

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА**  
**24.1.0029.01 (Д002.034.01) НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО**  
**ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ**  
**ИНСТИТУТ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**  
**РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИАП РАН), Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
**ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение Диссертационного совета от «11» февраля 2026 г. № 2

о присуждении Зыковой Лидии Александровне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методов и средств ультразвуковой кардиографии малых биологических объектов *in vivo*» по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики принята к защите 19.11.2025 г, протокол № 16, Диссертационным советом 24.1.029.01 (Д002.034.01) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН), 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д.31-33, лит. А, приказ от 02.11.2012 № 714/нк.

Соискатель: Зыкова Лидия Александровна, 1995 года рождения, в 2019 г. окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана по специальности/направлению 12.04.02 «Оптотехника». Диплом магистра № 107731 0266338, выдан 01.07.2019.

Зыкова Лидия Александровна обучалась в аспирантуре с 27.09.2019 г. по 27.06.2023 г. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук (НТЦ УП РАН) по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики.

С 2023 года по настоящее время Зыкова Лидия Александровна работает младшим научным сотрудником в лаборатории высокочастотных ультразвуковых методов НТЦ УП РАН.

Диссертация выполнена в НТЦ УП РАН.

**Научный руководитель:** Титов Сергей Александрович, доктор технических наук, старший научный сотрудник лаборатории наноградиентной оптики, магнитных материалов и структур НТЦ УП РАН.

#### **Официальные оппоненты:**

1) **Братченко Иван Алексеевич**, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник НОЦ «Фундаментальная и прикладная фотоника. Нанофотоника» ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта» представил на диссертацию и автореферат **положительный отзыв**, в котором содержатся следующие замечания:

1. В работе указано, что исследования сердечно-сосудистой системы проводились на рыбах на ранних стадиях развития. Для оценки новизны разработанного метода хотелось бы понимать, проводились ли ранее аналогичные исследования сердечно-сосудистой системы у рыб, в частности с применением высокочастотной акустической микроскопии (20-200 МГц).
2. В работе описано, что для экспериментальной оценки погрешности определения скорости кровотока разработанный стенд был протестирован на регулируемом потоке суспензии дрожжей, выступающей в качестве фантома крови. Возникает вопрос, почему для валидации метода измерения скорости кровотока у живых организмов был выбран именно этот тестовый объект?
3. Обнаружение аритмии у эмбрионов представляет собой значимый экспериментальный результат, демонстрирующий эффективность разработанной методики. Однако он не нашел отражения в положениях, выносимых на защиту. Возможно, было бы целесообразно включить его в список основных результатов.
4. Ни в тексте диссертации (Глава 2), ни в таблице 1 с характеристиками разработанного экспериментального стенда не указаны параметры приемного ультразвукового тракта, такие как полоса частот, коэффициенты усиления и шума.
5. На Рис. 4.16 было бы желательно показать на диаграммах области, соответствующие описываемым в тексте фазам сердцебиения.

2) **Вольнский Максим Александрович**, кандидат технических наук, доцент, директор научно-образовательной лаборатории «Техническое зрение» ФГАОУ ВО «НИУ ИТМО» (Университет ИТМО) представил на диссертацию и автореферат **положительный отзыв**, в котором содержатся следующие замечания:

1. В работе используется термин «малые биологические объекты» без четкого определения. Для лучшего понимания необходимо дать более четкое определение данного понятия, указав характеристики исследуемых объектов (например, размеры, массу или видовую принадлежность) в контексте ультразвуковой кардиографии.
2. В работе исследование выполнено на конкретном модельном объекте – рыбе *Danio rerio*. При этом в тексте отсутствует обсуждение вопроса о масштабировании

- разработанного метода и средств на биологические объекты с существенно иными геометрическими параметрами. Было бы полезно рассмотреть применимость разработанного метода к объектам с большими габаритами.
3. В разделе, посвященном обработке ультразвуковых сигналов (Глава 4), недостаточно полно обоснован выбор параметров используемых частотных фильтров (фильтров верхних и низких частот). Было бы полезно рассмотреть более детально критерии выбора фильтров.
  4. В Главе 4 показано, что метод позволяет измерять проекцию вектора скорости крови на акустическую ось. Таким образом ориентация организма значительно влияет на результаты измерения, однако в работе выбору ориентации не уделено достаточного внимания.
  5. На стр. 62 выбрано неудачное обозначение  $f_0$  для частоты сердечных сокращений (формула 3.11), так как это обозначение использовалось ранее для центральной частоты преобразователя.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (НИУ МИЭТ) в своем **положительном заключении**, утвержденном проректором по научной работе, кандидатом технических наук, Дроновым Алексеем Алексеевичем, подписанном Герасименко Александром Юрьевичем, доктором технических наук, доцентом, заместителем директора по научной работе Института биомедицинских систем НИУ МИЭТ и Савельевым Михаилом Сергеевичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом Института биомедицинских систем НИУ МИЭТ указала, что диссертация Зыковой Л.А. соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2, и отметила следующие замечания:

1. В работе в Главе 4 для определения пространственно-временного распределения скорости кровотока автором используется корреляционный метод. Несмотря на то, что в тексте приводятся ссылки на литературные источники, следовало бы более подробно описать детали цифровой обработки применительно к регистрируемым сигналам.
2. В работе заявлена точность синхронизации ультразвуковых и оптических данных порядка  $\pm 10$  мс. Насколько данная точность является достаточной для корректного анализа быстрых фаз сердечного цикла при частоте сердцебиения 150–200 уд/мин.

3. При исследованиях *in vivo* на ранних стадиях развития возможно наличие микродвижений всего организма, не связанных напрямую с сердечной деятельностью. Следует уточнить, компенсируется или фильтруется в работе вклад движений объекта в зарегистрированные ультразвуковые сигналы.
4. Каким образом в экспериментальной части диссертационной работы обеспечивалась и оценивалась воспроизводимость полученных результатов. В тексте диссертации отсутствует явное указание числа исследованных биологических объектов. Проводилась ли регистрация и анализ параметров сердечной деятельности (скорости кровотока, амплитуды движения стенок камер, фазовых характеристик сердечного цикла) на выборке из нескольких рыб *Danio rerio* одинакового возраста и стадии развития.
5. В тексте диссертации встречается ряд опечаток. Например:
  - на стр. 41, 5-ая строка сверху, следует заменить слово «добить» на «добиться»;
  - на стр. 30 на Рис. 1.6(a), отображающем графическое представление А-скана  $s(x_m, y_m, z)$ , горизонтальная ось подписана неверно. Следует ось  $x$  переименовать в ось  $z$ .
  - на стр. 20 и 66 встречается непонятая формулировка, например; «начала записи  $m$  – скана М-скана».

Соискатель имеет **26 (двадцать шесть)** опубликованных работ, в том числе 1 патент на полезную модель и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, из них по теме диссертации **26 (двадцать шесть)**, в том числе **8 (восемь)** индексируется в базах SCOPUS и Web of Science или входят в Перечень ВАК.

К наиболее значительным работам, отражающим основное содержание диссертации, относятся 8 (восемь) публикаций, опубликованных в журналах, состоящих в Перечне ВАК:

1. Titov, S.A. Estimation of blood flow velocity in the heart of fish larvae using autocorrelation of echocardiographic signals / S.A. Titov, **L.A. Zykova** // Journal of Biomedical Photonics and Engineering. – 2025. – V. 11. – № 2. – P. 1-7.
2. Machikhin, A.S. Combined optical and acoustic microscopy for noninvasive cardiovascular studies using zebrafish model / A.S. Machikhin, S.A. Titov, C.-C. Huang, A.V. Guryleva, A.B. Burlakov, **L.A. Zykova**, V.I. Bukova // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2025. – V. 74. – P. 1-13.
3. Титов, С.А. Стенд для исследования сердечно-сосудистой системы *Danio rerio* методами акустической и оптической микроскопии / С.А. Титов, А.Н. Богаченков,

- Л.А. Зыкова, А.В. Гурылева, А.Б. Бурлаков, А.С. Мачихин // Физические основы приборостроения. – 2023. – Т. 12. – № 2. – Р. 87-93.
4. Zykova, L.A. Using a high-frequency ultrasound scanner to study the cardiovascular system of a Danio rerio embryo / L.A. Zykova, A.B. Burlakov, S.A. Titov et al. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2023. – V. 87. – № 4. – P. 528-531.
  5. Titov, S.A. High-frequency ultrasound echocardiography of heart activity of Danio rerio embryo / S.A. Titov, L.A. Zykova, C.C. Huang, et al. // IEEE Xplore: 2022 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). – 2022. – P. 1-4.
  6. Titov, S.A. Estimation of blood flow velocity in the heart of Danio rerio embryo using correlation of ultrasonic signals / S.A. Titov, L.A. Zykova, A.B. Burlakov et al. // IEEE Xplore: International Conference on Information, Control, and Communication Technologies (ICCT). – 2022. – P. 1-4.
  7. Бурлаков, А.Б. Высокочастотная сонография сердечно-сосудистой системы в раннем развитии низших позвоночных / А.Б. Бурлаков, С.А. Титов, Л.А. Зыкова // Актуальные вопросы биологической физики и химии. – 2021. – Т. 6. – № 3. – Р. 454-460.
  8. Machikhin, A.S. Development of ultrasound echocardiography technique for imaging of the cardiovascular system of small organism in vivo / A.S. Machikhin, L.A. Zykova, A.B. Burlakov, et al. // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – V. 2127. – № 1. – P. 012061.

На автореферат диссертации поступили следующие отзывы:

1) От Базулина Евгения Геннадиевича, доктора технических наук, заместителя Генерального директора по научно-техническим вопросам, начальника системного отдела ООО «Научно-производственный центр неразрушающего контроля «ЭХО+» (г. Москва).

Замечание:

По рис. 4 и по описанию к нему довольно сложно достоверно понять принцип синхронизации информации по акустическому и оптическому каналам. Он намного понятнее изложен в заключении, в подразделе под номером четыре. Это несколько досадно, так как решение задачи синхронизации одна из важных задач диссертационной работы.

2) От Субочева Павла Владимировича, кандидата физико-математических наук, заместителя заведующего отделом радиофизических методов в медицине по научной работе ФГБНУ ФИЦ «Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН» (ИПФ РАН) (г. Нижний Новгород)

Замечания:

1. Каковы были параметры акустической линзы (фокусное расстояние, числовая апертура) и материал пьезопреобразователя, поскольку эти характеристики определяют пространственное разрешение преобразователя? Не вносила ли резонансная характеристика преобразователя искажения в данные при длительной записи, и какова была длительность зондирующего ультразвукового импульса?
2. Каковы были значения интенсивности ультразвукового излучения в фокусе преобразователя в ходе экспериментов; соблюдались ли при этом безопасные для живого организма пороги воздействия; какой типичный уровень соотношения сигнал-шум наблюдался от структур биологического объекта?

3) От Лужнова Петра Вячеславовича, кандидата технических наук, доцента, заместителя заведующего кафедрой БМТ2 («Медико-технические информационные технологии») ФГАОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана» (г. Москва).

Замечания:

1. При описании разработанного экспериментального стенда указывается, что частота кадров оптического блока составляет до 75 кадров в секунду, что обеспечивает достаточное качество регистрации, однако никаких количественных параметров, подтверждающих данное утверждение, не приводится.
2. При раскрытии особенностей совместной регистрации ультразвуковых и оптических сигналов приводится процедура определения сердечного ритма по сигналу фотоплетизмографии. Эта процедура включает в себя нахождение моментов времени, совпадающих с определенной фазой сердечного ритма. В работе нигде не поясняется, о каких фазах идет речь, а также не приводятся диапазоны возможных длительностей этих фаз на периоде одного кардиоинтервала, хотя именно эти данные позволили бы судить о точности, предложенной в алгоритме синхронизации.
3. Разработанный метод апробирован на исследованиях рыбки *Danio rerio* (данио-рерио). Было бы логичным обозначить перспективу развития предложенного метода для исследований других организмов, а также представить возможные ограничения метода по размерам и анатомическим особенностям исследуемых биологических объектов.

4) От Мазура Михаила Михайловича, доктора технических наук, старшего научного сотрудника, начальника лаборатории ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ») (Московская обл., г. Солнечногорск, поселок Менделеево).

Замечание:

В разделе, посвященном анализу морфологии сердца, упоминается определение положения стенок и размеров камер по результатам низкочастотной фильтрации ультразвуковых данных, как показано на рис. 5. Хотелось бы уточнить, каким образом производилась идентификация границ стенок сердца на этих изображениях.

5) От Браже Надежды Александровны, кандидата биологических наук, ведущего научного сотрудника Лаборатории общей биофизики Биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

Замечания:

1. В работе метод синхронизации, основанный на выделении сигнала фотоплетизмографии (ФПГ) из оптических данных, разработан и апробирован на прозрачных объектах ранних стадий развития (эмбрионы и личинки *Danio rerio*). Существует ли возможность или потенциальные ограничения применения метода для более взрослых, слабо прозрачных или непрозрачных модельных объектов, у которых оптический доступ к области сердца может быть существенно затруднен.
2. В работе указано, что выбор области для регистрации ФПГ-сигнала привязан к зоне максимальной активности сердца. Было бы полезно рассмотреть применимость именно этой зоны, а также проанализировать возможность использования для синхронизации сигналов, зарегистрированных в других областях организма (например, в хвостовой артерии или крупных сосудах).

6) От Банина Евгения Петровича, кандидата технических наук, научного сотрудника лаборатории полимерных материалов отдела нанобиоматериалов и структур Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (г. Москва).

Замечания:

1. В автореферате упоминается использование анестезии, но не рассматривается влияние самой анестезии на результаты исследования. Изменяется ли характерное время

процесса относительно ситуации нормального функционирования сердца эмбриона без анестезии?

2. Некорректная формулировка на странице 10 автореферата (абзац 1) "В связи с этим возникает проблема регистрации быстропротекающих нестационарных объектов, таких как работающее сердце".
3. Рисунок 4(д). Стрелки обозначают графики только для желудочка (2). Скорее всего, нижний график (синий) должен быть построен для предсердий (1).
4. Как влияет оптическая прозрачность (ее вариация от образца к образцу) объекта исследования на результаты синхронизации по данным фотоплетизмографии? Требуется ли перекалибровка при исследовании нескольких эмбрионов с небольшими отличиями в оптической прозрачности? Какие эмбрионы можно считать «достаточно» оптически прозрачными для исследования, а какие нет (границы применимости метода для различных типов эмбрионов)?

**7) От Мальцева Дмитрия Игоревича, кандидата биологических наук, научного сотрудника Группы редокс-биологии ГНЦ ФГБУН РФ «Институт Биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН» (г. Москва).**

Замечания:

1. Описание преимуществ и недостатков применяемых методов визуализации (оптических и ультразвуковых), о которых говорится в Главе 1, могло бы быть представлено более систематизировано, например, в виде сводной таблицы.
2. В тексте встречаются опечатки и незначительные стилистические неточности.

**8) От Казакова Василия Ивановича, кандидата технических наук, доцента, заведующего лабораторией Кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (г. Санкт-Петербург).**

Замечания:

1. На рис. 3 (стр. 11) наблюдается несоответствие начала системы координат на схематическом изображении режимов акустической визуализации (верхние рисунки) и на соответствующих итоговых изображениях (нижние рисунки);
2. На рис. 5(в) (стр. 14) для повышения информативности рекомендуется дополнительно обозначить пунктирной линией временной профиль, соответствующий карте кровотока для выбранной пространственной координаты.

9) От Архинова Александра Викторовича, доктора физико-математических наук, профессора Высшей инженерно-физической школы ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (г. Санкт-Петербург).

Замечание:

В автореферате указано, что в работе разработаны алгоритмы обработки ультразвуковых сигналов для оценки скорости кровотока. Вместе с тем из представленного материала не в полной мере следует, в чем заключается специфика и новизна указанных алгоритмов по сравнению с известными и широко применяемыми методами ультразвуковой обработки сигналов на основе двумерной автокорреляции.

**Все отзывы на автореферат диссертации положительные.**

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается их большим опытом работы в областях ультразвуковой и оптической микроскопии, биомедицинского приборостроения, исследований сердечно-сосудистой системы биологических объектов, а также методов цифровой обработки сигналов, что подтверждается публикациями, в которых рассматриваются вопросы, связанные с тематикой диссертационного исследования соискателя.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**предложен** комбинированный метод исследования сердечной деятельности малых биологических объектов, таких как эмбрионы и личинки *Danio rerio* на ранних стадиях развития, основанный на синхронной регистрации ультразвуковых и оптических сигналов;

**разработан** экспериментальный стенд, предназначенный для исследования деятельности сердца живых организмов, в котором используется высокочастотный ультразвуковой сканер совместно с инвертированным оптическим микроскопом, что позволяет одновременно регистрировать ультразвуковые и оптические изображения организма;

**предложен** новый метод синхронной регистрации ультразвуковых данных, записанных асинхронно в разных пространственных точках исследуемого сердца, с фазами сердечного ритма, определенными по видеоданным;

**разработаны** алгоритмы обработки сигналов, которые позволили оценить параметры сердечной деятельности, включая пространственно-временное распределение скорости кровотока в сердце размером примерно 100–300 мкм, а также отслеживать динамику движения сердечных стенок в зависимости от времени и фазы сердечного цикла;

**показана** возможность длительного исследования сердечной деятельности малых биологических объектов на ранних стадиях развития с помощью разработанного метода и экспериментального стенда;

**описана** возможность оценки влияния различных внешних факторов (химических, физических, биологических) на функциональное состояние и формирование сердца.

**Теоретическая значимость** исследования обоснована тем, что:

**предложен** метод неинвазивного исследования сердечной деятельности модельных организмов *in vivo*, обеспечивающий одновременную регистрацию ультразвуковых и оптических данных;

**подтверждена** возможность синхронизации асинхронно регистрируемых ультразвуковых данных с фазами сердечного ритма на основе сигнала фотоплетизмографии;

**разработаны** алгоритмы цифровой обработки ультразвуковых сигналов, позволяющие выделять и анализировать как высокочастотные (кровоток), так и низкочастотные (движение стенок сердца) компоненты;

**показана** возможность неинвазивного длительного мониторинга сердечной деятельности у организмов с размерами сердца порядка 100–300 мкм в течение нескольких часов.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

1. Разработаны и внедрены в исследовательскую практику комбинированный экспериментальный стенд и метод неинвазивной ультразвуковой кардиографии *in vivo* малых организмов.

**Практическое применение:** Экспериментальный стенд и метод предназначены для проведения комплексных исследований сердечно-сосудистой системы низших позвоночных (в частности, эмбрионов и личинок рыбы *Danio rerio*) на ранних стадиях развития *in vivo*. Они позволяют оценивать морфологию сердца, регистрировать динамику кровотока и анализировать его реакцию на внешние воздействия.

**Преимущество:** Сочетание высокочастотного ультразвукового сканера (50–100 МГц) с инвертированным оптическим микроскопом позволяет получать синхронизированные данные структуры сердца с пространственным разрешением 20 мкм и временным разрешением до 1 мс. Это обеспечивает возможность функциональной диагностики у организмов с размерами сердца 100–300 мкм, что недостижимо для стандартных клинических ультразвуковых сканеров.

2. Разработан и реализован метод синхронной регистрации данных, обеспечивающий временное согласование ультразвуковых и оптических сигналов с погрешностью  $\pm 10$  мс.

**Практическое применение:** Метод обеспечивает временное согласование ультразвуковых сигналов, записанных последовательно в разных точках сердца, с фазами сердечного цикла, определяемыми по сигналу фотоплетизмографии. Это необходимо для корректного учета временных соотношений сигналов, измеренных в разных областях сердца.

**Преимущество:** Метод позволяет с погрешностью  $\pm 10$  мс синхронизировать данные, что достаточно для анализа фаз сердечного цикла с типичной длительностью около 300 мс. Метод разработан для работы с малыми биологическими объектами на ранних стадиях развития и является неинвазивным.

3. Разработаны алгоритмы цифровой обработки сигналов для количественной оценки параметров сердечной деятельности.

**Практическое применение:** Алгоритмы позволяют регистрировать пространственно-временные карты скорости кровотока (в диапазоне  $\pm 25$  мм/с), измерять размеры сердечных камер (60–120 мкм) в зависимости от фазы цикла.

**Преимущество:** Применение методов частотной фильтрации и корреляционного анализа обеспечивает надежное разделение сигналов от движущихся клеток крови и от стенок сердца. Разработанные алгоритмы реализованы в виде зарегистрированной программы для ЭВМ, что делает методику воспроизводимой и удобной для применения в исследовательской работе.

Полученные в ходе выполнения работы результаты представляют интерес для научных и образовательных организаций, занимающихся разработкой биомедицинских приборов и исследованиями в области сердца, таких как:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение науки высшего образования «МГУ имени М.В. Ломоносова», Биологический факультет (г. Москва). Использование результатов диссертационной работы подтверждено соответствующим Актом;
2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН» (ИБВВ РАН) (Ярославская обл., Поселок Борок);
3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Южный научный центр РАН» (ЮНЦ РАН) (г. Ростов-на-Дону);

4. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации «Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук» (г. Москва);
5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН» (НТЦ УП РАН) (г. Москва).

**Оценка достоверности результатов исследования выявила**, что научные положения, выводы и результаты, содержащиеся в диссертации, подтверждаются использованием признанных, апробированных и обоснованных физических методов, комплексным характером выполненных экспериментов и расчетов с использованием лицензионных программных пакетов, а также воспроизводимостью полученных экспериментальных данных. Достоверность экспериментальных данных обеспечена использованием метрологически поверенного оборудования. Результаты эксперимента хорошо согласуются с теоретическими оценками.

Основные результаты докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. 16-ая Международная научно-техническая конференция «Оптические методы исследования потоков» ОМИП–2021, 28 июня – 02 июля 2021 г. (Москва, Россия);
2. XVI международная научная конференция «Актуальные вопросы биологической физики и химии. БФФХ–2021», 19–23 сентября 2021 г. (Севастополь, Россия);
3. IV Международная научная конференция «Наука будущего – наука молодым, 17–20 ноября 2021 г. (Москва, Калининград, Россия);
4. V Международная конференция «Информационные технологии и технические средства управления» (ICST–2021), 4–7 октября 2021 г. (Астрахань, Россия);
5. XXXII Всероссийская школа-семинар «Волновые явления: физика и применения» имени профессора А.П. Сухорукова, 6–11 июня 2021 г. (Можайск, Россия);
6. XXV Международная научная конференция «Волновая электроника и инфокоммуникационные системы», 30 мая – 3 июня 2022 г. (Санкт-Петербург, Россия);
7. VI Международная конференция «Информационные технологии и технические средства управления» (ICST–2022), 3–7 октября 2022 г. (Астрахань, Россия);
8. XXXIII Всероссийская школа-семинар «Волновые явления: физика и применения» имени профессора А.П. Сухорукова, 5–10 июня 2022 г. (Можайск, Россия);

9. Выставка-семинар «Современные приборы для физических исследований», 21 декабря 2022 г. (Москва, Россия);
10. XVII Международная научно-техническая конференция «Оптические методы исследования потоков» ОМИП–2023, 26–30 июня 2023 г. (Москва, Россия);
11. XXIV съезд физиологического общества им. И.П. Павлова, 11–15 сентября 2023 г. (Санкт-Петербург, Россия);
12. 16-ая Международная конференция «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации» (ARMIMP–2023), 9–12 октября 2023 г. (Суздаль, Россия);
13. XXVII международная научная конференция «Волновая электроника и инфокоммуникационные системы», 3–7 июня 2024 г. (Санкт-Петербург, Россия);
14. 17-ая Международная конференция «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации» (ARMIMP–2024), 23–26 сентября 2024 г. (Суздаль, Россия);
15. XVIII Международная научно-техническая конференция «Оптические методы исследования потоков» ОМИП–2025, 30 июня – 4 июля 2025 г. (Москва, Россия).

**Личный вклад соискателя:**

- Анализ литературных источников по теме диссертации.
- Разработка экспериментального стенда, в котором совмещена ультразвуковая система визуализации с высоким пространственным разрешением и инвертированный оптический микроскоп.
- Организация и проведение экспериментальных исследований на живых организмах.
- Разработка алгоритмов обработки ультразвуковых и оптических данных, предназначенных для визуализации сердца исследуемых объектов.
- Анализ и интерпретация полученных оптических и ультразвуковых данных.
- Подготовка научных публикаций по тематике исследования.
- Представление результатов работы на конференциях.

На заседании 11 февраля 2026 года Диссертационный совет принял решение присудить **Зыковой Лидии Александровне** ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 15 докторов наук, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав

совета, дополнительно введены в разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
Диссертационного совета  
д.т.н., профессор

В.Е. Курочкин

Ученый секретарь  
Диссертационного совета  
д.ф.-м.н.

А.Л. Буляница

Дата оформления заключения

14 февраля 2026 г.

М.П.

