

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Дамдинова Баира Батуевича,

на диссертационную работу Агейкина Никиты Алексеевича на тему  
«ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛАСТИН НА  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ С  
НАГРУЗКОЙ, РАСПОЛОЖЕННОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛАСТИНЫ»,

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

1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»

### Общая характеристика работы

В настоящее время в различных областях промышленности для оценки качества жидкостей, их загрязнения или сравнения с эталоном все чаще используют мультисенсорные системы, которые называются электронный язык. Они работают на различных методах (кондуктометрический, вольтамперометрический и т.д.) и имеют как преимущества, так и недостатки. Преимуществом акустического метода является отсутствие контакта между исследуемой жидкостью и измерительными электродами. Реализация мультисенсорного устройства на основе акустических волн возможна путем возбуждения волн в разных направлениях анизотропной пластины. Волны, имеющие различные частоты, скорости, упругие смещения, коэффициенты электромеханической связи будут по-разному чувствительны к одной нагрузке. Такая методика позволит расширить существующие подходы к исследованию сложных жидкостных систем.

Диссертационная работа Агейкина Н.А. посвящена исследованию влияния анизотропии пьезоэлектрических пластин на взаимодействие акустических волн различных типов с дистиллированной водой, фазовым переходом «дистиллированная вода-лёд», водными растворами, вязкими и биологическими суспензиями.

### Структура и основное содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Диссертация включает 118 страниц, 19 рисунков и 26 таблиц. Список литературы состоит из 170 ссылок.

**Во введении** представлен аналитический обзор основной литературы по существующим методам анализа свойств различных жидкостей и фазовых переходов жидкость - лед, в том числе с использованием акустических методов. Обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, а также сформулированы ключевые научные положения, выносимые на защиту.

**В главе 1** показана возможность идентифицировать слабовязкие, проводящие жидкости с помощью акустических волн, которые распространяются в анизотропной пластине  $128\text{Y}_x\text{LiNbO}_3$  в направлениях пластины 0, 30, 60, 90 градусов к кристаллографической оси X. Теоретический расчет показал, что в диапазоне 10...60 МГц существуют

волны с различными механическими и электрическими параметрами, которые по-разному чувствительны к одному воздействию. Однако исследуемые жидкости различались только по электрическим параметрам.

Результаты экспериментального исследования качественно совпали с теоретическими. В результате исследование с помощью большого набора волн Лэмба разных порядков позволило получить больше информации об исследуемых жидкостях и построить их уникальные «отпечатки» в виде ориентационных гистограмм, по которым жидкости можно идентифицировать. Также были исследованы и идентифицированы пищевые жидкости, такие как питьевая вода и алкоголь.

В главе 2 в результате теоретического исследования взаимодействия акустических волн, которые распространяются в анизотропных пластинах  $YX+\Theta$  LiNbO<sub>3</sub>,  $128^\circ YX+\Theta$  LiNbO<sub>3</sub> и  $36^\circ YX+\Theta$  LiTaO<sub>3</sub> в направлениях распространения  $\Theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ , с водой и льдом было показано, что фазовая скорость и поляризация волн практически не изменяются. Однако при появлении нагрузки в виде льда появляется затухание волн, связанное с радиационными потерями при их распространении. Результаты экспериментального исследования показали, что изменения вносимых потерь различных акустических волн, при контакте пластины со льдом, проявляются по-разному и зависят от материалов пластин.

В главе 3 для идентификации 1) суспензий на основе питательного раствора Лурье-Бертрана с добавлением различных бактерий; 2) силиконового масла с микрочастицами железа и его оксида был использован метод, описанный в главе 1. Благодаря анизотропии пластины  $128YX$  LiNbO<sub>3</sub> было показано, как по-разному изменяются вносимые потери акустических волн при взаимодействии с проводящими и вязкими жидкостями.

В главе 4 в пластинах ST кварца,  $36^\circ YX$ -LiTaO<sub>3</sub>,  $128^\circ Y$  LiNbO<sub>3</sub> были рассчитаны упругие смещения и скорости волн Лэмба высших порядков. Изменение вносимых потерь этих волн было экспериментально измерено для случая контакта этих пластин с дистиллированной водой. Анализ результатов показал, что при контакте пьезоэлектрической пластины с дистиллированной водой радиационные потери акустических волн в большей степени зависят от величины компоненты механического смещения  $U_3$ , чем от разницы фазовой скорости волны в пластине со скоростью продольной объемной волны в жидкости.

В заключении автор приводит и формулирует полученные в диссертации результаты.

### Научная новизна работы

1. Показано, что при помощи устройства на основе анизотропной пластины с набором линий задержки, ориентированных по разным направлениям распространения акустических волн, можно идентифицировать жидкости, обладающие различными электрофизическими свойствами (электропроводность, диэлектрическая проницаемость) и похожими акустическими параметрами (вязкость, модуль упругости). Эта возможность обеспечивается, в том числе, различной поляризацией

акустических волн, распространяющихся как в одном и том же направлении, так и в различных направлениях.

2. Теоретически и экспериментально показана возможность получения акустического «портрета» льда, возникающего в процессе фазового перехода вода-лёд акустическими волнами, распространяющимися в различных направлениях анизотропных пьезоэлектрических пластин. Эти «портреты» могут быть в дальнейшем использованы для контроля внутренней структуры образующегося льда.

3. Показано, что радиационные потери акустических волн Лэмба зависят в основном от величины нормальной компоненты механического смещения  $U_z$ , а разница фазовых скоростей между волной в пластине и объемной акустической волны в жидкости не играет большой роли.

### **Достоверность**

Представленные в работе теоретические результаты были получены при помощи известного метода матрицы передачи и в предельных случаях согласуются с ранее опубликованными результатами других авторов. Эксперименты проводились на стандартном сертифицированном оборудовании и давали хорошее совпадение с теоретическими результатами.

Основные результаты по теме диссертационной работы опубликованы в 6 научных работах, в том числе: в 4 статьях в журналах, входящих в Международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus, в Белый список, а также в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, в 2 докладах, опубликованных в трудах Всероссийских конференций.

### **Научная и практическая ценность работы**

Практической значимостью работы является возможность создания чувствительных датчиков фазового перехода вода-лед, датчиков определения загрязнения технических масел и датчиков распознавания биологических жидкостей. Научной ценностью работы является теоретическое и экспериментальное исследование влияния анизотропии пластин на характеристики акустических волн.

### **Вопросы и замечания**

1. В диссертации говорится об акустических волнах различного типа. Какие это типы?

2. О каком типе вязкости жидкости идет речь в первой и третьей главах? Каков диапазон измеряемых вязкостей исследуемых жидкостей?

3. Автор говорит о влиянии анизотропии пьезокварцевых пластин на взаимодействие акустических волн с нагрузкой. Что подразумевается под анизотропией?

4. Какие виды потерь в вязких и проводящих жидкостях можно оценить методом, который используется в работе?

5. Пьезокварцевые пластины различных углов среза могут иметь нормальную составляющую при колебаниях растяжения сжатия. Как зависят результаты исследований от среза пластин?

6. Небольшие оформительские замечания: много разрывов и смещений таблиц, лишние абзацы после формул перед словом «где», отсутствует пустая строка до и после рисунков и таблиц. То же касается части подписей к рисункам, которые сливаются с текстом.

Отмеченные здесь недостатки и вопросы не влияют на общее положительное впечатление от диссертационной работы. Работа Агейкина Н.А. является значимым вкладом в развитие физической акустики и акустики в жидкостях, а полученные результаты открывают перспективы для создания новых сенсорных систем и методов диагностики жидких сред.

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

На основании изложенного можно заключить, что диссертация Агейкина Н.А. «Влияние анизотропии пьезоэлектрических пластин на взаимодействие акустических волн различных типов с нагрузкой, расположенной на поверхности пластины» представляет собой завершенное 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,**

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».

«12» 02 2016

Дамдинов Баир Батуевич

М.П.



ФГАОУ ВО СФУ

Б.Б. Дамдинов заверяю

12 02 2016

Контактная информация:

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

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

Телефон: +7-9029678667

e-mail: dababa@mail.ru