

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.231.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института 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 11 октября 2019 г., № 4

**О присуждении Недоспасову Илье Александровичу, гражданину России ученой степени кандидата физико-математических наук.**

Диссертация на тему «Особенности распространения обратных и прямых акустических волн в изотропных и анизотропных пластинах и структурах на их основе» принята к защите 12 июля 2019, протокол № 3, диссертационным советом Д 002.231.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Российской академии наук (125009, Москва, ул. Моховая. Д.11. корп.7) (приказ Рособнадзора о создании совета № 2397-1776 от 07.12.2007 г.; приказ Минобрнауки России о продлении деятельности совета № 75/нк от 15.02.2013 г.)

Соискатель Недоспасов Илья Александрович, 1991 года рождения, в 2015 году окончил Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

С 01.10.2015 по 30.09.2019 г. проходил обучение в аспирантуре ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук по специальности «Физика конденсированного состояния».

Работает младшим научным сотрудником лаб. электронных процессов в полупроводниковых материалах ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаб. электронных процессов в полупроводниковых материалах ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук.

**Научный руководитель:** Кузнецова Ирен Евгеньевна, доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник лаб. электронных процессов в полупроводниковых материалах ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук.

**Официальные оппоненты:**

**Коробов** Александр Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, занимает должность профессора кафедры акустики физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова».

**Левин** Вадим Моисеевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией акустической микроскопии ФГБУН Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский университет им. Н.Г.Чернышевского» (г. Саратов), в своем положительном отзыве, подписанном д.ф.-м.н., ст.н.с. С.Г. Сучковым, рук. НТЦ «Микро- и наноэлектроника», и утвержденном проректором по НИР д.ф.-м.н., проф. А.А.Короновским, отметила, что тема диссертации И.А. Недоспасова актуальна, она представляет законченную научную работу, содержащую решение ряда задач, которые объясняют свойства обратных акустических волн в пластинах и на кромках. Полученные результаты достоверны, обладают научной значимостью и новизной, и могут найти применение в научных исследованиях в СГУ им. Н.Г. Чернышевского,

в СГТУ им. Ю.А. Гагарина, в МГУ им. М.В. Ломоносова и других исследовательских организациях, связанных с использованием акустических волн для обработки сигналов и создания акустических датчиков и устройств для неразрушающего контроля.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 15 работ, из которых 5 - в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и 4 - в журналах, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus, 6 - в сборниках трудов. Общий объем, опубликованных по теме диссертации работ, составил 92 печ.л. Из них:

1. **Nedospasov I. A., Mozhaev V. G., Kuznetsova I. E., Unusual energy properties of leaky backward Lamb waves in a submerged plate. Ultrasonics 77 (2017) 95-99.**

**Краткое описание.** Обнаружено, что вытекающие обратные волны Лэмба, то есть волны с отрицательной скоростью потока энергии, распространяющиеся в погруженной в жидкость пластине, обладают необычайными энергетическими свойствами, отличающими их от любых других типов волн в изотропных средах. А именно, суммарный усредненный по времени поток энергии вдоль оси волновода для этих волн равен нулю из-за противоположных направлений продольных потоков энергии в соседних средах. Это свойство порождает фундаментальный вопрос о том, как правильно определить и рассчитать скорость энергии в таком необычном случае. Применяется процедура расчета, основанная на неполном интегрировании плотности потока энергии по толщине пластины. Производная угловой частоты по волновому вектору, обычно называемая групповой скоростью, оказывается близка к скорости энергии, определенной этим средним значением в той части частотного диапазона, где в свободной пластине существует обратная мода. Область существования обратной моды формально увеличивается для погруженной пластины по сравнению со свободной пластиной в результате индуцированной жидкостью гибридизации распространяющейся и нераспространяющейся (эванесцентной) мод Лэмба. Показано, что принцип Рэлея (т.е. равное распределение суммарных усредненных по времени кинетических и потенциальных энергий для гармонических по времени акустических полей) нарушается из-за утечки волн Лэмба, несмотря на рассмотрение недиссипативных сред.

2. **Puryev P. D., Nedospasov I. A., Mayer A. P. Guided acoustic waves at the intersection of interfaces and surfaces. Ultrasonics 95 (2019) 52-62.**

**Краткое описание.** С помощью численных расчетов было показано существование волноводных акустических мод, локализованных в двух пространственных измерениях. Их свойства были исследованы в трех различных геометриях: (i) полупространство, состоящее из двух упругих сред с плоской поверхностью раздела, наклоненной к общей поверхности, (ii) клин, изготовленный из двух упругих сред с плоской поверхностью раздела, и (iii) свободный край упругого слоя между двух клиновидных структур материала с упругими свойствами и плотностью, отличающимися от промежуточного слоя. Для частного случая пуассоновских сред в системах (i) и (ii) были определены диапазоны существования этих одномерных волноводных мод в пространстве материальных параметров, и было обнаружено, что они сильно зависят от угла наклона между поверхностью и границей раздела в случае (i) и угол клина в случае (ii). В системе типа (ii), изготовленной из двух материалов с сильным акустическим рассогласованием, и в системе типа (iii) были обнаружены вытекающие волны с высокой степенью пространственной локализации смещений,

хотя два материала, составляющих эти структуры, являются изотропными. Как полностью волноводные, так и вытекающие волны, проанализированные в этой работе, могут найти применение в неразрушающей оценке композитных структур и должны учитываться, например, при геофизической разведке. Представлено критическое сравнение двух используемых вычислительных подходов, а именно полуаналитического метода конечных элементов и метода, основанного на разложении поля смещений в двойной ряд специальных функций.

3. Zaitsev B., Kuznetsova I., **Nedospasov I.**, Smirnov A., Semyonov A. New approach to detection of guided waves with negative group velocity: Modeling and experiment. Journal of Sound and Vibration (2019), 442, 155-166.

**Краткое описание.** Разработан новый метод обнаружения прямой и обратной акустических волн в пьезоэлектрических пластинах с использованием системы акустически изолированных встречно-стержневых преобразователей (IDT) с различным пространственным периодом. Этот метод был испытан на акустических модах A1 и SH1, распространяющихся в пьезоэлектрической пластине YX LiNbO<sub>3</sub>. Теоретический анализ показал, что мода SH1 во всем частотном диапазоне представляет собой прямую волну. При этом дисперсионная зависимость моды A1 вблизи частоты отсечки имеет плавный переход от прямой волны к обратной с уменьшением частоты. Для экспериментального наблюдения этого перехода на одну пластину из ниобата лития было нанесено 19 ВШП с разными периодами. Измерение частотных зависимостей действительной части электрического импеданса этих ВШП показало, что для моды SH1 резонансная частота монотонно уменьшается с ростом пространственного периода. Такое поведение соответствовало прямой волне. Для моды A1 резонансная частота первоначально уменьшалась с ростом периода ВШП, а затем начала увеличиваться после достижения значения частоты с нулевой групповой скоростью. Такое поведение объясняется плавным переходом из области прямой волны в область обратной волны. Расчет частотных зависимостей реальной части электрического импеданса каждого преобразователя для рассматриваемых волн, выполненный методом конечных элементов, оказался в хорошем согласии с экспериментом.

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

На диссертацию и автореферат поступили отзывы из:

- ФГБНУ Технологического института сверхтвердых и новых углеродных материалов от д.ф.-м.н., проф. Б.П.Сорокина, зав.лаб. физической акустики и акустоэлектроники (замеч.нет.);

- ФГБУН НТЦ Уникального приборостроения РАН от к.ф.-м.н., вед.н.сотр. П.В.Зинина (замеч.: в автореферате содержится некоторое количество опечаток пунктуационного и орфографического характера, также иногда в тексте диссертации присутствуют жаргонизмы).

- Саратовского физико-технического института – Филиала ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» от д.ф.-м.н., проф. Н.С. Шевяхова, профессора каф. общей физики (замеч.: недостатком автореферата отмечается черно-белая графика рисунков, тогда как в тексте речь идет о кривых или участках фона, показанных цветом).

- ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (Физический факультет) от к.ф.-м.н., О.Д. Румянцевой, доцента каф. акустики (замеч.нет).

- ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (Физический факультет) от д.ф-м.н., проф. В.И.Балакшия, проф. каф. физики колебаний (замеч.нет).

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается: назначенные советом официальными оппонентами по диссертации И.А.Недоспасова ученые широко известны своими достижениями в данной отрасли науки, имеют многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонируемой диссертации - доктор физ.-мат.наук, профессор **А.И. Коробов** – известный специалист в области нелинейной акустики, неразрушающего контроля, автор более 10 работ по исследованию акустических волноводов, в частности клиновым волнам; кандидат физ-мат. наук, старший научн. сотрудрн. **В.М. Левин** - один из ведущих в России специалистов в области акустической микроскопии, постоянный участник в качестве приглашенного докладчика международных научных конференций, автор более 20 работ по профилю оппонируемой диссертации.

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», широко известна своими исследованиями в области разработки акустоэлектронных устройств обработки сигналов СВЧ диапазона и акустических датчиков, объединенных с кодирующей структурой в сложных технических устройствах. Многочисленные работы её сотрудников в области оппонируемой диссертации свидетельствуют об их способности адекватно оценить результаты, представленные автором для защиты.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

Разработан новый экспериментальный метод возбуждения и регистрации обратных волн Лэмба в пьезоэлектрических пластинах с помощью набора резонаторов на встречно-штыревых преобразователях. Теоретически показана возможность эффективного управления, как спектром сдвиговых обратных мод, так и их распределением полей с помощью электрических граничных условий на поверхности пьезоэлектрических пластин. Теоретически предсказана возможность распространения импульсов сдвиговых обратных мод в пластине без искажений. Продемонстрирована возможность существования локализованных обратных мод в волноводах клиново-кромочного типа. Предсказаны необычные энергетические свойства равенства нулю усредненного по времени и проинтегрированного по глубине потока энергии вдоль горизонтальной оси волновода для вытекающих обратных волн Лэмба, распространяющихся в изотропных пластинах, погруженных в жидкость.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:** с помощью теории возмущений, основанной на разложении точных дисперсионных соотношений для сдвиговых мод в пьезоэлектрических пластинах в ряд по малым значениям волнового числа относительно точек зарождения, предсказаны основные механизмы возникновения обратных чисто сдвиговых волн. С помощью полуаналитического метода конечных элементов изучены диапазоны существования локализованных клиновых волн, распространяющихся на поверхности составных клиньев. Автор расширил области существования локализованных волн в волноводах клиново-кромочного типа на более сложные структуры. Также им описаны вопросы существования вытекающих волн в структурах клиново-кромочного типа.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:** описанные свойства обратных мод в пластинах, могут использоваться при создании устройств акустоэлектроники, сенсорики. Определенные в работе механизмы возникновения обратных сдвиговых волн позволяют выбирать необходимые ориентации кристаллов наиболее благоприятных к существованию обратных волн. Исследование волноводных локализованных мод клиново-кромочного типа представляют собой интерес для задач неразрушающего контроля композитных структур.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** подтверждается хорошим согласованием теоретических и экспериментальных результатов. Также для верификации одних и тех же результатов автором использовались различные численные и аналитические методы. Кроме того результаты полученные в диссертации хорошо согласуются с работами других исследователей. Помимо этого, все основные результаты были опубликованы в ведущих международных и российских журналах, а также доложены на основных международных и отечественных конференциях, что свидетельствует об их достаточной апробации.

**Личный вклад соискателя** состоит в: постановке задач для диссертации, обработке экспериментальных результатов. Он также принимал участие в разработке и создании экспериментальных образцов. Основные вопросы интерпретации теоретических и экспериментальных результатов выдвинуты автором лично. Подавляющая часть работы по развитию вычислительной и аналитической теории для описания распространения акустических мод реализована автором диссертации. Также соискатель принимал непосредственное участие в апробации результатов исследований на конференциях и семинарах. Опубликованные в ходе работы статьи частично выполнены и подготовлены в соавторстве с ведущими специалистами научных групп ИРЭ РАН, МГУ, ИОФАН, а также высшей школы г. Оффенбурга (университета прикладных наук).

**Диссертационная работа И.А.Недоспасова является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит решение научной и практической задачи по изучению обратных волн различных типов в пластинах и структурах клиново-кромочного типа. Работа удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 824, предъявляемым к диссертациям на соискании ученой степени кандидата наук.**

На заседании 11 октября 2019 г диссертационный совет принял решение присудить Недоспасову И.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 6 докторов наук специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 21; против - 0; недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета

Ученый секретарь диссертационного совета



Гуляев

Юрий Васильевич

Кузнецова

Ирен Евгеньевна

«17» октября 2019 г.