

«Утверждаю»

Проректор по научной работе  
федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования

«Тамбовский государственный  
технический университет»

доктор технических наук, профессор

Муромцев Дмитрий Юрьевич



### **Отзыв ведущей организации**

федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

на диссертационную работу

Леонова Дениса Владимировича

«Методы и средства повышения качества

ультразвуковой диагностики в медицине»,

представленную на соискание учёной степени

доктора технических наук по специальности

2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения»

### **Актуальность и практическая значимость темы исследования**

В диссертационной работе Леонова Дениса Владимировича исследуются проблемы, сдерживающие развитие ультразвуковой медицинской диагностики, и пути их решения. Формируется общая концепция совершенствования ультразвуковой диагностики и исследуются аспекты, связанные: а) с ограничением качества фокусировки в неоднородных средах распространения ультразвуковых волн; б) с нехваткой инструментов и данных для наладки оборудования, создания и отладки алгоритмов, обучения специалистов и искусственного интеллекта в ультразвуковой диагностике; в) с несовершенством алгоритмов

обработки сигналов кровотока; г) с потерей информативности при анализе эхо-сигналов в ультразвуковой диагностике.

Актуальность работы обуславливается отличительными особенностями ультразвуковых сканеров в сравнении с другими средствами визуализации, а именно, портативностью, доступностью и широким спектром исследуемых органов и диагностируемых заболеваний, и, следовательно, распространенностью. С момента широкого внедрения ультразвуковой диагностики в медицину многие исследователи работали над её совершенствованием, создавали новые диагностические режимы, сообщающие дополнительную диагностическую информацию и улучшающие визуализацию. Однако до сих пор остаются нерешенными задачи. К таким задачам относятся разработка реалистичных моделей органов и тканей человека, а также разработка методов фокусировки ультразвуковых полей в неоднородных средах, классификации сигналов доплеровского тракта, классификации тканей по размеру структурных элементов. Решению этих проблем и посвящено диссертационное исследование Леонова Дениса Владимировича.

### **Структура диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка используемой литературы.

Введение содержит обоснование актуальности исследования, анализ современного состояния проблемы, постановку цели и задач, описание методологической базы, а также формулировку научной новизны, практической значимости и положений, выносимых на защиту.

В главе 1 представлен аналитический обзор современных тенденций в развитии ультразвуковой диагностической аппаратуры с выделением ключевых направлений для совершенствования данных систем.

В главе 2 разработан перспективный метод выявления аберраций волнового фронта с применением синтезированной апертуры. Для количественной оценки аберраций, манифестирующих в виде фазовых и амплитудных искажений при прохождении ультразвука через неоднородные среды, предложен параметр на основе среднеквадратичной ширины углового спектра интенсивности. Для коррекции искажений предложены два метода, реализуемые с помощью одного датчика с фазированной решеткой: один основан на аппроксимации волнового фронта полиномами Лежандра, обеспечивающей ортогональный базис, адекватно описывающий распространение волн от точечного отражателя; второй использует быстрое преобразование Фурье для высокоскоростной коррекции. Верификация

методов проведена в эксперименте с размещением датчика на поверхности контрольного фантома через искажающую прослойку.

В главе 3 описана имитационная модель ультразвукового устройства и представлены результаты анализа сигналов доплеровского тракта. На основе исследования радиочастотных сигналов, зарегистрированных при сканировании тканеимитирующего фантома и специализированных математических моделей, разработанных для изучения артефактов, методами статистической и корреляционной обработки предложены новые математические решающие правила. Эти правила позволяют дифференцировать полезные сигналы от кровотока и артефактные сигналы, что повышает диагностическую эффективность систем цветового картирования.

В главе 4 развит метод оценки размеров рассеивателей в биологических тканях через анализ статистических характеристик ультразвукового сигнала. Теоретической основой метода является зависимость статистического распределения данных от соотношения между размерами области когерентности и шириной луча. Разработанный метод позволяет эффективно идентифицировать когерентную составляющую в эхо-сигнале и используется как инструмент для количественной оценки размеров неоднородностей. Перспективы метода, подтвержденные численным моделированием, включают раннюю диагностику патологий за счет повышения информативности ультразвукового исследования.

В главе 5 описано создание фантомов для верификации гипотез и алгоритмов исследования. Разработан ряд способов, основанных как на 3D-печати на жидкокристаллическом принтере виртуальных моделей мягких тканей, где акустические свойства контролируются плотностью и диаметром волокон фотополимерной смолы, так и на комбинации 3D-печати методом послойного наплавления с литьевым формованием композитного материала на силиконовой основе с добавками для имитации акустических и механических свойств тканей и патологических образований. Ценность разработанной технологии состоит в создании инструментов, которые применимы не только при разработке и тестировании новых методов ультразвуковой визуализации, но и при обучении и повышении квалификации врачей ультразвуковой диагностики.

Основные выводы сформулированы в заключении диссертационной работы.

#### **Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов исследования**

Решенные в ходе исследования задачи позволили успешно достигнуть поставленной цели, направленной на разработку методов и программных средств, основанных на математической коррекции информативных свойств эхо-сигналов, а также технологии со-

здания фантомов. В результате чего удалось повысить качество диагностики за счёт более эффективной коррекции аберраций, применения нового метода маскирования сигналов кровотока, предложенного метода оценки размеров рассеивателей, созданной имитационной модели и разработанной технологии создания фантомов.

Достоверность подтверждается применением общепризнанного математического аппарата и экспериментальными проверками. Основные положения и результаты представлены в достаточной степени на международных и всероссийских научно-технических конференциях, в ведущих рецензируемых научных журналах и подтверждены патентами на изобретения и полезные модели, свидетельствами о регистрации баз данных и программ для ЭВМ.

### **Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки**

Результаты диссертационной работы Д.В. Леонова имеют высокую степень значимости для развития ультразвуковой визуализации в медицине, для создания и совершенствования современных сканеров и алгоритмов цифровой обработки сигналов.

В области обнаружения и коррекции аберраций волнового фронта научная новизна заключается в разработке метода обнаружения искажений, основанного на анализе изменения угловой ширины распределения интенсивности эхо-сигналов в системах с синтезированной апертурой, с использованием нового количественного критерия на основе среднеквадратичной ширины. Для компенсации искажений предложены методы коррекции с помощью поправочных задержек, оцененных посредством разложения по полиномам Лежандра и с использованием преобразования Фурье. Практическая значимость подтверждена созданием средства, реализующего данный метод, которое позволяет снизить среднеквадратичную ширину углового распределения интенсивности на 60%, что напрямую повышает чёткость и диагностическую ценность ультразвукового изображения.

В области моделирования и обработки доплеровских сигналов научная новизна состоит в создании имитационной модели ультразвуковой диагностической системы, обеспечивающей работу с сигналами тракта предварительной обработки, и разработке метода обнаружения сигналов доплеровского тракта, учитывающего ранее неиспользуемые факторы. Практическая значимость выражается в разработке устройства обнаружения сигналов кровотока с диагностической эффективностью до 91,6%. Созданная модель и база радиочастотных сигналов предоставляют исследовательскому сообществу инструмент для разработки и тестирования новых алгоритмов без необходимости доступа к дорогостоящему оборудованию.

В области количественной оценки тканевых структур научная новизна заключается в предложении метода оценки размеров рассеивателей в биологических тканях, основанного на установленной взаимосвязи между физическим размером частицы и статистическими характеристиками амплитуд эхо-сигналов. Практическая значимость заключается в потенциале применения данного метода для неинвазивной диагностики патологий, таких как оценка стадии жировой болезни печени, что открывает путь к созданию новых средств количественной ультразвуковой диагностики.

В области фантомного моделирования научная новизна состоит в разработке и научном обосновании технологии изготовления антропоморфных фантомов с использованием новых композитных материалов, достоверно имитирующих акустические свойства биологических тканей. Практическая значимость подтверждается созданием ряда фантомов, которые используются для тестирования разработанных в диссертации методов, а также для обучения и повышения квалификации врачей ультразвуковой диагностики, обеспечивая стандартизацию контроля качества аппаратуры.

#### **Сведения об апробации и внедрении результатов**

Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, были успешно апробированы и внедрены автором в рамках выполнения ряда научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИР и НИОКР), где он выступал в качестве ответственного исполнителя: НИОКР "Разработка конструкции, технологии изготовления и производство фантомов для повышения информативности ультразвуковых диагностических исследований" (№ ЕГИСУ: 123031500001-4), 2023–2025 гг; НИР "Научное обоснование разработки и применения тканезквивалентных материалов для создания тест-объектов в области лучевой диагностики" (№ ЕГИСУ: 123092000013-3), 2023–2025 гг; НИР "Совершенствование медико-технологических и организационных аспектов ультразвуковой диагностики" (№ ЕГИСУ: АААА-А20-120071090054-9), 2020–2022 гг; НИР "Совершенствование методологии и медико-организационных аспектов ультразвуковой диагностики" (№ ЕГИСУ: АААА-А19-119062890087-1), 2017–2019 гг.

Ключевые результаты внедрения: 1) организовано серийное производство специализированных учебных фантомов на базе ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», которые активно применяются для отработки практических навыков ультразвуковой визуализации и выполнения диагностических манипуляций; 2) разработанные алгоритмы, фантомы и методические материалы интегрированы в учебные процессы ведущих медицинских и технических вузов, включая ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» и ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России; 3) результаты работы нашли применение в клинической практике таких медицинских

учреждений, как ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России и ГБУЗ «ГКБ им. С.С. Юдина ДЗМ», что способствовало повышению качества ультразвуковой диагностики.

### **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации**

Разработанные решения для повышения качества ультразвуковой визуализации обладают значительным потенциалом внедрения в медицинских, научных и образовательных организациях. Ключевой задачей для реализации этого потенциала является создание отечественного производства соответствующих систем. В число российских компаний, обладающих необходимыми технологическими, производственными и финансовыми ресурсами для организации такого производства, входят: холдинг «Швабе» (Госкорпорация «Ростех»), концерн «Радиоэлектронные технологии» (КРЭТ), Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», а также ряд специализированных предприятий, таких как ООО «Заслон», АО «НПФ «Биосс», НПАО «Научприбор», АО «Уральский приборостроительный завод», АО «НИИ точных приборов» и ООО «Мосрентгенпром».

Результаты диссертационного исследования Леонова Д.В. обладают значительным практическим потенциалом и рекомендуются к внедрению.

— Средство обнаружения и компенсации аберраций волнового фронта может быть интегрировано в новые модели ультразвуковых сканеров в качестве встроенной функции автоматической калибровки и контроля качества изображения в реальном времени. Это позволит существенно повысить чёткость и диагностическую информативность изображений, особенно при работе со сложными пациентами. Целесообразно использовать метод и устройство обнаружения сигналов кровотока для модернизации доплеровских модулей, что обеспечит повышение точности визуализации сосудов и снизит количество нежелательных артефактов.

— Имитационная модель ультразвуковой системы и электронно-цифровая база медицинских сигналов может быть успешно применена в качестве платформы для разработки и тестирования новых алгоритмов обработки сигналов, а также для проведения виртуальных экспериментов в учебном процессе при подготовке инженеров и медицинских физиков. Целесообразно внедрить фантомы, разработанные по созданной технологии, в программы практической подготовки врачей ультразвуковой диагностики для отработки навыков на высокореалистичных моделях, максимально приближенных по акустическим свойствам к биологическим тканям.

Перспективным представляется внедрение метода определения размеров рассеивающих элементов в рамках научных исследований и пилотных клинических проектов, направленных на разработку новых критериев для количественной оценки паренхиматозных органов и раннего выявления диффузных патологий (например, фиброза печени).

#### **Замечания по диссертационной работе**

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. Не уделено достаточного внимания вопросу влияния шумов на устойчивость работы метода коррекции аберраций;
2. Целесообразно было бы уточнить, как наилучшим образом реализовать систему коррекции аберраций на практике, возможно ли ее применить к другим методам визуализации, например, фотоакустическим.
3. В модели распространения сигнала указано, что скорость распространения ультразвуковой волны постоянная во всех точках среды распространения, тогда как на практике это условие не выполняется.
4. В описании результатов исследования не показано, насколько хорошо предложенный метод оценки размеров рассеивателей работает в различных клинических сценариях.
5. Разработанный метод коррекции аберраций сравнивается с методом на основе дополнительного акустического источника, но не приводится сравнение с другими известными методами коррекции аберраций.

Вышеуказанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают научной и практической ценности работы, а также не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

#### **Заключение по диссертационной работе**

Диссертационная работа Леонова Дениса Владимировича выполнена на актуальную тему, подготовлена на высоком уровне, оформлена качественно и обладает внутренним единством. Диссертационное исследование выполнено автором самостоятельно, что подтверждается значительным числом публикаций (более 100), в которых раскрываются основные аспекты проведенного исследования и демонстрируются основные полученные теоретические и практические результаты. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа Леонова Дениса Владимировича представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, 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.

Материалы диссертации полностью соответствуют паспорту специальности 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения». Положения научной новизны работы соответствуют пунктам 1, 2, 10, 11, 14, 17, 19, 22 паспорта специальности.

Диссертация соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а соискатель Леонов Денис Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения».

Диссертационная работа Леонова Д.В. и отзыв были рассмотрены и единогласно одобрены на заседании кафедры «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». Присутствовало 12 человек, из них 4 доктора наук. Протокол №3 от 20 ноября 2025 года.

Заведующий кафедрой

«Биомедицинская техника»

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

д.т.н., профессор

Фролов Сергей Владимирович.

20.11.2025

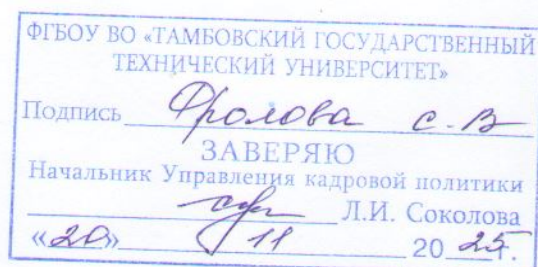
Доктор технических наук по специальностям 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств, 05.13.16 – Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях.

Сведения об организации:

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,

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

тел.: (4752) 63-10-19, официальный сайт: <https://tstu.ru> e-mail: [tstu@admin.tstu.ru](mailto:tstu@admin.tstu.ru).



С отрабо... 04.12.2025  
Леонов Д.В.