

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Петронюк Юлии Степановны,
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

Вопрос изучения взаимодействия акустических волн с жидкими средами приобретает все большую значимость в связи с необходимостью разработки надежных методов диагностики и контроля характеристик современных жидкостных композитов, таких как наносuspensions и дисперсные системы на основе полярных и неполярных жидкостей. Использование традиционных контактных методов измерения физических параметров жидкостей, включая электропроводность, вязкость и плотность, ограничено в случае использования агрессивных сред или экстремальных температур.

Акустические методы представляют собой перспективный инструмент неразрушающего контроля свойств жидкостей, позволяя регистрировать изменения параметров акустических волн, таких как амплитуда и фаза, в ответ на вариации физико-механических свойств исследуемой среды. Это открывает возможности для разработки новых высокочувствительных сенсорных систем.

Диссертационная работа Шамсутдиновой Е.С. посвящена исследованию взаимодействия объемных акустических волн и акустических волн в пьезоэлектрических пластинах с полярными и неполярными вязкими и невязкими диэлектрическими жидкостями, а также с невязкими электропроводящими водными растворами хлоридов. В работе разработаны соответствующие акустические методы и проведены теоретические и экспериментальные исследования распространения таких волн в пьезоэлектрических структурах, содержащих вышеуказанные жидкости.

Диссертация включает введение, три главы и список использованной литературы.

Во введении приведена актуальность выбранной темы, а также обзор существующих акустических датчиков для исследования свойств жидкостей и льда. Сформулированы цели и задачи исследования, определена научная

новизна, научная и практическая ценность полученных результатов, а также изложены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава разделена на 5 параграфов. В ней рассматриваются акустические и электрофизические свойства жидкостей и суспензий, измеренные при помощи акустических и электрофизических методов. Описана методика определения диэлектрической проницаемости жидкости на основе коаксиальной цилиндрической измерительной ячейки. С её помощью показано, что добавление поверхностно-активного вещества SPAN80 уменьшает электрическое сопротивление суспензии, но практически не изменяет диэлектрическую проницаемость. Особое внимание уделено изучению акустических волн Лэмба с механической поляризацией в плоскости пластины, чувствительных к вязкости жидкости. Такие волны впервые были найдены в пластинах YZ, YX LiNbO₃, ST,X, ST,X+90 SiO₂ и 36YX, 36YZ LiTaO₃ и структурах Si/ZnO, Si/AlN. Также рассмотрено влияние электропроводности и вязкости жидкостей на распространение акустических волн высших порядков в пьезоэлектрических пластинах. Показано, что при расположении жидкости на поверхности звукопровода не существует акустических волн в пластинах, которые были бы чувствительны только к электропроводности жидкости и не реагировали на ее вязкость. Помимо акустических волн в пластинах для характеристики суспензий использовались продольные объемные акустические волны. В одном цикле определено 7 параметров жидкостей, чьи свойства ранее не были известны.

Во второй главе исследуется влияние электропроводности жидкости на параметры акустических волн в системе «пьезоэлектрическая пластина – воздушный зазор – жидкость». Анализируются результаты теоретического моделирования и экспериментальных измерений, демонстрирующие влияние воздушного зазора на взаимодействие акустических волн с носителями заряда в жидкости. Экспериментально показано, что возможно измерение только электропроводности жидкости при использовании пьезоактивной акустической волны в пьезоэлектрической пластине, которая находится на расстоянии 400 – 900 мкм от жидкости. Это позволяет проводить бесконтактные измерения электрофизических характеристик жидкости.

Третья глава посвящена исследованию влияния фазового перехода жидкость-лед на характеристики акустических волн в пьезоэлектрических пластинах. Рассматриваются особенности распространения акустических волн высших порядков при понижении температуры, а также динамика фазовых переходов водных растворов хлоридов. Показано, что для каждой жидкости различаются величины вносимых потерь S_{12} при фазовом переходе жидкость – лёд, а также температуры замерзания и таяния. По этой причине на зависимости вносимых потерь от температуры $S_{12}(T)$ возникает гистерезис, площадь петель которого наименьшая для малорастворимых веществ.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- Обнаружены акустические волны, распространяющиеся в пьезоэлектрических пластинах и многослойных структурах, обладающие эллиптической поляризацией механических смещений в плоскости звукопровода и отсутствием нормальной компоненты смещения к поверхности звукопровода. Такие волны обладают наибольшей чувствительностью к вязкости жидкости.
- Установлено, что электрическое поле, сопровождающее пьезоактивную волну нулевого порядка с поперечно-горизонтальной поляризацией (SH_0) на частоте около 2 МГц, проникает в электропроводящую жидкость, если она находится в пределах 900 мкм от поверхности пьезоэлектрической пластины, что приводит к изменению фазы и амплитуды соответствующего акустического сигнала.
- Продемонстрирована возможность регистрации полного превращения воды в лед на поверхности пьезоэлектрической пластины на основе стабилизации вносимых потерь S_{12} акустического сигнала.

Достоверность полученных результатов подтверждена применением известных методик измерения акустических характеристик и их воспроизводимостью. Представленные выводы не противоречат данным, имеющимся в научной литературе, а дополняют и расширяют их.

Основные результаты работы были доложены на 14 российских и международных конференциях по теме диссертации. Автор имеет 10 публикаций по теме исследования в различных научных журналах, включая высокорейтинговые журналы первого квартиля, входящие в международные базы данных WOS и Scopus.

Практическая значимость работы заключается в разработке акустических методов диагностики жидкостей, что позволяет применять их в различных отраслях промышленности, включая контроль качества топлива, нефтепродуктов, масел и других технологических жидкостей. Полученные результаты имеют важное значение для мониторинга процессов оледенения, что критически важно в авиационной и морской технике.

Основное содержание работы соответствует требованиям специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Замечания:

1. Можно отметить некоторую пренебрежительность в оформлении текста диссертации – встречаются повторы, ошибочный номер рисунка 1.25 в тексте, ссылка на рисунок 1.26 размещена далеко от самого рисунка, есть опечатки, например, на странице 36 во втором абзаце «вязкость как $\eta \approx 2.5\%$ для $\mu = 1-20$ сП». Это несколько затрудняет чтение, но не искажает смысла предложенных формулировок.

2. Из текста осталось не вполне очевидным, чем определяется выбор чувствительной акустической волны для измерения вязкости и электропроводности. Какой критерий для этого использовался (рис. 1.9, 1.18, табл. 1.3)?

3. В диссертации (стр. 36) сказано, что скорости акустических волн в образце жидкости были измерены при помощи пьезоэлектрических слоистых структур с погрешностью $\pm 1\%$, а для параметра вносимых потерь S_{12} и коэффициента затухания α в жидкости погрешности составляли ± 0.01 дБ и ± 0.005 дБ/мм, соответственно. Чем обусловлена была такая погрешность?

4. В тексте на стр. 37 сказано, что для исследования механических свойств жидких сред с помощью акустических волн в пластинах использовались «слабые пьезоэлектрические кристаллы и структуры». Что подразумевается под этим?

5. В главе 2 исследовалась электропроводность жидкости бесконтактным способом. В диссертации показано, что в зависимости от размера зазора варьируется чувствительность акустической волны к электропроводности жидкости. Какие еще параметры акустической линии задержки влияют на величину зазора?

6. В диссертации выполнены эксперименты для суспензий с частицами активированного угля и SPAN80. Измерения диэлектрической проницаемости неполярных жидкостей проводились для определенной концентраций наполнителей. Можно ли при таком подходе сконструировать акустическую ячейку – определитель концентрации наполнителя по измеренной величине электропроводности суспензии? Влияет ли размер частиц наполнителя на акустические измерения или только его концентрация?

7. Можно ли методы и подходы, разработанные в диссертационной работе, применить для исследования биологических жидкостей? Это направление представляется перспективным, но в работе нет этой информации.

Отмеченные здесь недостатки не оказывают существенного влияния на общее положительное впечатление от диссертации и в основном являются уточнениями, дополнениями к описанию наблюдаемых явлений и используемым формулировкам.

Автореферат 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 завершённое научное исследование, удовлетворяющее требованиям п. 9 «Положения о присуждении степеней», а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент,

кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.06 – «Акустика»), ведущий научный сотрудник лаборатории акустической микроскопии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля Российской академии наук, лаборатории акустической микроскопии

«19» февраля 2025 г.  Петронюк Юлия Степановна

Контактная информация:


ФГБУН Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля РАН.

Адрес: 119334, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4.

Телефон: +7 (499) 137-83-47

e-mail: jps7@mail.ru

Подпись Петронюк Ю.С. заверяю.


Ученый секретарь
ИБХФ РАН, И.В.И.



 Н.М. Эмануэль