

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по организации научной и
проектно-инновационной деятельности
Южного федерального университета

Д.э.н., доц.

И.К.Шевченко

«*12» января 2017г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный
университет» о диссертационной работе Ардазишвили Романа
Вячеславовича «Трехмерные кромочные волны в пластинах и оболочках»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Диссертационная работа Ардазишвили Р.В. посвящена исследованию гармонических упругих волн, локализующихся у торца пластины или цилиндрической оболочки - кромочных волн. Для описания колебаний рассматриваемых тел используются трехмерные уравнения теории упругости, что позволило рассмотреть кромочные волны высшего порядка, а также изучить свойства фундаментальных кромочных волн за пределами применимости прикладных двумерных теорий пластин и оболочек. В связи с совершенствованием измерительной аппаратуры в настоящее время появились возможности измерения характеристик коротких волн и применения их в различных приложениях. Разработка соответствующих

технических устройств и методов расчета невозможна без предварительного теоретического исследования типов упругих волн в пластинах и оболочках, возможных в том или ином высокочастотном диапазоне. Следовательно, тема диссертационного исследования, выбранная Ардазишвили Р.В., несомненно, является **актуальной**.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 136 наименований. Общий объем работы составляет 143 страницы, включая 50 рисунков и 3 таблицы.

Во **введении** сформулированы цель и задачи исследования, обоснована актуальность темы, указана научная новизна, описаны методы исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту. Представлен обзор работ, посвященных исследованию кромочных волн в пластинах и оболочках, и тесно связанного с этими волнами явления краевого резонанса. Отмечается, что до последнего времени кромочные волны исследовались, как правило, только на основе прикладных двумерных теорий пластин и оболочках, имеющих ограниченную область применимости и не позволяющих описать кромочные волны высшего порядка.

В **первой главе** изучаются трехмерные поверхностные волны в изотропном упругом полупространстве. При рассмотрении различных типов граничных условий на поверхности показано, что поверхностная волна существует в двух случаях: в случае свободной поверхности и в случае, когда на поверхности запрещено перемещение в одном из касательных направлений. Для каждой из существующих волн получены уравнения для определения скорости волны и построены формы колебаний. Эти результаты используются в следующей главе при анализе кромочных волн в пластинах.

Вторая глава посвящена исследованию кромочных волн в полубесконечной плите, колебания которой описываются трехмерными уравнениями теории упругости. Рассмотрены два типа граничных условий на лицевых поверхностях – свободные и жестко закрепленные лицевые

поверхности. На торце ставятся условия, соответствующие условиям существования трехмерной поверхностной волны, установленным в первой главе. При этом различаются случаи, когда на торце пластины запрещено перемещение в касательном направлении, параллельном лицевым поверхностям, и в направлении, перпендикулярном лицевым поверхностям. Во всех рассмотренных случаях при больших значениях волнового числа удается построить приближенную собственную форму изучаемой волны и получить асимптотики фазовых скоростей. Вид этих асимптотик устанавливает существование бесконечного счетного множества кромочных волн, скорости которых стремятся либо к скорости волны Рэлея, либо к скорости волны сдвига, в зависимости от вида граничных условий на торце.

Результаты асимптотического анализа сопоставляются с результатами численного решения, полученного методом разложения по модам. Для удовлетворения граничных условий на торце используется метод коллокаций. Приведены графики, иллюстрирующие поведение дисперсионных кривых и демонстрирующие выход численного решения на асимптотику.

В одном из рассмотренных случаев колебаний пластин со смешанными граничными условиями на лицевых поверхностях обнаружена фундаментальная волна, которая исследована численно при различных значениях коэффициента Пуассона. Показано, что предельная скорость этой волны при стремлении волнового числа к бесконечности не совпадает ни со скоростью волны Рэлея, ни со скоростью угловой волны в четвертьпространстве.

В **третьей** главе рассматриваются кромочные волны в полубесконечном полом цилиндре. Колебания описываются трехмерными уравнениями теории упругости в цилиндрической системе координат. Методика исследования кромочных волн аналогична использованной во второй главе для пластин. Для построения мод бесконечного полого цилиндра предложена специальная фундаментальная система решений

дифференциального уравнения Бесселя, позволяющая преодолеть ряд вычислительных трудностей. В результате численного исследования установлено, что антисимметричная фундаментальная кромочная волна, соответствующая в низкочастотной области изгибной волне по теории Кирхгофа–Лява, в коротковолновой области локализуется в окрестности наружной угловой окружности. Симметричная фундаментальная волна, соответствующая тангенциальной волне в теории Кирхгофа–Лява, локализуется в окрестности внутренней угловой окружности. Для волн высшего порядка показано, что в тонкой оболочке они могут быть приближенно рассчитаны по теории пластин, за исключением областей сближения дисперсионных кривых симметричных и антисимметричных кромочных волн. Для случая смешанных граничных условий на торце оболочки рассмотрены только фундаментальные волны. Решение по трехмерной теории упругости подтвердило факт существования этих волн, установленный ранее только на основе теории Кирхгофа–Лява.

В заключении приведены основные результаты диссертационного исследования.

Обоснованность положений и выводов диссертации определяется применением апробированной модели линейно упругого тела, корректной постановкой математических задач, применением строгих математических методов при исследовании. **Достоверность** полученных результатов подтверждается сравнением численного решения с асимптотиками, а в случае оболочки также хорошим совпадением результатов решения задач трехмерной теории с результатами решения соответствующих задач теории Кирхгофа–Лява в области применимости последней, с результатами исследований других авторов.

Научная новизна работы не вызывает сомнений: кромочные волны высшего порядка в пластинах со свободным торцом и со свободными либо жестко закрепленными лицевыми поверхностями были исследованы до сих

пор только для симметричного случая, а трехмерные кромочные волны в пластинах со смешанными граничными условиями на торце и кромочные волны в оболочках на основе трехмерной теории рассмотрены, по-видимому, впервые.

Научная значимость работы состоит в том, что в ней дано систематическое описание всех типов кромочных волн, возможных в однородной пластине и тонкой оболочке, развита методика исследования этих волн. **Практическая значимость** определяется тем, что полученные в ней результаты могут быть использованы для совершенствования акустических методов неразрушающего контроля и мониторинга элементов конструкций, а также для обнаружения явления краевого резонанса при расчете конструкций на динамические воздействия. Следует отметить также, что представленные в работе графики и простые приближенные формулы помогут исследователю-прикладнику оценить частотные диапазоны без проведения сложных численных расчетов.

По диссертации имеется ряд **замечаний**:

1. В разделе 1.1 на с.19 вводится величина h – «характерный размер». Не очень понятно, что такое характерный размер в задаче для полупространства.
2. Неясно, каким образом можно физически реализовать граничные условия (1.8)-(1.11).
3. Асимптотический анализ в разделе 2.2 связан с предельным переходом при $s \rightarrow \infty$. Неясно, каким способом можно осуществить режим нагружения торца сильно осциллирующими функциями в соответствии с (2.7)-(2.9).
4. Формула (2.7) основана на эвристических рассуждениях, неясно, каков порядок погрешности в формулах всего этого раздела.
5. Определение констант из соотношений (2.30) нуждается в комментариях, вывод о том что «погрешность удовлетворения

граничных условий вне малых окрестностей угловых точек не превышала 1%» (с.56) неконкретен, поскольку известно, что у задач подобного типа при наличии угловой точки разложение по нормальным модам требует аккуратности, выделения главной части плохо сходящихся рядов (см. ссылку 50 из списка цитированной литературы).

6. Имеется ряд технических замечаний

- на 20 странице в формуле (1.3) в последней строке потерял порядок производной
- в формуле (1.13) присутствует временной множитель, утверждается, что это есть частные решения уравнений(1.6), которые этого множителя не содержат; величина ω в(1.13) размерная, что не вяжется с обозначениями, введенными ранее в (1.1)
- на с.26 c_R есть безразмерная величина, вовсе не скорость волны Рэлея
- раздел 1.3.2. по сути повторяет 1.3.1, сводится к нему заменой осей координат
- на с. 46. «скорость, вычисленная по формуле (2.3)..» Формула (2.3) задает граничные условия
- на с.52 опечатка. Вместо $k \neq 1/2$ должно быть $k^2 \neq 1/2$

Сделанные замечания не снижают в целом высокий квалификационный уровень работы.

Оценивая работу в целом, отметим, что она является самостоятельным и завершенным исследованием, обладающим внутренним единством. Полученные в работе результаты полностью соответствуют заявленным целям исследования. Тема и содержание диссертации **соответствуют паспорту специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела** (п. 2 целей, пп. 7,8 перечня областей исследования, указанных в

паспорте специальности). Решенные в диссертации задачи имеют существенное значение для развития механики деформируемого тела.

Работа прошла достаточную апробацию на всероссийских и международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 4 работы в изданиях, входящих в список изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в научных исследованиях, проводимых в Южном федеральном университете, Кубанском государственном университете, Санкт-Петербургском государственном университете, МГТУ им. Баумана, Институте проблем механики РАН, ИПРИМ РАН, в других организациях, исследующих проблемы распространения упругих волн в твердых телах и их приложениями.

Диссертация «Трехмерные кромочные волны в пластинах и оболочках» представляет собой научно-квалификационную работу, удовлетворяющую пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а её автор – Ардазишвили Роман Вячеславович – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Отзыв составлен Ватульяном Александром Ованесовичем, доктором физико-математических наук (специальность - 01.02.04), профессором, заведующим кафедрой теории упругости Института математики, механики и компьютерных наук Южного федерального университета (344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова 8а, тел.8-918-58-96-075, e-mail vatulyan@math.rsu.ru).

Отзыв обсуждён и утверждён на заседании кафедры теории упругости факультета математики, механики и компьютерных наук ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», протокол заседания № 6 от 26 декабря 2016 года.

Заведующий кафедрой
теории упругости
Института математики,
механики и компьютерных наук
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
д.ф.-м.н., профессор



Ватulyян Александр Ованесович

344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова 8а
8-918-58-96-075
vatulyan@math.rsu.ru

Федеральное государственное автономное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Личную подпись

Ватulyяна А. О.

ЗАВЕРЯЮ:

Ведущий специалист в работе с персоналом

А. С. Каримова О. В.
« 26 » 12 20 16 г.