

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Дамдинова Баира Батуевича,

на диссертационную работу Шамсутдиновой Елизаветы Сергеевны на тему  
«ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ И ИХ  
ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ТВЕРДОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ПОМОЩИ  
АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности

1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»

### Общая характеристика работы

В последние годы активно проводятся работы в области создания различных композитных материалов, которые впоследствии используются для создания различных двигателей и устройств, используемых в машиностроении, автомобилестроении, кораблестроении и т.д. Многие из этих устройств работают в контакте с различными технологическими жидкостями, такими как топливо, смазочные жидкости, масло, электролиты и т.д. Очевидно, что взаимодействие подобных жидкостей с композитными материалами, из которого изготовлены вышеупомянутые устройства, приводит к их деградации и медленному разрушению. Таким образом, в технологические жидкости попадают микро- и наночастицы вышеуказанных материалов. Это приводит к возникновению различного типа суспензий и взвесей, и в целом к изменению свойств жидкостей, что в свою очередь может привести к поломке данных устройств. Поэтому контроль свойств технологических жидкостей в новых условиях является важной и актуальной задачей. Для осуществления наиболее надежного контроля используются акустические сенсоры.

Акустические методы открывают широкие возможности для неразрушающего исследования жидких сред с помощью регистрации изменений параметров акустических волн, таких как амплитуда и фаза. Очевидно, что для разработки подобных устройств необходимо иметь возможность проводить теоретический анализ взаимодействия акустических волн с жидкостью. Для этого необходимо знать не только материальные параметры пьезоэлектрических пластин, в которых распространяются акустические волны, но и параметры анализируемых жидкостей.

Особый интерес представляют исследования распространения акустических волн в пьезоэлектрических структурах, содержащих жидкости с переменной вязкостью, электропроводностью и плотностью. Взаимодействие акустических волн с дисперсными частицами в жидкости и влияние температуры на параметры их распространения актуальными направлениями современной физической акустики. Более того, акустические методы позволяют анализировать фазовые переходы жидкая среда – лед в режиме реального времени, включая процесс кристаллизации, что имеет большое значение для фундаментальных исследований и решения прикладных задач в области авиации и судостроения.

Таким образом, исследование взаимодействия акустических волн различных типов с жидкими средами и разработка методов контроля их фазового перехода в

твердое состояние представляет собой значимую научную задачу, имеющую как фундаментальное, так и прикладное значение. Развитие акустических методик диагностики жидкостей позволит не только расширить существующие подходы к исследованию сложных жидкостных систем, но и создать новые технологии, способствующие совершенствованию сенсорных систем и методов контроля физических свойств жидкостей.

Диссертационная работа Шамсутдиновой Е.С. посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию взаимодействия объемных акустических волн с вязкими неполярными жидкостями и суспензиями, а также взаимодействию акустических волн в пьезоэлектрических пластинах с различными классами жидкостей, включая неполярные и полярные вязкие диэлектрические жидкости, невязкие электропроводящие водные растворы хлоридов. Это позволило определить физические свойства исследованных жидких сред. В работе также исследовано влияние фазовых переходов твердое тело – жидкость на свойства акустических волн в пьезоэлектрических пластинах.

Диссертация состоит из введения, трех глав и списка использованной литературы.

**Во введении** рассмотрена актуальность заявленной темы, проведен обзор существующих акустических датчиков. Определены цели и задачи исследования, а также сформулированы ключевые научные положения, выносимые на защиту. Приведены обоснования научной новизны и практической значимости результатов, а также их потенциал для внедрения в современные технологии.

**Первая глава** посвящена исследованию вязких и электрофизических свойств жидкостей и суспензий при помощи акустических волн. Рассмотрены принципы акустической диагностики жидкостей, механизмы распространения акустических волн в жидкостях и суспензиях или в контакте с ними. Большая часть главы посвящена исследованию взаимодействия акустических волн в пьезоэлектрических пластинах с вязкими жидкостями и суспензиями. В работе впервые была найдена волна Лэмба с акустической поляризацией в форме эллипса, лежащего параллельно поверхности звукопровода. Компонента механического смещения нормальная к поверхности звукопровода в таком случае практически отсутствовала. Такая поляризация волны обеспечивала наибольшую чувствительность акустических параметров к вязкости жидкости. Разработана методика, с помощью которой определены вязкости созданных, ранее неизвестных суспензий.

Также было рассмотрено влияние электропроводности жидкости на параметры акустических волн в пьезоэлектрических пластинах. Показано, что определение электропроводности жидкости возможно только в случае слабоменяющихся вязкости, плотности и диэлектрической проницаемости. Иначе возникает перекрестное влияние параметров жидкости, при котором невозможно отделить вклад электропроводности от других параметров.

В первой же главе представлена известная методика определения температурных свойств жидкости с помощью продольных объемных акустических волн. Были получены ранее неизвестные данные для суспензий на основе вазелинового масла с наполнителями микрочастиц активированного угля и поверхностно-активного вещества.

**Вторая глава** посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию акустических волн в структуре «пьезоэлектрическая пластина – воздушный зазор – жидкость». Данное направление работ было обусловлено выводом о невозможности селективного определения электропроводности жидкости с помощью акустических волн в пьезоэлектрических пластинах при механическом контакте пьезоэлектрика и жидкой среды. В связи с этим было предложено разделить пьезоэлектрическую пластину и электропроводную жидкость воздушным зазором. В этом случае взаимодействие между пьезоактивной волной и электропроводной жидкостью осуществляется только за счет проникновения электрического поля, сопровождающего волну через зазор в жидкость. В результате выполнения работ было теоретически и экспериментально показана возможность бесконтактного определения электропроводности жидкостей при помощи пьезоактивных акустических волн.

**Третья глава** диссертационной работы содержит описание и результаты экспериментального исследования взаимодействия акустических волн в пьезоэлектрических пластинах со средой, испытывающей фазовый переход жидкость – лед при изменении температуры. Разработана методика проведения экспериментов. Построена зависимость вносимых потерь выбранной акустической волны от времени при понижении температуры. Полученные результаты интерпретированы с точки зрения физических процессов, происходящих в замерзающей жидкости. Стабилизацию вносимых потерь при температуре  $-15^{\circ}\text{C}$  предложено интерпретировать как полное превращение жидкости в лед. Впервые при помощи акустических волн был исследован процесс замерзания водных растворов хлоридов, выбранных на основании ряда Хофмайстера. Обнаружено, что температура, соответствующая полному замерзанию жидкости, меньше, чем температура начала ее таяния при одинаковом значении полных потерь волны, т.е. возникает так называемый гистерезис. Причем площадь этого гистерезиса зависит от химического состава жидкости.

### **Научная новизна работы**

- Определены ранее неизвестные параметры суспензий на основе вазелинового масла с добавками активированного угля и SPAN80.
- Найдены акустические волны Лэмба, обладающие эллиптической поляризацией в плоскости пластины и высокой чувствительностью к вязкостным характеристикам жидкости. Разработана соответствующая методика. Измерены вязкости новых суспензий.
- Теоретически и экспериментально показана возможность бесконтактного определения электропроводности жидкости с помощью акустической волны в пластине YX ниобата лития с поперечно-горизонтальной поляризацией нулевого порядка.
- Показана возможность создания датчиков фазового перехода жидкость – лед на основе акустических волн в пьезоэлектрических пластинах.

## Достоверность результатов и апробация работы

В работе использованы известные, хорошо зарекомендовавшие себя методы исследования, теоретические расчеты проведены с применением актуальных математических моделей, кроме того, используются известные табличные данные и сравнение с известными жидкостями.

Основные результаты работы были широко представлены научной общественности. Автор был докладчиком на 14 различных конференциях. Результаты диссертации опубликованы в 10 работах, в том числе в 7 статьях в журналах, входящих в WOS и Scopus и список ВАК и в 3-х статьях, опубликованных в трудах Всероссийских конференций.

В связи с вышеизложенным, достоверность результатов представленных Шамсутдиновой Е.С. в ее диссертационной работе не вызывает сомнений.

## Научная и практическая ценность работы

Практическая значимость заключается в обнаруженной акустической волне, чувствительной к вязкости, что позволяет разработать наиболее чувствительные датчики. Кроме того, предложен метод бесконтактной диагностики электропроводности жидкости. Это позволит избежать износа электродов, а также даст возможность исследовать жидкости (в том числе биологические) не загрязняя их. Исследование фазовых переходов жидких сред важно в авиастроении, судостроении и энергетике.

## Замечания

1. В главах 1 и 2 настоящей диссертации приводятся температурные исследования свойств акустических волн и суспензий, однако не говорится о методе контроля температуры и его точности.

2. По какой причине добавление микрочастиц активированного угля в силиконовое масло приводит к изменению вязкости практически в два раза, тогда как вязкость вазелинового масла не изменилась.

3. Автор говорит о наличии двухфазной системы на основании графика зависимости вносимых потерь от времени при охлаждении жидкости. На чем основан этот вывод?

4. В диссертации неоднократно говорится о сильных и слабых пьезоэлектриках. Однако не точно сформулировано, на основании какого параметра проводится сравнение пьезоэлектриков.

5. Пьезокварцевые пластины различных углов среза могут иметь нормальную составляющую при колебаниях растяжения сжатия. Однако в тексте диссертации не говорится, каким образом автор решил, что в случае акустической волны с частотой 49.74 МГц отсутствует нормальная к поверхности звукопровода составляющая механического смещения  $U_3$ .

6. В главе 3 настоящей диссертации говорится об измерениях параметров акустических волн в пластинах, контактирующих с фазовыми переходами водных растворов. Необходимо пояснение, в чем различие взаимодействия акустической волны с теми или иными водными растворами электролитов.



Данные замечания не являются критическими, и носят рекомендательный характер, а сама работа заслуживает самой высокой оценки.

Работа Шамсутдиновой Е.С. является значимым вкладом в развитие физической акустики и акустики жидких сред, а полученные результаты открывают перспективы для создания новых сенсорных систем и методов диагностики различных жидкостей, суспензий и растворов.

Автореферат диссертации соответствует требованиям п. 25 «Положения о присуждении степеней», его содержание полностью отражает основное содержание диссертации.

На основании изложенного можно заключить, что диссертация Шамсутдиновой Е.С. «Исследование физических свойств жидкостей и их фазовых переходов в твердое состояние при помощи акустических волн» представляет собой завершенное научное исследование, удовлетворяющее требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, с изменениям от 25.01.2024 г. предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Шамсутдинова Елизавета Сергеевна, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

#### Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук (специальность 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»), доцент, профессор кафедры общей физики Института инженерной физики и радиоэлектроники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет».

«18» февраля 2025 г.

Дамдинов Баир Батуевич



ФГАОУ ВО СФУ

Подпись *Дамдинова Е.С.* заверяю

Зеленопромышленный

18

2025 г.

*Суровов А.В.*

Контактная информация:

ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет.

Адрес: 660041, Красноярский край, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

Телефон: +79029678667

e-mail: dababa@mail.ru