

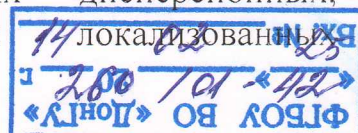
ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
Глухова Антона Александровича «Локализованные и нормальные упругие
волны в анизотропных функционально-градиентных телах с
разнофакторной неоднородностью экспоненциального типа»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности
1.1.8. Механика деформируемого твердого тела**

Актуальность темы диссертационной работы А.А. Глухова в достаточной мере обоснована и связана с важностью анализа волновых деформационных процессов в упругих телах и элементах конструкций из анизотропных неоднородных материалов. Эти задачи представляют интерес для горной сейсмоакустики, неразрушающего ультразвукового контроля, акустоэлектроники, механики подземных горно-шахтных сооружений, гидроакустики и др. Их особое значение связано с бурным развитием индустрии изготовления деталей машин, приборов и сооружений из функционально-градиентных нанокompозитных материалов на базе аддитивных технологий, что обусловило потребности в совершенствовании и разработке новых расчетных методов анализа деформационных процессов, в том числе динамического волнового деформирования, для применения в проектно-конструкторских работах. При этом, несмотря на возможности решения отмеченных проблем с применением универсальных конечно-элементных методик и комплексов программ, разработка специализированных численно-аналитических методов анализа моделей динамического деформирования, обусловленного распространением упругих поверхностных и нормальных волн в функционально-градиентных анизотропных в форме полупространства и плоскопараллельного слоя, сохраняют высокую меру актуальности. Роль таких методов заключается в возможностях осуществления более эффективного качественного параметрического анализа основных характеристик исследуемых деформационных эффектов, а также в использовании аналитических методик, как средства верификации расчетных данных, получаемых с применением универсальных численных подходов. Поскольку применительно к большинству рассматриваемых в диссертационной работе моделей распространения локализованных и нормальных упругих волн в анизотропных функционально-градиентных телах при учете многофакторности в описании экспоненциальной неоднородности их физико-механических свойств разработки эффективных методов численно-аналитического исследования отсутствуют, то ее тема несомненно может быть признана актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Выносимые на защиту научные положения работы являются содержательными, имеют достаточную степень обоснованности и отвечают основным результатам проведенных исследований.

Так, положение об эффективности описания приповерхностной зоны однофакторной неоднородности свойств функционально-градиентного анизотропного полупространства с применением двойных экспоненциальных функций при численно-аналитических исследованиях дисперсионных, кинематических и энергетических характеристик



однопарциальных, двух- и трехпарциальных упругих волн, и важности результатов этих исследований для расчетного проектирования компонентов акустоэлектронной техники и технологий сейсмоакустических исследований, обоснованно следует из результатов второго, третьего и четвертого раздела работы.

Положение об эффективности применения аппарата исследования представляющих прикладной интерес моделей обобщенных волн поверхностных Лява и Рэлея в полубесконечных анизотропных функционально-градиентных телах с приповерхностной физико-механической неоднородностью, базирующегося на использовании построенных в диссертации аналитических решений амплитудных дифференциальных уравнений распространения в этих телах сдвиговых и продольно-сдвиговых упругих волн, обоснованно вытекает из результатов, полученных во втором и третьем разделах работы.

Положение о значимости полученных в работе дисперсионных соотношений, результатов расчета кинематических, силовых и энергетических характеристик локализованных сдвиговых и продольно-сдвиговых волн в однородном анизотропном слое и анизотропном слое с симметричным экспоненциальным законом поперечной неоднородности, расположенными между однотипными функционально-градиентными полупространствами с приграничными зонами неоднородности, в качестве новых элементов базы фундаментальных знаний в теории волнового деформирования и инструментов повышения точности исследований в области шахтной сейсмодиагностики пластов полезных ископаемых, в полной мере следует из результатов четвертого раздела диссертации.

Положение о важности разработанных и апробированных в диссертации методик получения дисперсионных уравнений для нормальных SH и P-SV волн в анизотропном слое с альтернативными вариантами двухфакторной экспоненциальной неоднородности, а также для нормальных сдвиговых волн в трансверсально-изотропном функционально-градиентном слое с трехфакторной экспоненциальной неоднородностью, для фундаментальной науки и практики инженерных расчетов в динамике нанокompозитных конструкций, проектирования волноводных компонентов устройств радиоэлектроники и акустической диагностики, является обоснованным следствием исследований пятого раздела работы.

Обоснованными и объективно следующими из реализованных в диссертации исследований являются также пункты заключений по разделам и общего заключения по диссертации в целом. Выводы, заключения и рекомендации работы в достаточной степени обоснованы также адекватностью принятых в работе допущений, корректностью применяемых методов и согласованностью результатов проведенных в диссертации исследований в частных случаях с опубликованными результатами других авторов. Исходя из анализа представленных в диссертации и автореферате научных результатов автора, а также на основе анализа публикаций А.А. Глухова по теме работы, можно сделать вывод о том, что основные сформулированные цели и задачи исследования в полной мере реализованы, а полученные научные результаты с достаточной степенью полноты отражены в 22 публикациях по ее теме. В числе публикаций 11 статей в рецензируемых научных изданиях по научной специальности

диссертационной работы, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (7 статей в научных журналах, отнесенных к этой категории на основании письма Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 19 апреля 2023 г. № МН-3/3658 «О рецензируемых научных изданиях» согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 18 марта 2023 г. № 415, а также 4 статьи в журналах включенных в перечни ВАК при Минобрнауки России после 01.01.2024 года).

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность результатов подтверждается строгостью постановок рассматриваемых задач в рамках математически обоснованных апробированных моделей механики динамического деформирования анизотропных упругих сред, использованием при теоретическом исследовании рассматриваемых моделей верифицированных математических методов, включая аппарат теории дифференциальных уравнений в частных производных, теории обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений математической физики; анализом сходимости некоторых полученных решений волновых уравнений в функциональных рядах; использованием при численных исследованиях апробированных алгоритмов решения трансцендентных уравнений; сопоставительной проверкой согласованности отдельных полученных разработанными методами результатов работы с результатами, представленными в публикациях других авторов.

Проведенный анализ материалов диссертации Глухова А.А. позволяет выделить ряд обладающих новизной научных результатов, к которым правомерно отнесены:

- аналитическая модель описания локализованной приповерхностной однофакторной неоднородности физико-механических характеристик функционально-градиентного анизотропного полупространства, базирующаяся на интерпретации изменений комплекса свойств его материала двойными экспоненциальными функциями;

- получение базисных частных решений амплитудного волнового дифференциального уравнения в модели распространения сдвиговых упругих волн в полубесконечном трансверсально-изотропном массиве с описываемой двойными экспоненциальными функциями приграничной зоной однофакторной неоднородности;

- получение базисных частных решений систем амплитудных волновых дифференциальных уравнений для модели распространения упругих волн P-SV типа в полубесконечном трансверсально-изотропном функционально-градиентном массиве и модели распространения произвольно ориентированных трехпарциальных поверхностных волн в функционально-градиентном ортотропном полубесконечном массиве с описываемыми двойными экспоненциальными функциями приграничными локализованными зонами однофакторной неоднородности;

- получение базисных частных решений амплитудных волновых дифференциальных уравнений, описывающих распространение сдвиговых упругих волн в моделях двухфакторной и трехфакторной экспоненциальной неоднородности трансверсально-изотропной функционально-градиентной среды;

– построение и численный анализ решения задачи о распространении обобщенных поверхностных волн Лява в составных структурах «однородный анизотропный слой на функционально-градиентном анизотропном полупространстве с приграничной неоднородностью», «функционально-градиентный экспоненциально-неоднородный анизотропный слой на функционально-градиентном анизотропном полупространстве с приграничной неоднородностью»;

– построение и численный анализ решения задачи о распространении поверхностных волн релеевского типа в функционально-градиентном трансверсально-изотропном полупространстве с приграничной локализованной зоной неоднородности;

– построение и численный анализ решения задачи о распространении локализованных сдвиговых волн в однородном анизотропном слое между однотипными функционально-градиентными полупространствами с приграничными локализованными зонами неоднородности;

– построение и численный анализ решения задачи о распространении локализованных сдвиговых и продольно-сдвиговых волн в анизотропном слое с симметричным законом поперечной экспоненциальной неоднородности, расположенном между однотипными функционально-градиентными полупространствами с приграничными локализованными зонами неоднородности;

– получение и исследование отдельных вариантов дисперсионных соотношений для нормальных сдвиговых волн в слое с альтернативными вариантами двухфакторной экспоненциальной неоднородности;

– анализ модели распространения нормальных сдвиговых упругих волн в функционально-градиентном слое с трехфакторной экспоненциальной физико-механической неоднородностью;

– систематизация ряда физико-механических закономерностей влияния факторов анизотропии и экспоненциальной неоднородности отдельных классов упругих материалов на характеристики их стационарного волнового деформирования.

В целом уровень научной новизны результатов диссертационного исследования и степень их достоверности отвечают установленным требованиям.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов. Выполненные исследования имеют высокий уровень теоретической значимости, которая заключается в создании и апробации эффективных численно-аналитических методик решения новых классов задач теории распространения упругих волн в анизотропных функционально-градиентных экспоненциально-неоднородных телах с локализованной приповерхностной и многофакторной физико-механической неоднородностью.

Прикладное значение результатов работы обусловлено применимостью разработанных методик, алгоритмов их числовой компьютерной реализации, а также отдельных установленных и описанных свойств анализируемых волновых процессов при моделировании и проектно-конструкторских расчетах в области прогнозирования динамической прочности элементов строительных конструкций и деталей машин, в области неразрушающего ультразвукового контроля изделий, создаваемых с применением аддитивных технологий, для сферы разработки

акустоэлектронных радиокомпонентов, а также для геоакустических исследований.

Оценка содержания диссертации, её завершенность. Текст диссертации Глухова А.А. изложен на 186 страницах, включает введение, пять разделов, заключение и список использованных источников из 219 наименований. Работа в целом имеет рекомендованную для диссертационных исследований структуру, характеризуется логической связанностью в изложении полученных результатов и выводов. Во введении представлено обоснование актуальности темы диссертационного исследования, определены предмет, объект и методологические основания исследования, сформулированы его цели и задачи, охарактеризованы новизна научных результатов диссертации, их теоретическая и прикладная значимость, личный вклад автора в их получение. Приведены данные о публикациях и апробациях по тематике работы.

В первом разделе диссертации изложен аналитический обзор публикаций, посвященных теоретическим исследованиям по тематике работы. Приведены основные данные о моделях описания неоднородности функционально-градиентных деформируемых сред. Сформулированы ведущие методологические положения реализуемого в работе исследования.

Во втором разделе работы представлены результаты, связанные с введением описываемой двойными экспоненциальными функциями модели локализованной приповерхностной однофакторной неоднородности физико-механических характеристик функционально-градиентного анизотропного полупространства, а также изложено получение с применением аналитических итерационных алгоритмов базисных частных решений амплитудного волнового дифференциального уравнения с переменными коэффициентами и систем уравнений данного типа для моделей распространения сдвиговых, продольно-сдвиговых и трехпарциальных упругих волн в функционально-градиентных анизотропных полубесконечных массивах с приграничными зонами однофакторной неоднородности. Представлено также получение аналитических базисных частных решений амплитудных волновых уравнений для моделей распространения сдвиговых упругих волн в трансверсально-изотропном слое с двухфакторной и трехфакторной экспоненциальной физико-механической неоднородностью.

В третьем и четвертом разделах работы соответственно приводятся результаты использования представлений, построенных в втором разделе систем базисных решений волновых уравнений для теоретического и расчетного анализа моделей распространения обобщенных поверхностных упругих волн Лява и Рэлея в полубесконечных анизотропных телах с приграничной локализованной зоной неоднородности и моделей распространения локализованных сдвиговых и продольно-сдвиговых волн в деформируемом слое между вмещающими упругими анизотропными полупространствами с приграничной неоднородностью.

В пятом разделе представлено теоретическое и численное исследование спектров и свойств сдвиговых нормальных волн в волноводах в виде функционально-градиентного трансверсально-изотропного слоя, реализуемое с применением результатов аналитического интегрирования уравнений распространения волн этого типа в функционально градиентных средах с двух- и трехфакторной экспоненциальной неоднородностью.

Работа качественно оформлена в соответствии с установленными требованиями. По содержанию она в полной мере соответствует указанным в тексте диссертации и автореферате тематическим позициям паспорта специальности 1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела.

Комплексная общая оценка содержания и ведущих научных результатов диссертационной работы позволяют сделать положительное заключение о ее логической завершенности и полноте реализации актуальных задач исследования в рамках сформулированных целей.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации. При общей позитивной оценке материала работы и полученных в ней новых теоретически и практически значимых научных результатов, по содержанию и представлению проведенных исследований могут быть сделаны следующие замечания.

1. В обзорном подразделе 1.1 работы было бы целесообразным более подробно охарактеризовать публикации с исследованиями других авторов по моделям распространения сдвиговых волн в телах с двухфакторной экспоненциальной неоднородностью.

2. В подразделе 2.1, посвященном предлагаемой модели описания локализованной приповерхностной неоднородности полубесконечных функционально-градиентных тел двойными экспоненциальными функциями не рассмотрен вопрос о схеме экспериментального определения входящих в эти функции параметров.

3. Представленные в подразделе 2.2 результаты анализа сходимости функциональных экспоненциальных рядов в выражениях базисных частных решений для амплитудного уравнения распространения волн сдвига в полубесконечных анизотропных функционально-градиентных телах с приповерхностной неоднородностью не обобщены на случаи сходимости по норме векторных экспоненциальных рядов для моделей распространения в таких телах двухпарциальных и трехпарциальных упругих волн.

4. Получение в рамках анализа моделей распространения локализованных и нормальных волн, соответствующих дисперсионным уравнениям, не во всех случаях дополняется их численным исследованием.

5. В автореферате работы было бы целесообразным в большем объеме представить графические результаты расчетного анализа рассмотренных моделей.

Однако приведенные замечания не касаются ведущих научных положений, основных новых результатов и выводов диссертации, и принципиально не отражаются на ее общей позитивной оценке в контексте установленных требований к уровню и содержанию исследований, а также к степени личного участия автора работы Глухова А.А. в получении ведущих результатов проведенного исследования.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации. Автореферат диссертационной работы А.А. Глухова с достаточной мерой полноты корректно отражает ее основное содержание и представляет характеристику основных новых научных результатов исследования.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней. В целом имеются все основания для заключения о том, что диссертационная работа Глухова А.А.

«Локализованные и нормальные упругие волны в анизотропных функционально-градиентных телах с разнофакторной неоднородностью экспоненциального типа» является выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне и имеющей важное фундаментальное и прикладное значение завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний, а именно осуществлена разработка и апробация комплекса специализированных численно-аналитических методов теоретического исследования спектров и свойств локализованных и нормальных упругих волн в анизотропных функционально-градиентных телах с описываемой двойными экспоненциальными функциями приповерхностной неоднородностью и многофакторной неоднородностью экспоненциального типа, а также компьютерная реализация разработанных методов и проведение численных исследований ведущих закономерностей в структуре и свойствах анализируемых волновых полей. Диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Глухов Антон Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Даю согласие на обработку моих персональных данных.

Официальный оппонент,

кандидат физико-математических наук
(специальность 01.02.04 (1.1.8.)

Механика деформируемого твердого тела),
доцент кафедры «Математическое моделирование»
Автомобильно-дорожного института (филиала)
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Донецкий национальный
технический университет»

 Кисель Екатерина Сергеевна

«11» февраля 2025 г.

*Екатерина Кисель Е.С. подтверждает
ст. 11.1.8. ст. 11.1.8. ст. 11.1.8. ст. 11.1.8.*

Автомобильно-дорожный институт (филиал)
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Донецкий национальный
технический университет»
284646, РФ, ДНР, Горловка, ул. Кирова, 51,
телефон: +7(8564)-55-33-22
e-mail: inst@e.adidonntu.ru

*Директор АИИ
ДонНТУ*



(Замлад а Р.Ю.)