

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Зыковой Лидии Александровны «Разработка методов и средств ультразвуковой кардиографии малых биологических объектов *in vivo*», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики

Диссертационная работа посвящена разработке метода ультразвуковой кардиографии малых биологических объектов. Исследования на модельных организмах, таких как эмбрионы рыбы данио-рерио, крайне актуальны благодаря их малым размерам, быстрому развитию, прозрачности и доступности для генетического анализа. Это позволяет изучать наследственные связи и влияние лекарственных и патогенных факторов на развитие объекта в течении жизни и в ряду поколений. Для визуализации процессов *in vivo* традиционно применяются оптические методы. Однако они сталкиваются с ограничениями: рассеянием света, низкой контрастностью внутренних структур и потенциально повреждающим воздействием контрастирующих агентов или интенсивного излучения. Перспективной альтернативой является высокочастотная (20–200 МГц) ультразвуковая микроскопия, обеспечивающая неинвазивную объемную визуализацию с высоким пространственным разрешением. Ключевой проблемой такого метода является низкая скорость сканирования, не позволяющая одновременно регистрировать сигнал во всех точках объекта, что ограничивает его применение для исследования динамических процессов. Задача, решаемая в данной работе, заключалась в разработке комбинированного подхода, который интегрирует ультразвуковую и оптическую микроскопию для синхронизации точечных ультразвуковых данных с сердечным ритмом на основе оптического сигнала. Это обеспечивает корректную визуализацию динамики сердечной деятельности у эмбрионов данио-рерио и имеет важное значение для кардиологических исследований.

В работе представлен аналитический обзор оптических и ультразвуковых методов для визуализации биологических объектов *in vivo*. Раскрыты преимущества высокочастотной ультразвуковой микроскопии для решения задач визуализации структур малого масштаба (100–300 мкм) у модельных организмов.

Работа отличается рядом новых научных результатов. К ним относится разработанный экспериментальный стенд, комбинирующий ультразвуковой и оптический методы, что позволяет проводить визуализацию сердца малых организмов в динамике за счет синхронизации данных. Также стоит отметить разработанные алгоритмы обработки ультразвуковых данных, которые позволяют не только осуществлять визуализацию, но и получать важные количественные параметры, такие как пространственно-временное распределение скорости кровотока, временные зависимости размеров и формы сердечных камер и стенок сердца

Результаты работы имеют существенную практическую значимость для кардиологических исследований, в частности – для изучения развития сердца у биологических моделей под воздействием внешних факторов. Разработанная методика позволяет проводить неинвазивный, длительный мониторинг сердечной деятельности, что открывает возможности для тестирования лекарственных препаратов, оценки токсикологического воздействия и изучения врожденных патологий развития сердечно-сосудистой системы.

К работе есть вопросы относительно характеристик ультразвукового преобразователя:

- 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?
- 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?

Отмеченные замечания не снижают положительного мнения о проделанной в диссертации работе. Автореферат дает полное представление о содержании диссертации. Работа выполнена на высоком научном уровне. Ее результаты прошли апробацию в виде публикаций в рецензируемых журналах (8 статей в изданиях, рекомендованных ВАК и/или входящих в международные базы цитирования Web of Science и Scopus). Кроме того, по материалам диссертации получены 1 патент на полезную модель и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы неоднократно докладывались на всероссийских и международных научных конференциях.

Диссертационная работа «Разработка методов и средств ультразвуковой кардиографии малых биологических объектов *in vivo*» отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Зыкова Лидия Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Я, Субочев Павел Владимирович, даю свое согласие на обработку диссертационным советом моих персональных данных, связанных с защитой данной диссертации.

Заместитель заведующего отделом радиофизических методов  
в медицине по научной работе ИПФ РАН,  
кандидат физ.-мат. наук по специальности 1.3.7 – Акустика  
Субочев Павел Владимирович  
13.01.2026 год



Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН)  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46  
Телефон: +7 904 399-79-16  
Адрес электронной почты: pavel@ipfran.ru

Подпись П.В. Субочева удостоверяю.  
Ученый секретарь ИПФ РАН  
кандидат физико-математических наук



И. В. Корюкин