

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Глухова Антона Александровича «**ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ И НОРМАЛЬНЫЕ УПРУГИЕ ВОЛНЫ В АНИЗОТРОПНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ ТЕЛАХ С РАЗНОФАКТОРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ТИПА**»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8.-механика деформируемого твердого тела

Анализ процессов динамического деформирования элементов конструкций из упругих материалов является актуальным направлением исследований в механике деформируемого твердого тела. При этом в рамках этого направления весьма интересной задачей является изучение волновых процессов в волноводах различной структуры, в том числе обладающих неоднородными и анизотропными свойствами. Отметим, что учет неоднородности, особенно локализованной в окрестности границ волноводов, весьма важен для расчета современных волноведущих структур, изготовленных из функционально-градиентных материалов.

Предметом исследования в диссертации является изучение закономерностей распространения упругих волн в анизотропных функционально-градиентных волноводах в виде полупространства и слоя с локализованной приповерхностной неоднородностью и многофакторной неоднородностью, моделируемой различными сочетаниями функций экспоненциального типа. В силу этого можно считать диссертационное исследование весьма актуальным.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 219 источников.

Во **введении** представлена информация о цели, задачах, научной новизне, актуальности работы, теоретической и практической значимости. Представлен достаточно подробный анализ исследований авторов, исследовавших особенности колебаний упругих структур для различных законов неоднородности. Приведены сведения об апробации работы, структуре и объеме диссертации, публикациях по теме диссертации и личном вкладе диссертанта.

Раздел 1 диссертации содержит аналитический обзор научных публикаций, в которых представлены результаты исследований по проблемам распространения волн различного типа в упругих неоднородных волноводах, описаны различные типы неоднородности, наиболее часто использующиеся в теоретических

исследованиях. Представлена общая характеристика рассматриваемых классов задач о распространении локализованных поверхностных упругих волн в анизотропных телах с приграничной зоной неоднородности, а также задачи теории распространения локализованных сдвиговых и продольно-сдвиговых волн в волноводных структурах с многофакторной экспоненциальной неоднородностью физико-механических свойств.

Раздел 2. Во втором разделе работы предложена новая модель описания эффектов локализованной приповерхностной неоднородности в виде задания законов неоднородности с помощью семейств экспоненциальных функций, зависящих от двух параметров (двойных экспоненциальных функций). При этом при исследовании нормальных волн получены обыкновенные дифференциальные уравнения второго порядка (или системы обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка), у которых один из коэффициентов является переменным (выражается через экспоненциальную функцию), решения которых строятся в явном виде в виде рядов. Также в этом разделе получено решение задачи для волн SH-типа в трансверсально-изотропной функционально-градиентной среде с трехфакторной неоднородностью

Раздел 3. В третьем разделе диссертации построен аналитический вид дисперсионных соотношений для обобщенных поверхностных волн Лява в волноводных структурах, образуемых идеально контактирующими компонентами в виде однородного изотропного, либо экспоненциально-неоднородного функционально-градиентного слоя. Из результатов численного анализа дисперсионных соотношений автор делает вывод, что для высоких частот влияние параметров неоднородности на скорости обобщенных волн Лява из низшей моды спектра становится все менее выраженным. Влияние неоднородности на скорости волн на более высоких модах является еще менее существенным. Установлено, что учет приповерхностной неоднородности материала полупространства с ростом модулей упругости и плотности у поверхности контакта приводит к монотонному снижению значений относительных амплитуд смещений.

Проведен анализ распределения потока мощности, который показывает его рост на контактной и свободной границах.

Раздел 4. В четвертом разделе рассмотрены модели распространения SH волн и волн P-SV типа в нескольких видах волноводных структур в виде трансверсально-изотропного экспоненциально неоднородного слоя между трансверсально-изотропными функционально-градиентными полупространствами

с приповерхностной неоднородностью. В аналитической форме получены дисперсионные соотношения, проведено их исследование, построены графики.

Раздел 5. В пятом разделе работы представлены исследования, связанные с получением аналитических дисперсионных соотношений и анализом спектров нормальных SH волн, для слоя из функционально-градиентного трансверсально-изотропного материала с двухфакторной неоднородностью в случаях, когда задаются различные экспоненциальные законы изменения модулей упругости и плотности по толщине слоя, либо другие варианты моделирования неоднородности с помощью экспоненциальных функций.

В **заклучении** приведены основные результаты, полученные в диссертационном исследовании, сформулированы выводы. Отметим наиболее важные результаты

В диссертационной работе осуществлен анализ дисперсионных свойств волновых полей SH и P-SV типов в функционально градиентных волноводных структурах со специальной неоднородностью экспоненциального типа. Исследован ряд конкретных задач при различных сочетаниях экспоненциальной неоднородности. Проведены численные параметрические исследования анализируемых характеристик для изотропного и трансверсально-изотропного случаев, изучены модификации волн типа Лява, Релея в рассмотренных случаях неоднородности.

Степень обоснованности и достоверности научных достижений, выводов, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов диссертации Глухова А.А. обусловлена корректной математической постановкой задач для волноводов в рамках моделей неоднородной теории упругости для специальных видов экспоненциальной неоднородности, использованием верифицированных математических методов при анализе краевых задач для систем обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, анализом сходимости некоторых функциональных рядов, через которые выражаются базисные функции, использованием при численных исследованиях апробированных алгоритмов решения трансцендентных уравнений; сравнением отдельных результатов работы в предельных частных случаях с результатами исследований других авторов.

Научная новизна основных результатов работы, их теоретическая и практическая значимость

В работе предложена и апробирована новая аналитическая модель описания локализованной приповерхностной зоны неоднородности физико-механических характеристик функционально-градиентного изотропного и трансверсально-изотропного полупространства и слоя, базирующаяся как на использовании двойных экспоненциальных функций, так и на многофакторной неоднородности, состоящей при моделировании неоднородности нескольких экспонент с различными показателями.

Построены базисные частные решения для различных способов моделирования неоднородности (однофакторная, двухфакторная и трехфакторная неоднородность).

Реализованы приложения построенных базисных решений к формулировке дисперсионных соотношений и их численное исследование при анализе обобщенных SH и P-SV волн (для ряда задач с различными типами неоднородности экспоненциального типа).

На основе теоретического исследования построены решения и осуществлен параметрический анализ в задачах о распространении обобщенных волн Лява, Релея.

Теоретическая значимость результатов диссертации состоит в разработке численно-аналитических методов анализа закономерностей распространения обобщенных поверхностных волн сдвигового и продольно-сдвигового типа в составных неоднородных структурах, базирующихся на экспоненциальных законах неоднородности.

Практическая значимость результатов исследования заключается в возможности их использования в моделировании и конструкторских расчетах в области неразрушающего ультразвукового контроля, в области разработки акустоэлектронных компонентов на поверхностных акустических волнах.

Апробация результатов диссертационного исследования

По материалам диссертации опубликовано 11 статей в рецензируемых изданиях (журналы 1). Вестник Донецкого национального университета. Сер. А. Естественные науки, 2) Журнал теоретической и прикладной механики.), а также 10 публикаций в сборниках конференций и тезисов докладов.

В качестве замечаний по диссертации отмечу следующие:

1. В работе исследования проведены в основном для класса неоднородностей, характеризуемых двойными экспоненциальными функциями, зависящими от двух параметров. В то же время в работе не обсуждается вопрос о выборе этих параметров, которые бы характеризовали реальные функционально-градиентные материалы.
2. В списке авторов, принимавших участие в исследовании задач для слоистых структур, в том числе и неоднородных, приведенного на с. 19, отсутствуют ссылки на фундаментальные работы и монографии В. А., Бабешко, И. И. Воровича, Е. В. Глушкова, посвященные распространению волн в неоднородных волноводах.
3. Важным вопросом при изучении структуры дисперсионных соотношений и волновых полей является исследование влияния неоднородности в окрестности толщинных резонансов. К сожалению, такое исследование в диссертации отсутствует.
4. Недостаточно полно исследованы базисные функции. Было бы уместно представить графики базисных функций, иллюстрирующие зависимость от частоты колебаний.
5. Из текста работы неясно, каким образом находились корни дисперсионного уравнения, сколько слагаемых в рядах, представляющих базисные функции, сохранялось в расчетах и какова точность найденных скоростей, представленных в таблицах.
6. Каким образом автор объясняет появление точек негладкости функций, изображенных на рис. 3.3, 3.4
7. Отмечу неудачную терминологию, например «эффект приграничного «упрочнения», употребляемый на с. 31 и далее. Термин упрочнение в механике характеризует совсем другие особенности деформирования. Видимо, уместнее писать об «ужесточении» физических характеристик (по крайней части у модулей упругости).

Отмечу, что сделанные замечания носят характер пожеланий и не влияют в целом на положительное впечатление от диссертации Глухова А. А.

Автореферат диссертации правильно и полно отражает содержание диссертационного исследования. Диссертация **соответствует** паспорту специальности 1.1.8— механика деформируемого твердого тела

Резюмируя, считаю, что диссертационное исследование **ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ И НОРМАЛЬНЫЕ УПРУГИЕ ВОЛНЫ В АНИЗОТРОПНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ ТЕЛАХ С РАЗНОФАКТОРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ТИПА** является самостоятельным законченным квалификационным научным исследованием и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемых к кандидатским диссертациям по специальности 1.1.8-механика деформируемого твердого тела, а её автор – Глухов А. А. – заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

  *Ватульян А.О.*
Мирощниченко О.С.

Официальный оппонент Ватульян Александр Ованесович, Заведующий кафедрой теории упругости Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет», Заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук (специальность 01.02.04. физ.-мат. науки), профессор

344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова 8-А, оф. 110
+7 (863) 218-40-00 доб. 14023,
aovatulyan@sfedu.ru

Согласен на обработку персональных данных

«24».01. 2025г.