

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.111.01,**  
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова  
Российской академии наук, по диссертации на соискание ученой степени  
кандидата наук.

аттестационное дело N \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 21 марта 2025 г., № 1

**О присуждении Шамсутдиновой Елизавете Сергеевне, гражданке  
России, ученой степени кандидата физико-математических наук.**

Диссертация на тему: **«Исследование физических свойств жидкостей и  
их фазовых переходов в твердое состояние при помощи акустических волн»**  
принята к защите 10 января 2025, протокол № 1, диссертационным советом  
24.1.111.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А.  
Котельникова Российской академии наук  
(ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН) (125009, Москва, ул. Моховая, д.11, корп.7)  
(приказ Рособнадзора о создании совета № 2397-1776 от 07.12.2007 г.; приказ  
Минобрнауки РФ о продлении деятельности совета № 75/нк от 15.02.2013 г.)

Соискатель Шамсутдинова Елизавета Сергеевна 1996 года рождения в  
2020 г. закончила Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Саратовский национальный  
исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» с  
отличием с присвоением квалификации Магистр по направлению подготовки  
11.04.04 «Электроника и наноэлектроника».

С октября 2020 г. по сентябрь 2024 г. Шамсутдинова Елизавета Сергеевна  
обучалась в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Института радиотехники и электроники им.  
В.А.Котельникова Российской академии наук по специальности 1.3.8 – «Физика  
конденсированного состояния». Справка о сдаче кандидатских экзаменов  
выдана в 2024 году Отделом аспирантуры, докторантуры и стажировки  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института  
радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук.

В настоящее время Шамсутдинова Е.С. работает в лаборатории № 173  
«Акустоэлектронные процессы в твердотельных структурах» Федерального  
государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и  
электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А.  
Котельникова РАН) в должности младшего научного сотрудника.

Работа выполнена в лаборатории № 173 «Акустоэлектронные процессы в  
твердотельных структурах» ФГБУН Институт радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН.

**Научный руководитель: Кузнецова Ирен Евгеньевна**, доктор физико-  
математических наук, доцент, Профессор РАН, заместитель директора по  
научной работе ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, главный научный сотрудник  
лаборатории № 173 «Акустоэлектронные процессы в твердотельных  
структурах».

**Официальные оппоненты:**

**Дамдинов Баир Батуевич**, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры общей физики Института инженерной физики и радиоэлектроники ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет».

**Петронюк Юлия Степановна**, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории акустической микроскопии ФГБУН Институт биохимической физики имени Н.М.Эмануэля Российской академии наук.

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов" Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ТИСНУМ), **в своем положительном отзыве**, утвержденном исполняющим обязанности директора Федерального государственного бюджетного учреждения "Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов" Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», доктором физико-математических наук, профессором Бланком Владимиром Давыдовичем, подготовленном и подписанным доктором физико-математических наук, профессором, заведующим лабораторией физической акустики и акустоэлектронных устройств, главным научным сотрудником НИЦ «Курчатовский институт» – ТИСНУМ Сорокиным Борисом Павловичем, **указала**, что диссертация Шамсутдиновой Елизаветы Сергеевны «Исследование физических свойств жидкостей и их фазовых переходов в твердое состояние при помощи акустических волн» является законченным научным исследованием и удовлетворяет пп. 9-14 «Положения о присуждении степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям физико-математического профиля, а ее автор, Шамсутдинова Е.С., **достойна** присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

В отзыве отмечено, что диссертационная работа представляет собой теоретическое и экспериментальное исследование, проведенное на высоком научном уровне, и обладает значительной научной и практической значимостью.

Основное содержание и тема диссертации соответствуют паспорту научной специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния (п.1 – Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств упорядоченных и неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и вантовые жидкости, стекла различной природы, дисперсные и вантовые системы).

В отзыве указаны следующие замечания:

1. Стр. 46. Табл. 1.3. В таблице представлены результаты по акустической чувствительности волн Лэмба в пластинах различной ориентации из ниобата или танталата лития на разных частотах. Однако неясно, каким модам Лэмба и

какой частоте соответствуют эти данные, так как они не идентифицированы: отсутствуют номера мод и их типы – симметричные или антисимметричные.

2. Стр. 78. П. 2.1. В данном разделе приводятся аналитические формулы, описывающие влияние вязкости и электропроводности жидкости на параметры распространения моды  $SH_0$  в пластине ниобата лития. В соотношении (2.11) и далее используется диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_{11}^{pl}$  в пластине. Известно, что в сильных пьезоэлектриках, таких как ниобат лития, необходимо различать  $\epsilon_{11}^T > \epsilon_{11}^S$ , измеренные для "свободного" и "зажатого" образцов соответственно. На низких частотах менее 1 МГц в ниобате лития  $\epsilon_{11}^T \sim 80$ , на высоких (более 100 МГц) – работает  $\epsilon_{11}^S \sim 40$ . Из текста диссертации неясно, учитывалось ли такое различие.

3. Глава 3. Интерпретацию экспериментальных результатов акустических исследований по определению температур кристаллизации и плавления воды и водных растворов следовало бы провести с учетом литературных данных по фазовым диаграммам исследованных систем.

4. Стр. 40, 43. Всюду по тексту автор использует не принятое в России обозначение десятичного знака – точку. Иногда это приводит к трудности восприятия. Например, на стр. 40 приводится значение скорости волны  $v = 14.093$  м/с. Это 14,093 м/с или, что вероятнее, 14093 м/с? Аналогично на стр. 43 дано значение скорости волны  $v_0 = 11.42273$  м/с.

5. Стр. 67. Дана ссылка на рисунок 1.26, должна быть ссылка на рис. 1.25.

6. Стр. 69 – 71. Повторение абзаца.

7. Стр. 28. Неудачное выражение: **Напряжения** смещения... Речь идет о компонентах упругих смещений парциальных волн.

8. Стр. 81, 82. Система соотношений (2.23) – (2.26) идентична системе (2.27) – (2.30).

9. Стр. 32. Рис. 1.7. Отсутствует упомянутая в подписи калибровочная кривая для акустической волны 49,74 МГц на воздухе.

10. Список литературы в диссертации оформлен не в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.

Основные результаты диссертационной работы изложены в 10 работах, в том числе 7 статей – в журналах, вошедших в Перечень изданий, рекомендованный ВАК и индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus, и 3 статьи, опубликованных в трудах российских конференций. Публикации по материалам диссертации отражают основные результаты диссертационной работы.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Anisimkin V., Kolesov V., Kuznetsova A., Shamsutdinova E., Kuznetsova I. An Analysis of the Water-to-Ice Phase Transition Using Acoustic Plate Waves // Sensors. – 2021. – V. 21. – N. 3. – P. 919, DOI: 10.3390/s21030919.

2. Анисимкин В.И., Кузнецова И.Е., Шамсутдинова Е.С. Особенности детектирования электрических характеристик проводящих жидкостей с помощью нормальных акустических волн // Радиотехника и электроника. – 2022. – Т. 67. - №8. - С. 807-815, DOI: 10.31857/S0033849422080022 (английская версия:

Anisimkin V.I., Kuznetsova I.E., Shamsutdinova E.S. Specific Features of Detection of Electric Characteristics of Conductive Liquids Using Normal Acoustic Waves // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2022. – V. 67. – N. 8. – P. 1022 – 1029, DOI: 10.1134/S1064226922080022).

3. Smirnov A., Anisimkin V., Voronova N., Shamsutdinova E., Li P., Ezzin H., Qian Zh., Ma T., Kuznetsova I. Multimode design and piezoelectric substrate anisotropy use to improve performance of acoustic liquid sensors // Sensors. – 2022. – V. 22. – N. 19. – P. 7231, DOI: 10.3390/s22197231.

4. Anisimkin V., Shamsutdinova E., Li P., Wang B., Zhu F., Qian Zh., Kuznetsova I. Selective Detection of Liquid Viscosity Using Acoustic Plate Waves with In-Plane Polarization // Sensors. – 2022. – V. 22. – N. 7. – P. 2727, DOI: 10.3390/s22072727.

5. Шамсутдинова Е.С., Анисимкин В.И., Фионов А.С., Смирнов А.В., Колесов В.В., Кузнецова И.Е. Совершенствование методов исследования электрофизических и вязкостных свойств жидкостей // Акустический журнал. – 2023. – Т. 69. - №1. - С. 56-62, DOI: 10.31857/S0320791922600238 (английская версия: Shamsutdinova E. S., Anisimkin V. I., Fionov A. S., Smirnov A. V., Kolesov V. V., Kuznetsova I. E. Improvement of methods for studying the electrophysical viscous properties of liquids // Acoustical Physics. – 2023. - V. 69. - N. 1. - P. 87–92, DOI: 10.1134/S1063771022700531).

6. Smirnov A., Anisimkin V., Shamsutdinova E., Signore M. A., Francioso L., Zykov K., Baklaushev V., Kuznetsova I. Acoustic Waves in Piezoelectric Layered Structure for Selective Detection of Liquid Viscosity // Sensors. – 2023. – V. 23. – N. 17. – P. 7329, DOI: 10.3390/s23177329.

7. Anisimkin V.I., Voronova N.V., Shamsutdinova E.S., Smirnov A.V., Datsuk E.R., Kashin V.V., Kolesov V.V., Filippova N.V., Kotsyurbenko O.R., Kuznetsova I.E. Determination of acoustic properties of paraffin oil mixed with activated coal nanoparticles or SPAN80 using only BAW time delay measurement // Sensors and Actuators A: Physical. – 2024. – V. 379. – P. 115893, DOI: 10.1016/j.sna.2024.115893.

*Результаты диссертации опубликованы в следующих трудах российских конференций:*

8. Шамсутдинова Е.С., Смирнов А.В., Кузнецова И.Е. Бесконтактное влияние электропроводности жидкости на характеристики SH0-волны // Труды XXXVI Сессии РАО, г. Москва, 21-25 октября 2024. -2024. -С. 637, DOI: 10.34756/GEOS.2024.17.38908.

9. Анисимкин В.И., Кузнецова И.Е., Шамсутдинова Е.С. Особенности измерения электрофизических свойств проводящих жидкостей с помощью акустических волн Лэмба высших порядков // Труды XXXV Сессии РАО, г. Москва, 13-17 февраля 2023 г. – 2023. – С. 592, DOI: 10.34756/GEOS.2023.17.38501.

10. Шамсутдинова Е.С., Анисимкин В.И., Фионов А.С., Колесов В.В., Кузнецова И.Е. Исследование физических свойств жидкостей электроакустическим методом // Труды XXXIV Сессии РАО, г. Москва, 14-18 февраля 2022 г. – 2022. – С. 763-770, DOI: 10.34756/GEOS.2021.17.38156.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На автореферат диссертации поступили отзывы:

- Из Института математики, механики и информатики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» от доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника Глушкова Евгения Викторовича. Отзыв положительный. Замечаний по автореферату нет.
- Из акционерного общества «ФОМОС-МАТЕРИАЛЫ» от кандидата физико-математических наук, инженера-технолога Базалевской Светланы Сергеевны. Отзыв положительный. (Замечания: 1. Отсутствует детальное описание экспериментов по измерению величины полных вносимых потерь акустического сигнала. 2. Что значит «слабые пьезоэлектрические свойства кварца?»).
- Из общества с ограниченной ответственностью «БУТИС» от доктора физико-математических наук, заместителя генерального директора по научной работе – главного конструктора Сеницыной Татьяны Викторовны. Отзыв положительный. Замечаний по автореферату нет.
- Из ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» от доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Солдатова Евгения Сергеевича. Отзыв положительный. Замечаний по автореферату нет.

#### **Обоснование выбора официальных оппонентов и ведущей организации:**

**Дамдинов Баир Батуевич**, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.07 – Физика конденсированного состояния), доцент, профессор кафедры общей физики Института инженерной физики и радиоэлектроники ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», является специалистом в области исследования вязкоупругих свойств жидкостей с помощью акустики.

**Петронюк Юлия Степановна**, кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.06 – Акустика), ведущий научный сотрудник лаборатории акустической микроскопии ФГБУН Институт биохимической физики имени Н.М.Эмануэля Российской академии наук, является заслуженным специалистом в области акустической микроскопии.

Официальные оппоненты широко известны своими достижениями в данных отраслях науки, имеют многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонируемой диссертации.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов" Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ТИСНУМ) известно своими разработками и исследованиями в области создания новых материалов, технологией получения монокристаллов алмаза (особочистых, легированных и полупроводниковых). В стенах НИЦ «Курчатовский институт» – ТИСНУМ ежегодно проходит международная конференция «Углерод: фундаментальные проблемы науки». Кроме того, в НИЦ «Курчатовский

институт» – ТИСНУМ ведутся теоретические и экспериментальные исследования акустических волн различных типов в пьезоэлектрических структурах. Многочисленные публикации в рецензируемых отечественных и международных научных изданиях свидетельствуют о способности сотрудников научного центра адекватно оценить результаты, представленные автором для защиты.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:** обнаружены акустические волны, распространяющиеся в пластинах YZ, YX LiNbO<sub>3</sub>, ST,X, ST,X+90 SiO<sub>2</sub> и 36YX, 36YZ LiTaO<sub>3</sub> и структурах Si/ZnO, Si/AlN, обладающие эллиптической поляризацией в плоскости звукопровода, при этом у данного типа волн отсутствует нормальная к поверхности звукопровода компонента механического смещения. Показано, что с помощью этих волн возможно измерение вязкости жидкости без влияния её электрических свойств на получаемые данные. Разработаны методы контроля характеристик различных жидкостей и методы регистрации фазового перехода жидкость – лед, основанные на использовании объемных акустических волн и волн в пьезоэлектрических пластинах. Разработан бесконтактный метод измерения электропроводности жидкости, основанный на использовании акустической волны нулевого порядка с поперечно-горизонтальной поляризацией в пластине YX ниобата лития.

**Теоретическая значимость исследования:** Теоретически обнаружена и экспериментально подтверждена возможность существования, как в пьезоэлектрических пластинах, так и в многослойных структурах на их основе, акустических волн с механической поляризацией в плоскости пластины и минимальной компонентой механического смещения, нормальной к поверхности звукопровода. Данный факт позволяет предложить эти волны для реализации акустических датчиков с высокой избирательной чувствительностью к вязкости без влияния перекрестных факторов, таких как температура и электропроводность. Теоретической значимостью также обладают результаты исследования свойств акустических волн в пьезоэлектрических пластинах, находящихся в контакте с жидкостью, свойства которой изменяются в процессе фазового перехода первого рода жидкость-лед.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики:** Предложенные в рамках диссертационной работы Шамсутдиновой Е.С. методы позволяют проводить исследования жидкостей с минимальными объемами образцов (менее 1 мл), что важно для работы с редкими, дорогими или ограниченными по доступности материалами. Полученные результаты могут быть использованы для контроля технологических жидкостей в машиностроении, автомобилестроении и нефтепереработке. Разработанные акустические методы также, позволяют решать прикладные задачи, связанные с контролем оледенения авиационных и морских конструкций, улучшением прогнозирования ситуативных изменений агрегатного состояния жидкостей, что критически важно для предотвращения техногенных катастроф в климатически нестабильных регионах.

**Оценка достоверности результатов исследования:** Для исследования свойств суспензий на основе вазелинового масла использовался хорошо

известный акустический метод на основе продольных объемных акустических волн. Теоретические и экспериментальные исследования в диссертационной работе не противоречат друг другу. В качестве теоретических расчетов распространения акустических волн в пьезоэлектрических пластинах использовались хорошо известные методы: теория возмущения и решение граничной задачи методом матрицы передачи.

Достоверность представленных в диссертации результатов обусловлена использованием широко известных методов измерения характеристик акустических сигналов, подтверждается их воспроизводимостью, надежностью примененных методов исследования и обработки данных. Полученные результаты не противоречат устоявшимся представлениям, приведенным в научной литературе, а дополняют их. Полученные результаты были признаны научной общественностью при обсуждениях на специализированных конференциях и опубликованы в рецензируемых научных журналах.

**Личный вклад соискателя:** Автором были проведены все теоретические исследования, представленные в диссертации. Ею проведено планирование и постановка всех экспериментов. Экспериментальные данные получены либо самим автором, либо совместно с соавторами работ, опубликованных по теме диссертации.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. На все заданные в ходе заседания вопросы Шамсутдинова Е.С. дала аргументированные ответы.

На заседании 21 марта 2025 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, развивающей представления о взаимодействии акустических волн различных типов с жидкостями в широком интервале температур, в том числе при фазовых переходах первого рода, а также за вклад в совершенствование акустических методов исследования различных материалов, присудить Шамсутдиновой Е.С. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования участвующие в заседании члены диссертационного совета в количестве 14 человек, из которых 3 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из общего числа 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя диссертационного совета, доктор физико-математических наук, академик РАН

С.А. Никитов

И.О. Ученого секретаря диссертационного совета, доктор физико-математических наук

А.Р. Сафин



«21» марта 2025 г.