостаточная эффективность обработки и коррекции сигналов в области УЗ исследований на сегодняшний день относятся к числу приоритетных. В этом контексте выбор объекта исследования — ультразвуковая медицинская диагностическая система — представляется оправданным и актуальным.

Научная новизна и практическая значимость работы

Научная новизна и практическая значимость диссертации подтверждаются разработкой ряда взаимодополняющих методов и технологии, которые можно объединить в два основных блока:

1) *Создание инструментальной базы для исследований.* Данное направление включает:

- Разработку имитационной модели УЗ-системы, обеспечивающей комплексный метрологический анализ алгоритмов на данных тракта предварительной обработки сканера, что актуально для исследований с фантомами и *in vivo*.
- Создание и научное обоснование технологии изготовления антропоморфных фантомов из новых материалов, значительно повышающей достоверность моделирования акустики биологических тканей для задач калибровки и обучения.

2) *Развитие алгоритмического аппарата обработки ультразвуковых сигналов.* В данном направлении получены следующие результаты:

- Для систем с синтезированной апертурой предложен новый метод детектирования фазовых аберраций, использующий в качестве критерия изменение среднеквадратичной ширины углового распределения интенсивности эхо-сигналов.
- Разработаны методы и алгоритмы компенсации искажений волнового фронта, реализующие коррекцию на основе как полиномиальной, так и спектральной моделей задержек.
- Создан метод селекции сигналов в доплеровском тракте, повышающий диагностическую точность цветового

картирования кровотока до 91,6% за счет учета дополнительных физических факторов.

- Предложен метод оценки размеров рассеивателей, основанный на корреляции между их физическим размером и характеристиками распределения амплитуд, позволяющий работать с объектами размером 19–69% от длительности зондирующего импульса.

Данные результаты вносят весомый вклад в теорию и практику УЗ медицинской визуализации. При этом стоит отметить, что важным достоинством работы является ориентация на практическое применение полученных результатов. Автором не только разработаны средства, реализующие метод обнаружения aberrаций и метод компенсации влияния aberrаций на качество УЗ изображения, но и разработана имитационная модель УЗ диагностической системы и устройство обнаружения сигналов от кровотока. Автором также разработан метод оценки размера рассеивателей в биологической среде, который может быть использован для определения стадий жировой болезни печени. Отдельно стоит выделить разработку фантомов тканей и органов, аналогичных по геометрии и характеристикам распространения УЗ нативным, предназначенных для использования в образовательной практике. Представляется важным и то, что в работе предложены конкретные рекомендации по подходу и алгоритму работы с фантомами в ходе обучения и повышения квалификации врачей.

Структура и оформление работы

Диссертация отличается логичной структурой и последовательным изложением материала — от теоретического обоснования до практических рекомендаций. Текст характеризуется ясностью и убедительной аргументацией. Наглядность изложения обеспечивает обширный иллюстративный материал, включающий 102 рисунка и 7 таблиц. Работа объемом 317 страниц (из них 261 страница основного текста, 44 — библиографического списка из 397 источников и 12 — приложения) содержит введение, пять глав, заключение, а также вспомогательные разделы: список обозначений и сокращений, список литературы и приложение.

Во введении диссертации обоснована актуальность развития ультразвуковой диагностики и сформулирован комплекс исследовательских

задач. Первую главу составляет анализ современного состояния и ключевых направлений совершенствования ультразвуковых диагностических систем.

Первое и второе научные положения раскрыты во второй главе диссертационного исследования. Методы обнаружения и исправления aberrаций с применением синтезированной апертуры и контура обратной связи, не требующего данных иных средств визуализации, кроме ультразвуковых, были разработаны и протестированы в различных условиях с использованием специализированных фантомов, при этом было дано теоретическое обоснование их работоспособности, подтвержденное экспериментами.

Третье и четвертое научные положения раскрыты в третьей главе диссертационной работы. Здесь приведены результаты разработки имитационной модели ультразвукового устройства, создан и исследован алгоритм повышения селективности цветового доплеровского картирования, показавший преимущество в эффективности различения типовых сигналов перед классическими методами.

Пятое научное положение, заключающееся в разработке нового метода оценки размеров рассеивателей в биологических тканях, изложено в четвертой главе. Принцип работы метода основан на установленной зависимости когерентности рассеянного сигнала от соотношения геометрии луча и неоднородностей среды и позволяет проводить достоверную оценку даже тогда, когда размер существенно меньше длины волны ультразвукового излучения.

Шестое научное положение раскрыто в заключительной главе. Здесь описана созданная автором технология изготовления антропоморфных фантомов для тестирования средств ультразвуковой визуализации и обучения медицинского персонала работе с этими средствами.

В заключении сформулированы основные выводы, полностью соответствующие решению поставленных во введении задач. Дополнительные материалы, подтверждающие результаты работы, приведены в приложении.

В целом диссертация представляет собой завершенное научное исследование. Автореферат точно и в понятной для широкого круга заинтересованных лиц форме передает суть диссертационной работы, его содержание в полной мере соответствует основным положениям диссертации. Приложенные к работе акты и справка о внедрении подтверждают практическое использование ключевых научно-технических результатов диссертационного исследования.

Оценка достоверности и обоснованности результатов, оценка апробации и уровня публикаций по теме диссертационного исследования

Диссертация выполнена на высоком экспериментальном уровне. Автор использовал современный комплекс методов УЗ медицинской визуализации. Достоверность полученных данных подтверждается их воспроизводимостью и согласованностью результатов, полученных различными методами.

Результаты, полученные в рамках диссертационного исследования, были интегрированы и апробированы в ходе выполнения ряда научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, где автор выступал в качестве ответственного исполнителя. Тематически данные проекты были сфокусированы на совершенствовании ультразвуковой диагностики (№ 123031500001-4, 123092000013-3, АААА-А20-120071090054-9, АААА-А19-119062890087-1). Разработанные решения (алгоритмическое и методическое обеспечение, фантомы) применяются в медицинских и технических университетах, в производственной деятельности специализированного центра, а также используются для оптимизации диагностических протоколов в клинических учреждениях, что подтверждает востребованность и практическую значимость проведенного исследования.

Содержание диссертационной работы, в особенности, все положения, выносимые на защиту, достаточно подробно изложены в более чем ста печатных работах соискателя. Леонов Д.В. опубликовал по материалам диссертационного исследования 1 монографию, 29 статей в журналах из перечня Высшей аттестационной комиссии, 32 публикации в сборниках тезисов докладов на известных всероссийских и международных научных конференциях, проводимых как на территории Российской Федерации, так и за рубежом, 22 публикации из перечня Scopus, 20 публикаций из перечня Web of Science, 17 патентов на изобретения и полезные модели, 2 сборника методических рекомендаций, 9 свидетельств о регистрации программ ЭВМ и баз данных.

Замечания по работе

Несмотря на несомненную научную и практическую ценность диссертации, следует отметить ряд моментов, которые могли бы повысить полноту исследования:

1. Стр. 125: в тексте указано, что "Собраны и размещены в открытом доступе по адресу

<https://mosmed.ai/datasets/ultrasounddopplertwinklingartifact/> записи цифровых радиочастотных сигналов". Та же ссылка дана на стр. 136. На момент написания отзыва по ссылкам невозможно получить доступ к записям.

2. Раздел 3.1.2.5: в качестве одного из исследуемых объектов взята древесина. Применение металлов (нержавеющая сталь, например) и полимеров обосновано и широко применяется в медицине для изготовления имплантируемых изделий, а поэтому и хорошо изучено с точки зрения медицинской визуализации. Применение же древесины, имеющей сильную вариабельность по пористости и размеру пор может вносить дополнительную неопределенность. К тому же древесина будет набухать за счет абсорбции жидкостей и менять форму. А значит и картина будет меняться в зависимости от времени сканирования. В тексте диссертации стоило бы приложить микрофотографии, полученные с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ), более детально описывающие тест-объекты.
3. Стр. 200: при 3Д-печати моделей костей FDM методом формируется слоистая структура. Варьировалась ли толщина слоя для изучения её влияния на результаты? Не ясно, может ли слоистость быть критическим ограничением метода. Существует много методов 3Д-печати, не приводящие к слоистости, и они постепенно становятся дешевле: спекание, фотополимерная печать с введенной керамикой и др.
4. Раздел 5: для имитирования костей стоило бы использовать не чистый ПЛА, а композиционных материал ПЛА/ГАП, так как гидроксиапатит (ГАП) является составляющей костной ткани. Однако, автор стремился использовать наиболее коммерчески доступные материалы, что и было продемонстрировано в диссертационном исследовании.
5. Раздел 5.1: воспроизводится ли у костей трабекулярная и кортикальная часть с иерархичностью пор и переходы между ними? Пористость костей может давать дополнительное рассеяние. Поэтому такая модель костей могла бы быть более анатомически корректной. Однако, с учетом целей исследования (тестирование методов и обучение), имеющееся приближение достаточно.
6. Раздел 5.2.2.3: из текста не ясно, оксид цинка и диоксид титана брались с частицами одного размера и морфологии? И какая

была форма: сферическая, игольчатая или другая? Это может вносить существенный вклад в вариабельность результатов. Если форма сильно анизотропная, то при определенных режимах смешивания может возникать локальное текстурирование и неравномерность.

7. Раздел 5.3.2.2: из текста не ясно, какая морфология частиц графита и металлических частиц? Также не ясно, почему выбраны разные размеры для разных наполнителей (40-80 и 200 мкм, соответственно), хотя ведется их сравнение, а оно должно явно проводиться при одном размере.
8. В тексте диссертации присутствуют опечатки, а также использование одновременно англоязычных и русскоязычных вариантов сокращений: ПЛА и PLA, ПВХ и PVC, и другие. Лучше придерживаться одного русскоязычного варианта аббревиатур.

Перечисленные замечания носят рекомендательный характер. Они не умаляют ценности и завершенности выполненной работы.

Заключение

Диссертационная работа Леонова Дениса Владимировича «Методы и средства повышения качества ультразвуковой диагностики в медицине» является самостоятельным, завершенным и значимым научным исследованием, отличающимся новизной, практической ценностью и высоким уровнем выполнения. Полученные результаты имеют важное значение как для развития систем для ультразвуковой диагностики, так и для прикладных задач медицины.

Работа Д.В. Леонова представляет собой целостное и логически завершенное исследование, выводы которого согласуются с существующими научными представлениями. Она отвечает критериям п. 9 положения ВАК РФ «О порядке присуждения научным и научно-педагогическим работникам ученых степеней и присвоения научным работникам ученых званий», предъявляемым к докторским диссертациям: является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные решения, обеспечивающие повышение точности ультразвуковой медицинской диагностики, воспроизводимости и сопоставимости результатов

биомедицинских исследований, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Диссертация Леонова Дениса Владимировича отвечает требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, представляемым на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.12 «Приборы, системы и изделия медицинского назначения». Автор диссертации, Леонов Денис Владимирович, заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.12 «Приборы, системы и изделия медицинского назначения».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
Директор Института Биомедицинской инженерии
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский технологический
университет «МИСИС»

Сенатов Фёдор Святославович



«12» января 2026

Тел.: 7(916)1956160, e-mail: Senatov@misis.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:
1.3.8 – Физика конденсированного состояния

119049, г. Москва, Ленинский пр., д. 4, стр. 1,
НИТУ МИСИС
Тел.: +7 495 955-00-32, kancela@misis.ru

Подпись доктора физико-математических наук Сенатова Фёдора
Святославовича заверяю:

Проректор по безопасности и общим вопросам НИТУ МИСИС

Исаев Игорь Магомедович



С отзывом согласен
15.01.2026
Денис Д.В.