

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Агафонова Александра Александровича «Линейные и нелинейные эффекты при распространении упругих волн в твердотельных клиньях», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.7. Акустика

В диссертационной работе А.А. Агафонова проведены экспериментальные исследования особенностей распространения клиновых волн и влияния на них формы и материала образцов, граничных условий при контакте с различными средами, анизотропии и наличия искусственно внесенных дефектов. Для проведения исследований была разработана и создана автоматизированная ультразвуковая экспериментальная установка, обеспечившая получение большого массива опытных данных с высокой точностью, в ряде случаев оказавшейся менее 1%. В качестве опытных образцов выступали как классические прямые клинья, так и клинья сложной геометрии, в том числе цилиндрические и спиральные. В работе были исследованы как линейные свойства, в первую очередь локализация и дисперсия волн, так и нелинейные, связанные с генерацией высших гармоник в однородных и структурно-неоднородных образцах.

Актуальность работы связана как с прикладными задачами, связанными с возникновением и влиянием волновых движений на кромках различных образцов, оборудования, обрабатывающих станков, так и возможностями применения в задачах диагностики и неразрушающего контроля материалов. Внесение искусственно созданных дефектов или создание специальной геометрии клиньев, рассмотренные в работе, позволяют создать клиновые волны с новыми необычными свойствами, например, типа акустической черной дыры.

Среди полученных в диссертационной работе результатов отметим следующие наиболее значимые и представляющие интерес как в фундаментальном, так и прикладном отношении.

- Импульсным ультразвуковым методом и методом сканирующей лазерной виброметрии исследованы дисперсия и локализация клиновых волн в зависимости от частоты и угла клина. Полученная экспоненциальная зависимость амплитуды колебательной скорости от расстояния до ребра клина в целом подтверждает существующие теоретические результаты. При этом коэффициент локализации зависел от угла клина и не зависел от частоты.

- Экспериментально исследованы генерация второй упругой гармоники клиновых волн, а также изменения скорости распространения и затухания клиновой волны в зависимости от начальной амплитуды в образце с искусственно внесенными дефектами. Показано, что скорость волны заметно уменьшается при росте амплитуды, причем в образце с дефектами этот эффект проявляется при меньших значениях амплитуды по сравнению с

образцом без дефектов. Это свидетельствует о появлении неклассической структурной нелинейности. Это подтверждается и измеренной зависимостью амплитуды второй гармоники от амплитуды волны основной частоты: она оказалась степенной с коэффициентом  $\sim 1$ , что кардинально отличается от значения 2 для классической нелинейности для плоских волн.

- Проведены экспериментальные исследования генерации второй и третьей упругих гармоник клиновых волн, зависимости скорости и затухания клиновой волны при ее распространении в образце анизотропного материала - клина из монокристалла ниобата лития. Зависимость амплитуд гармоник также кардинально отличалась от соответствующих значений для классической нелинейности.

- Импульсным ультразвуковым методом и методом нелинейной ультразвуковой спектроскопии исследованы влияние одноосного растяжения на нелинейные свойства клиновых волн, для чего была разработана система для создания контролируемой силы, действующей на образец. Обнаружен рост амплитуды второй гармоники и уменьшение фазовой скорости клиновых волн при возрастании приложенного напряжения, а также гистерезис, связанный с перестройкой дефектной структуры материала.

- Экспериментально исследованы особенности распространения (дисперсии и локализации) клиновых волн в цилиндрических клиньях для двух типов геометрии – с положительной и отрицательной кривизной. Полученные экспериментальные данные находятся в хорошем соответствии с результатами теоретических оценок и численных расчетов. Как и в прямых клиньях, локализация клиновых волн имела экспоненциальный характер и коэффициент локализации не зависел от частоты. Исследовано влияние контакта поверхности клина с жидкостью. Показано, что наибольшее влияние жидкость оказывает при ее нахождении в области локализации клиновой волны, т.е. на расстояниях порядка половины длины волны от края клина. Показано также, что в спиральном клине типа сверла клиновые волны обладают дисперсией.

- Экспериментально исследовано распространение изгибных волн Лэмба в пластине со специальным поперечным профилем, приводящим к уменьшению длины волны и, следовательно, скорости волны, а также увеличению ее амплитуды при приближении к кромке пластины. Это позволяет сконцентрировать энергию волны в небольшой области вблизи края. С помощью лазерного виброметра проведена визуализация изменения фронта изгибной волны при различных исходных направлениях распространения: параллельно и перпендикулярно направлению уменьшения толщины пластины.

Основные результаты диссертации А.А. Агафонова опубликованы в 15 печатных работах, в том числе в 3 статьях в рецензируемых научных журналах, удовлетворяющих Положению о присуждении учёных степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова, 2 статьях в других рецензируемых научных

журналах и 10 публикациях в сборниках тезисов конференций.

Работа соответствует специальности 1.3.7. «Акустика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определённым пп. 2.1–2.5 «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемым к кандидатским диссертациям, и оформлена согласно приложениям № 8 и 9 «Положения о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова», а её автор — Агафонов Александр Александрович — заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.7. «Акустика».

Старший научный сотрудник кафедры акустики Физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова  
кандидат физико-математических наук  
(шифр научной специальности 01.04.06) \_\_\_\_\_ Гусев В.А.

подпись, дата

17.05.2024

Данные об авторе отзыва:

Гусев Владимир Андреевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, кафедры акустики Физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Адрес:

119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, 1, стр. 2, МГУ имени М.В.Ломоносова, Физический факультет

Контакты:

e-mail:

телефон:

Я, Гусев Владимир Андреевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета МГУ.013.6 и их дальнейшую обработку \_\_\_\_\_

подпись, дата

17.05.2024

Подпись Гусева Владимира Андреевича удостоверяю: