

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной и
инновационной деятельности
Кубанского государственного
технологического университета
доктор технических наук, профессор

С.А. Калманович



«27» 11 2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кубанский государственный технологический университет» о диссертационной работе Дорощенко Ольги Валерьевны «Распределение и дифракция упругих волн в слоистых средах с неидеальным контактом», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

В современных технологиях использование упругих волн имеет практические приложения в различных областях машиностроения и геофизики. Для идентификации дефектов (трещин, отслоений, полостей и пр.), расположенных как внутри однородных упругих сред, так и в многослойных материалах, необходимо построение моделей, описывающих дифракцию упругих волн на трещинах различных форм. Рассеяние на трещинах может исследоваться и моделироваться численными методами, такими как метод конечных элементов, однако особое значение имеют аналитически ориентированные методы. Выявление зон концентрации микротрещин и неидеального контакта относятся к наиболее важным и сложным задачам неразрушающего контроля. Перечисленные выше причины указывают на **актуальность** данного диссертационного исследования.

В институте математики, механики и информатики Кубанского государственного университета традиционно используется и развивается интегральный подход, позволяющий находить численные и строить асимптотические решения, описывающие дифракцию упругой волны на трещине. Вопросы, изучаемые в диссертационном исследовании, тесно связаны с тематикой работ, выполняемых в институте математики, механики и информатики в рамках проектов Российского фонда фундаментальных исследований (проект 12-01-33011 «Теоретико-экспериментальное решение обратных задач по восстановлению упругих свойств слоистых композитов и идентификации в них неоднородностей с применением упругих волн Лэмба»), Министерства образования и науки Российской Федерации (1.189.2014К «Математическое и компьютерное моделирование волновых процессов в приложении к проблемам развития инфокоммуникационных технологий и

волнового мониторинга композитных материалов»), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (14.740.11.0578, «Моделирование динамического поведения композитных материалов с повреждениями, неоднородностями и зонами неидеального контакта: приложения в неразрушающем контроле»; 14.В37.21.0387 «Волновая динамика слоистых фононных кристаллов: моделирование неповрежденных и поврежденных структур, фильтрационные и блокирующие свойства»), в реализации которых автор принимал участие.

Диссертация посвящена исследованию важной задачи неразрушающего контроля по обнаружению зон неидеального контакта в слоистых материалах. А именно, строятся математические и компьютерные модели для описания прохождения упругих волн через границу раздела двух сред с круговой трещиной и зоны с распределенным набором микротрещин, а также выводятся соотношения для констант граничных условий, которые характеризуют степень поврежденности интерфейса.

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в следующем: решена трехмерная неосесимметричная задача моделирования дифракции упругих волн на одиночной круговой трещине, расположенной между двумя неограниченными слоями с различными упругими свойствами; описано динамическое поведение неидеального контакта разнородных материалов введением распределенного набора круговых микродефектов; выведены соотношения для параметров жесткости, моделирующих свойства адгезии между двумя различными материалами, с использованием граничных условий пружинного типа.

Соискателем предложен модифицированный метод решения граничных интегральных уравнений для скачка перемещений падающего волнового поля на круговом дефекте, расположенном между двумя разнородными полупространствами; найдено асимптотическое решение этой задачи для случая малого размера трещины в сравнении с длиной падающей волны, создан вычислительный алгоритм и проведены численные расчеты.

Обоснованность сформулированных в диссертации положений и выводов определяется корректной математической постановкой задач и применением строгих математических методов. **Достоверность** полученных результатов подтверждается сравнением найденных решений с результатами других авторов или с результатами, полученными иными методами.

Научная и практическая значимость работы определяется тем, что полученные результаты могут найти применение в геофизике, машиностроении и неразрушающем контроле машин и сооружений, несущих эксплуатационный износ, а также при диагностике материалов при его производстве.

Диссертация Дорошенко О.В. «Распределение и дифракция упругих волн в слоистых средах с неидеальным контактом» состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 122 источника, и проиллюстрирована 19 рисунками и 2 таблицами.

Во **введении** обоснована актуальность темы, отмечена научная новизна, определены цели и задачи работы, сформулированы положения, выносимые на защиту. Соискателем описаны современные методы и подходы к

моделированию сред, содержащих внутренние дефекты, проведен анализ способов построения решений, описывающих дифракцию волн на неоднородностях.

Первая глава посвящена теоретическому изложению базовых понятий и методов, используемых при решении поставленных в диссертации задач. Автором приведены основные положения теории упругости, описаны свойства интегральных преобразований Фурье и Ханкеля, используемые при построении решений в интегральном подходе. Здесь же рассмотрены особенности распространения упругих плоских волн в стратифицированных пространствах.

Предлагаемые в диссертации методы основаны на представлении перемещений в интегральном виде, что требует построения Фурье-трансформант матрицы Грина. Соискателем построены Фурье-символы матрицы Грина для трехмерного случая в декартовой и цилиндрической системах координат.

Во **второй** главе диссертации выводятся и численно решаются интегральные уравнения, задающие одиночную круговую трещину, а также приводятся соответствующие решения для одиночного полосового дефекта.

Предложенное диссертантом асимптотическое решение для случая одиночной круговой трещины, расположенной между двумя разнородными полупространствами, когда длина падающей волны больше характерного размера дефекта, позволяет найти аналитическое представление для функции раскрытия берегов трещины.

При угле падения, отличном от нормального, диссертантом построены волновые поля и произведено сравнение решений для случаев однородных материалов с известными результатами других авторов и для случая разнородных материалов с решениями, полученными с помощью вариационно-разностного подхода.

В **третьей** главе приводится описание двух способов моделирования неидеального контакта между двумя материалами с различными упругими свойствами. В первом случае соискатель использует граничные условия пружинного типа для описания шероховатых контактирующих поверхностей или отслоений. Степень поврежденности в области контакта задается как отношение общей площади повреждения к рассматриваемой площади, ограничивающей зону концентрации микротрещин. Амплитудные коэффициенты в дальней зоне выражены через упругие модули материалов, удельный вес трещин и константы граничных условий.

В качестве альтернативного способа диссертантом предлагается использовать стохастически распределенный набор микротрещин. При помощи усредняющих подходов средний скачок перемещений на трещине выражается через скачок на одиночной трещине, и таким образом полные коэффициенты прохождения в дальней зоне выражаются через параметры отслоения.

Совместное применение указанных моделей позволяют автору выразить константы граничных условий через характеристики зоны неидеального контакта и сравнить найденное решение с результатами других авторов, полученные иными способами.

Заключение резюмирует основные результаты диссертационного исследования. В диссертационной работе на основе интегрального подхода разработаны математическая и компьютерные модели, описывающие распространение упругих волн в слоистых волноводах, и их дифракцию на одиночной круговой трещине. При стремлении частоты установившихся колебаний к нулю найдено асимптотическое решение задачи дифракции на круговой трещине, расположенной на границе раздела двух полупространств. Описан новый метод моделирования неидеального контакта граничными условиями пружинного типа, с помощью которого найдены пружинные жесткости, характеризующие степень поврежденности соединения материалов при полосовых разноразмерных дефектах и круговых дефектах одинакового радиуса.

По диссертации имеется ряд **замечаний**:

1. В первой главе п. 1.1 содержатся довольно известные сведения теории упругости, которые можно было сократить и ограничиться ссылками на источники.

2. Видится нецелесообразным сравнивать численное и асимптотическое решение для среднего скачка смещений в п.2.2 второй главы, поскольку это понятие вводится только в п.3.2 третьей главы.

3. Интереснее было бы, с нашей точки зрения, рассматривать более общий случай трещин эллиптической формы, частным случаем которых являются круговые трещины.

4. При сравнении полученных соискателем оценок для граничных условий пружинного типа с аналогичными оценками для периодического гексагонального распределения трещин недостаточно подробно рассмотрен вопрос определения границ применимости полученной модели.

5. В п. 3.4 в подписях к рисункам 3.6-3.7 вместо термина «пластина» следует использовать «упругий слой» или «волновод».

Приведенные замечания не снижают научной и практической значимости работы.

Исследование проведено на высоком профессиональном уровне, является самостоятельным и завершенным. Результаты диссертации отражены в отчетах по выполненным в КубГУ проектам федеральных целевых программ, исследования имели поддержку научных фондов, что также указывает на **актуальность и практическую значимость** полученных результатов.

Тема и содержание диссертации **соответствуют паспорту специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела** (пп. 1,4,7). Основные положения диссертационного исследования достаточно полно опубликованы в открытой печати и апробированы на ряде семинаров и конференций. Основные результаты исследований, выполненных по теме диссертации, опубликованы в 15 работах, в том числе 2 статьи в научных изданиях, входящих в перечень, рекомендованных ВАК РФ, также имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Автореферат диссертации в полной мере отражает ее основное содержание.

Диссертационное исследование «Распределение и дифракция упругих волн в слоистых средах с неидеальным контактом» представляет собой научно-

квалификационную работу и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемых к кандидатским диссертациям (п.п. 9, 10 «Положение о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842), а автор исследования – Дорошенко Ольга Валерьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 — механика деформируемого твердого тела.

Отзыв составлен доктором физико-математических наук, профессором кафедры производства строительных конструкций и строительной механики Дунаевым Владиславом Игоревичем (Место работы: Кубанский государственный технологический университет; адрес: 350072, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2, корпус «Б», ауд. 205; телефон: +7 (928)849 84 05).

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры производства строительных конструкций и строительной механики Кубанского государственного технологического университета 26 ноября 2015 г., протокол № 3.

Заведующий кафедрой производства
строительных конструкций и
строительной механики,
кандидат технических наук, профессор

Черных Виктор Федорович

Профессор кафедры производства
строительных конструкций и
строительной механики,
доктор физико-математических наук

Дунаев Владислав Игоревич



В.Ф. Черных, В.И. Дунаев

Инициальный контроль
начальник Центра
инициального управления
и контроля
Каширина Е.И.
27.11.2015г.