

ОТЗЫВ

официального оппонента

о диссертации Ольги Александровны Мякишевой

«Динамические задачи акустического зондирования слоистых упругих материалов»,

представленной на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Актуальность исследования. В системах неразрушающего контроля состояния элементов тонкостенных конструкций широко применяются бесконтактные ультразвуковые излучатели. Поэтому для акустики актуальна разработка математического аппарата для эффективного описания полей, возбуждаемых источником в жидкости в присутствии сложных слоистых упругих структур, которому посвящена работа Ольги Александровны. Рассматриваемые в диссертации задачи возникают также при решении проблем звуко- и виброизоляции или гидроакустической скрытности, при разработке ультразвуковых систем определения и контроля механических свойств новых материалов и во многих других областях науки и техники.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем: получены асимптотические представления отраженных и прошедших волн в дальней зоне с учетом сближения особенностей, проанализировано распределение энергии источника между прошедшими, отраженными и бегущими волнами и на этой основе определены параметры работы источника, обеспечивающие максимизацию энергии волн требуемого типа.

Научная значимость диссертационной работы заключается в построении математической и компьютерной модели на основе полуаналитических и асимптотических представлений волновых полей для погруженных пластин со сложными физико-механическими свойствами, анализе распределения энергии источника между возбуждаемыми различными волнами, определении параметров работы бесконтактного источника, обеспечивающих максимизацию энергии волн требуемого типа.

Практическая ценность диссертационного исследования заключается в получении результатов, которые могут быть использованы при создании и реализации не только систем ультразвукового неразрушающего контроля и систем постоянного волнового контроля состояния элементов тонкостенных конструкций, но и систем вибро- и звукоизоляции.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается математической строгостью постановок и использованием апробированных методов

решения краевых задач линейной теории упругости. Развитая теория сопоставлена с результатами, полученными в рамках других подходов, в том числе, проверенных экспериментально.

Общая характеристика работы. Основным содержанием работы является исследование волн, возникающих при облучении упругого, в том числе довольно сложно устроенного, слоя в жидкости. Во введении дан большой и интересный обзор работ по возбуждению упругих волн разного рода излучателями, который, после некоторой доработки полезно было бы опубликовать. Обоснована актуальность темы, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведен внушительный список опубликованных работ автора и конференций, на которых доложены результаты.

В первой главе приведены необходимые факты динамической теории упругости. Описаны математические модели источников. В общей трехмерной постановке выведена функция Грина погруженного в жидкость многослойного анизотропного упругого слоя. Произведено упрощение формул для случая однородного изотропного слоя.

Во второй главе приводятся интегральные представления волновых полей в общей трехмерной постановке. В случае изотропного материала двукратные интегралы сведены к однократным. Приведены сопоставления с экспериментальными и численными результатами других авторов что дает дополнительную уверенность в правильности полученных очень громоздких формул. На этом заканчивается подготовительная, и, в большой мере, методическая часть работы и начинается действительно оригинальное исследование.

В третьей главе анализируются дисперсионные свойства погруженного в жидкость упругого волновода. Помимо теоретического анализа дисперсионных кривых, приведены и результаты экспериментального измерения дисперсионных характеристик фундаментальных симметричных и антисимметричных мод Лэмба в стальной пластине, выполненных лично диссертанткой. Интересным является рассмотрение обсуждавшегося ранее в литературе вопроса о существовании незатухающей фундаментальной антисимметричной A_0 моды в низкочастотном диапазоне. В случае, когда ее фазовая скорость меньше скорости волн в жидкости, показано, что соответствующий ей полюс находится на нефизическом листе, а с ростом частоты выходит на физический. Асимптотики волновых полей в дальней от источника зоне строятся на основе традиционного анализа интегральных представлений. Асимптотика бегущих и вытекающих волн даются вычетами, учитываются вклады от интегралов по разрезам, по-видимому, описывающих головные волны. Объемные волны описываются методом стационарной фазы. Метод стационарной фазы приходится модифицировать, когда стационарная точка сближается с полюсом, поскольку происходит

сближение особенностей. Приводятся сопоставления с численными результатами других авторов.

Четвертая глава посвящена анализу энергетических характеристик гармонических волновых полей. Приведено сравнение полученных результатов с результатами других авторов. Анализируется зависимость осредненной за период колебаний энергии, проходящей через сферическую и цилиндрическую поверхности, численно проверено, что закон сохранения энергии выполняется. На основе энергетических характеристик проведен анализ параметров источника (относительный размер источника, расстояние до пластины и частота) для максимизации энергии волн определённого типа, что позволит в будущем использовать полученные результаты для настройки систем постоянного волнового контроля состояния элементов тонкостенных конструкций. Энергетический анализ, свойственный краснодарской группе, выгодно выделяет работу Ольги Александровны среди аналогичных исследований. Рассмотрены обратные волны и связанные с ними резонансные эффекты, острота которых снижается из-за присутствия жидкости. Рассмотрены энергетические свойства вытекающих обратных волн, представлены вертикальные профили плотности энергии.

Работа тщательно написана на хорошем русском языке, прекрасно иллюстрирована и легко читается. Приведу несколько мелких замечаний. Нет полной согласованности между обозначениями в разных разделах. Иногда нестационарное смещение и его спектр обозначены одной буквой (например, в (1.1)), в формуле между (1.5) и (1.6) обозначения неудачны, В. Н. Фаддеева (мать крупнейшего математика) названа Федеевой (стр. 57), и т.п. Ссылка [64] имеет погрешности. Используется довольно странный (правда, не диссертанткой введенный) термин *волны Шолте-Стоунли*. Впрочем, эти обстоятельства нигде не затрудняют читателя, и, тем более, не сказываются на научной и практической значимости работы. Из более существенного, отмечаю, что в работе следовало бы дать лучевую интерпретацию как волн, связанных с разрезами, так и явления сближения стационарной точки с полюсом.

Заключение. Диссертация Ольги Александровны Мякишевой «Динамические задачи акустического зондирования слоистых упругих материалов» является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным соискателем на актуальную тему. В диссертации содержатся новые результаты, проиллюстрированные численным моделированием. Основные результаты опубликованы в ведущих научных изданиях и доложены на престижных всероссийских и международных конференциях. Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа «Динамические задачи акустического зондирования слоистых упругих материалов» полностью соответствует паспорту специальности 01.02.04 и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемых к кандидатским диссертациям (п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), а Ольга Александровна Мякишева, без сомнения, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент
д-р. физ.-мат. наук, профессор,
ведущий научный сотрудник
лаборатории математических
проблем геофизики ФГБУН
«Санкт-Петербургское отделение
Математического института
им. В.А. Стеклова РАН»
« 20 » ноября 2019 г.

Киселев Алексей Прохорович

Адрес: 191011 г. Санкт-Петербург, наб. Фонтанки 27, Тел. +7 (812) 571-32-09, E-mail: kiselev@pdmi.ras.ru

Подпись руки Киселева А.П.

