

## АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD)  
6D060400 – Физика

ЖАКИЕВ НУРХАТ КУАНДЫКОВИЧ

### **Изучение электромагнитных и акустических волновых полей в анизотропных пьезоэлектриках методом матрицанта**

**Актуальность темы.** Теоретическое изучение распространения упругих волн в анизотропных средах с различными физическими свойствами, такими как пьезоэффект и др., является одной из фундаментальных задач акустики твердого тела и, в частности, акустоэлектроники. Входит в перечень приоритетных направлений исследования Государственной программы по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010 – 2014 годы.

Разнообразные физические эффекты, связанные с распространением и взаимодействием упругих волн в конденсированных средах, нашли широкое применение в различных устройствах акустоэлектроники и акустооптики, в беспроводных системах связи, в ультразвуковой дефектоскопии, акустической микроскопии и в разработке чувствительных элементов и датчиков.

Наличие в диэлектрической среде прямого и обратного пьезоэффектов приводит к взаимосвязанности и взаимной генерации упругих и электромагнитных волн. Но связанность пьезоупругих волн существенно усложняет задачу, вследствие чего для их анализа широко применяются приближенные методы. Однако в рамках стандартного квазистатического приближения невозможно проследить все детали и связи процесса взаимной трансформации энергий упругой и электромагнитной волн. Поэтому изучение связанных акустоэлектромагнитных волновых полей в анизотропных пьезоэлектрических средах с применением улучшенных аналитических методов и в полной электромагнитной постановке представляет собой сложную, но актуальную задачу современной акустоэлектроники.

В настоящей работе в рамках линейной теории упругости и на основе представления решения в виде плоских волн изучаются особенности распространения взаимосвязанных акустоэлектромагнитных волн в безграничных и полубезграничных пьезоэлектрических анизотропных средах. Теоретические исследования проводятся на основе полной системы уравнений Максвелла, решаемой совместно с уравнениями движения для упругой анизотропной среды, что представляет собой наиболее полное описание связанных волновых полей.

Часть диссертации выполнена в рамках программы фундаментальных исследований в области естественных наук по теме: «Распространение связанных упругих и электромагнитных волн в средах с пьезоэлектрическим

эффектом для гексагональной, тетрагональной, ромбической и моноклинной сингонии» на 2012-2014 годы, гос. рег. № 0112РК02379 под руководством профессора С.К. Тлеукунова.

**Целью работы** является проведение анализа распространения связанных акустических и электромагнитных волновых полей в безграничных и полуограниченных пьезоэлектрических средах тетрагональной и ромбической симметрии с использованием полной системы уравнений Максвелла на основе использования метода матрицанта.

**Объектом исследования** являются связанные акустические и электромагнитные волны в пьезоэлектриках тетрагональной и ромбической симметрий.

**Метод исследования** – аналитический метод матрицанта, разработанный профессором С.К. Тлеукуновым. В основе метода лежит построение фундаментального решения исходной системы дифференциальных уравнений. Внутренняя симметрия матрицы коэффициентов позволяет получить все элементы матрицанта в случае однородных сред в явном аналитическом виде. Относится к математическим методам изучения фундаментальных решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами.

В диссертации получены следующие **новые результаты**.

– Получены матрицы коэффициентов для пьезоэлектрических сред тетрагональной и ромбической симметрии в трехмерном и двумерном случаях распространения без использования предположения о квазистатичности электрических полей. Получены аналитические выражения для волновых векторов в однородной пьезоэлектрической среде тетрагональной и ромбической симметрии; построены поверхности волновых векторов и фазовых скоростей связанных электроупругих волн.

– Теоретически и экспериментально исследованы углы сноса между фазовой и групповой скоростями. Впервые получено явное аналитическое выражение для угла сноса в пьезоэлектриках ромбической симметрии. Рассчитаны групповые скорости, анизотропия плотности потока упругой энергии от линейного источника SH-волн.

– Аналитически решена задача отражения-преломления электромагнитной волны на границе жидкость-пьезоэлектрик, проведен численный анализ решения. Показано, что электромагнитная волна возбуждает упругие волны и рассчитаны энергетические коэффициенты трансформации в зависимости от угла падения.

– Исследованы потоки акустических полей при отражении и преломлении поперечно-горизонтальных упругих волн на границе диэлектрик-пьезоэлектрик. Показано, что в сильноанизотропных пьезоэлектриках в зоне вогнутости поверхности волновых векторов наблюдается двойное лучепреломление электроупругой волны без изменения волновой ветви, предсказанное М.К. Балакиревым и И.А. Гилинским.

– Аналитически определены условия существования и характеристики поверхностных акустических волн (ПАВ) Гуляева-Блюстейна: скорость, коэффициенты спадания для пьезоэлектрического полупространства ромбической и тетрагональной симметрии с металлизированной и свободной поверхностью.

– Впервые получены выражения для показателей спадания поля поверхностной электромагнитной волны в среде и в вакууме на основе полной системы уравнений Максвелла, решаемой совместно с уравнением движения для упругой среды.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

– Матрицы коэффициентов для пьезоэлектрических сред, полученные в работе без использования квазиэлектростатического приближения, показывают связь и взаимную трансформацию энергии между волнами различной поляризации и физической природы. Метод матрицанта позволяет рассчитать угол сноса, групповые скорости, показатель концентрации потока упругой энергии.

– Использование полной акустоэлектромагнитной теории в задаче отражения-преломления электромагнитной волны на границе жидкость-пьезоэлектрик позволяет описать возбуждаемые при отражении упругие волны.

– В зоне вогнутости поверхности волновых векторов сверхсильного пьезоэлектрика ниобата калия реализуется двойное лучепреломление упругой волны без изменения ветви.

– Полученные условия существования поверхностных акустических волн Гуляева-Блюстейна на металлизированных и свободных границах позволяют определить характеристики этих волн (скорость, показатель спадания, коэффициент электромеханической связи) в аналитическом виде. Показатели спадания ЭМ волны в пьезополупространстве и в вакууме для волн Гуляева-Блюстейна невозможно получить в рамках квазиэлектростатического подхода.

**Структура и объем диссертации.** Общий объем диссертации – 102 страниц компьютерного текста, содержит 39 рисунков, 6 таблиц. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка цитированных источников из 129 наименований и приложения.

**Апробация работы и публикации.** По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, в том числе 4 в изданиях из Перечня, утвержденного Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 1 в изданиях, входящие в базу данных Scopus, одно авторское свидетельство №1747, ИС0013171 от 15.09.2014.

#### **Теоретическая и практическая значимость.**

В работе показана эффективность метода матрицанта для решения задач акустоэлектроники и акустооптики с применением полной динамической теории. Полученные результаты имеют важное значение для развития теоретических основ кристаллоакустики пьезоэлектриков. Результаты могут использоваться для расчетов при конструировании различных приборов и устройств акустоэлектроники и акустооптики.