

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Моисеенко Игоря Алексеевича «Задачи волновой механики цилиндрических тел с усложненными геометрическими и физико-механическими свойствами», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы

В современных промышленных технологиях широко представлены композиционные материалы со структурной неоднородностью и усложненными физико-механическими свойствами. Наблюдается нарастающее применение в современном машиностроении структурно-неоднородных деталей и конструктивных элементов, упругие и механические свойства материалов которых, так или иначе, изменяются по объему. Неоднородность элементов деталей машиностроения может быть обусловлена различными причинами, например, действием нагрузок, внешних полей различной природы, способом изготовления, применением современных технологий изготовления и обработки новых конструкционных материалов, в том числе формируемых методами 3D печати. Неоднородность упругих свойств деформируемых твердых тел может быть вызвана зависимостью их физико-механических характеристик от температуры. Учет фактора неоднородности материала влечет за собой выявление новых волновых эффектов с локализацией в окрестности внутренних и внешних границ рабочих поверхностей деталей. Качественные и количественные характеристики этих эффектов зависят как от геометрических параметров деталей, так и от физических параметров, определяющих характер неоднородности их материалов.

К важным факторам при исследовании волновых процессов следует относить также учет особенностей геометрии рассматриваемых областей, в первую очередь наличие в них угловых точек и линий раздела сред с различными упругими характеристиками. Представляет большой практический интерес исследование особенностей волнового поля в окрестности этих потенциальных концентраторов динамических напряжений, наличие которых может быть причиной разрушения материала. Качественное или количественное определение меры концентрации напряжений в указанных зонах является весьма важным и всегда актуальным вопросом. В этой связи следует отметить, что при построении различных асимптотических подходов для решения краевых задач динамической теории упругости существенную роль играют ограничения, налагаемые на поведение искомого решения в окрестности сингулярных точек. Известно, что при наличии в сечении сингулярных точек и линий, требование непрерывности производных от перемещений вплоть до этих точек и линий оказывается слишком сильным. В результате из рассмотрения выпадает широкий класс решений динамических задач, у которых нарушается непрерывность первых производных от перемещений в сингулярных точках и на линиях. К их числу относятся и задачи исследования волновых процессов в протяженных цилиндрических телах с ребрами и внутренними поверхностями раздела. Такие задачи волновой механики являются одними из самых интересных и малоисследованных, как с теоретической, так и с

прикладной точек зрения. Поэтому при их решении, исходя из физического смысла, должны быть учтены разумные ограничения на поведение решений рассматриваемых задач в окрестности сингулярных точек и линий, обеспечивающие непрерывность всех характеристик волнового поля во всей области сечения детали.

Анализ литературы, посвященной исследованию динамических характеристик волнового поля в анизотропных неоднородных средах, показывает, что весьма малоизученной следует считать задачу о влиянии меры анизотропии на особенности волнового поля в протяженных цилиндрических телах с негладкой граничной поверхностью. Полностью отсутствуют результаты комплексного анализа взаимосвязи факторов усложненной геометрии, качественных и количественных характеристик механической анизотропии, а также меры неоднородности материалов на волноводные свойства цилиндрических тел. К рассматриваемой группе актуальных проблем могут быть отнесены и задачи волновой механики для анизотропных неоднородных цилиндров со смешенными неклассическими вариантами задания краевых условий на различных участках граничных поверхностей, для цилиндров содержащих жидкость либо вмещенных в акустическую среду, а также задачи комплексного учета свойств геометрической и физической нелинейности в процессах динамического деформирования рассматриваемых объектов.

Здесь следует отметить, что использование существующих в настоящее время коммерческих фирменных универсальных программных комплексов (COSMOS/M, ANSYS и др.) для решения указанных классов задач с учетом сложной внутренней структуры волноводов в ряде случаев не представляется реальным по ряду причин. В их числе можно отметить практическую неприменимость указанных вычислительных инструментов к решению специфических задач, связанных, прежде всего, с возможностью выявления тонких динамических эффектов в проблемных зонах сечения волновода. Следовательно, в интересах развития фундаментальной науки для лучшего понимания физической сущности рассматриваемых волновых задач механики деформируемого твердого тела даже при современном развитии численных методов, в том числе метода конечных элементов, позволяющих с той или иной степенью точности решать практически любые задачи механики деформируемого твердого тела, крайне актуальным остается развитие исследований, основанных на точных аналитических подходах.

Таким образом, следует считать актуальными проблемы разработки эффективных аналитических и численно-аналитических методов решения задач волновой механики для цилиндрических тел с усложненными геометрическими и физико-механическими свойствами. Применение этих методов как инструмента предварительного аналитического исследования поставленных практических задач, наряду с экспериментальными исследованиями, должно предшествовать последующему применению методов численного моделирования.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

В первом разделе диссертационной работы автором изучены и критически анализируются известные достижения и теоретические положения других авторов,

работавших в области исследования закономерностей в анализируемых процессах упругих колебаний и распространения волн деформаций для изотропных и анизотропных тел на базе пространственных моделей. Особый акцент в обзоре уделен исследованиям спектров и свойств упругих волн в протяженных телах цилиндрической формы с учетом факторов усложнения деформационных свойств материалов в виде выраженной механической анизотропии, неоднородности, нелинейности, начальных напряжений; факторов усложнения геометрической формы поперечных сечений; составной структуры кусочно-однородных цилиндров; непрерывной неоднородности материалов (свойств функционально-градиентных материалов); факторов контакта граничных поверхностей цилиндров с жидкостью и задание на этих поверхностях смешанных неклассических типов граничных условий. Список литературных источников диссертации занимает 43 страницы и включает 399 позиций. Представленный в данном разделе обзор состояния выполненных теоретических разработок в области волновой механики цилиндрических деформируемых тел позволил автору обоснованно сделать заключение об актуальности темы и научных заданий данной диссертационной работы. Здесь, также, в контексте общей постановки представлены рассматриваемые в работе модели волновой динамики – линейная модель динамического деформирования однородных и неоднородных идеально упругих трансверсально-изотропных, цилиндрически-ортотропных и прямолинейно ортотропных сред, а также вариант модели геометрически и физически нелинейного деформирования трансверсально-изотропной среды, базирующейся на теории конечных деформаций и представлениях упругого потенциала с квадратичными и кубическими членами по деформациям.

Достоверность и обоснованность основных результатов и выводов, полученных на основе моделей, описанных в первом разделе и представленных в последующих разделах работы, обосновывается использованием апробированных математических моделей исследуемых деформационных процессов; строгостью и корректностью постановки рассматриваемых задач без привнесения упрощающих гипотез геометрической природы; использованием при исследованиях апробированных корректных математических методов; верификацией полученных решений по критериям удовлетворения уравнениям математической модели и граничным условиям рассматриваемых краевых задач; применением критериев сходимости к представлениям, получаемым в форме функциональных рядов; согласованностью результатов, полученных разрабатываемыми методами в предельных частных случаях, с опубликованными результатами других исследователей.

Основные результаты диссертации опубликованы в 50 печатных работах. В их числе 23 статьи в реферируемых изданиях из перечня ВАК ДНР, из которых 7 статей в изданиях, включенных в Международные наукометрические базы. Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на более чем двадцати научных форумах различного уровня.

Оценка новизны и практической ценности полученных результатов

В качестве новых научных результатов диссертантом выдвинуты положения:

1. Впервые разработаны методики построения базисных множеств частных решений уравнений волнового деформирования трансверсально-изотропных и цилиндрически-ортотропных цилиндров кругового и кольцевого поперечного сечения с экспоненциально-степенной радиальной неоднородностью для краевых задач о спектрах осесимметричных и неосесимметричных нормальных упругих волн.

2. Впервые в замкнутой форме с использованием функций Уиттекера построены базисные наборы частных решений системы уравнений волновой механики для задач о распространении нормальных крутильных волн в трансверсально-изотропных и цилиндрически-ортотропных цилиндрах кругового сечения для двух частных случаев экспоненциально-степенной радиальной неоднородности материала.

3. Впервые для задач о распространении нормальных крутильных волн в трансверсально-изотропных и цилиндрически-ортотропных цилиндрах кольцевого сечения для двух специальных случаев экспоненциально-степенной радиальной неоднородности материала в замкнутой форме построены базисные наборы частных решений уравнений волновой динамики, представленные через функции Уиттекера и интегралы биконфлюэнтного уравнения Гойна.

4. Впервые разработана методика построения и исследования аналитических представлений базисных частных решений вспомогательных спектральных задач для анализа проблемы распространения нормальных упругих волн в трансверсально-изотропных и цилиндрически-ортотропных волноводах секторно-кругового и секторно-кольцевого сечения с экспоненциально-степенной радиальной неоднородностью при наличии гибких нерастяжимых покрытий на радиальных участках граничной поверхности.

5. Впервые поставлены и решены вспомогательные спектральные задачи для исследования проблемы распространения нормальных волн в трансверсально-изотропных цилиндрах с радиальной неоднородностью материала экспоненциально-степенного типа, имеющих поперечные сечения в виде кругового сектора со свободными либо жестко закрепленными радиальными участками граничной поверхности. Исследованы основные свойства полученных решений и разработана методика построения дисперсионных соотношений для волн исследуемого типа с использованием полученных базисных множеств решений соответствующих вспомогательных спектральных задач.

6. Впервые решена задача учета в решениях дисперсионных задач о распространении нормальных волн в свободных и жестко закрепленных трансверсально-изотропных волноводах секторно-кругового сечения с радиальной неоднородностью материала экспоненциально-степенного типа членов, порождающих все возможные типы особенностей в поле напряжений в окрестности сингулярных точек границы волновода.

7. Разработана модифицированная методика получения и исследования дисперсионных соотношений для нормальных волн в трансверсально-изотропных и цилиндрически ортотропных волноводах кольцевого сечения с заполнением внутренней полости идеальной слабосжимаемой жидкостью.

8. Предложена модифицированная методика построения базисных множеств

частных решений уравнений волнового деформирования в форме кратных степенных рядов комплексных переменных для краевых задач о спектрах нормальных упругих волн в сплошных цилиндрах из прямолинейно ортотропных упругих материалов с гладкой границей поперечного сечения.

9. Впервые реализовано численно-аналитическое исследование малых нелинейных ангармонических эффектов при распространении монохроматических осесимметричных волн кручения вдоль протяженных трансверсально-изотропных цилиндров с использованием модели геометрически и физически нелинейного деформирования.

10. Впервые осуществлены разработка и реализация методик анализа параметрических закономерностей в топологическом строении и составе дисперсионных спектров нормальных волн, в распределениях их фазовых и групповых скоростей, а также в кинематических характеристиках волновых движений применительно к цилиндрам с усложненными геометрическими и физико-механическими свойствами.

11. Впервые даны обобщение и систематизация полученных новых фундаментальных данных о закономерностях влияния особенностей усложненной геометрии сечений, типов граничных условий, радиальной неоднородности, анизотропии и нелинейности физико-механических свойств материалов волноводов на структуры дисперсионных спектров и особенности кинематических характеристик исследуемых нормальных волн, представляющие первоочередной интерес для сферы практических приложений.

В целом, результаты, полученные автором, являются новыми научными знаниями в области механики деформируемого твердого тела.

К практической ценности представленной работы следует отнести то, что разработанные методы и алгоритмы их реализации могут быть использованы как инструменты предпроектного моделирования и эффективных технических решений в ряде современных научно-промышленных отраслей: технологиях неразрушающего ультразвукового контроля промышленных изделий; ультразвуковой диагностике конструкций из новых поколений неоднородных нанокompозитных материалов; моделировании и расчетах нелинейных акустоэлектронных устройств для интегрирования и усиления информационных сигналов.

Общие замечания по диссертационной работе

1. В формулировке цели исследования не совсем понятно выражение «разработка... результатов реализации теоретических и численно-аналитических методов решения...»

2. Тип экспоненциально-степенной неоднородности, принятый в работе, носит достаточно частный характер и не позволяет обобщить представленные результаты на более широкий круг неоднородных цилиндрических волноводов, используемых на практике. Кроме того, использование термина «функционально-градиентные материалы» предполагает контролирование создаваемых градиентов с целью существенного улучшения эксплуатационных свойств волновода. Эти вопросы в диссертации не рассматривались.

3. Основное внимание в работе уделено детальному исследованию дисперсионных соотношений и разработке методики их получения для различных геометрических и механических характеристик цилиндрических волноводов при различных граничных условиях. В то же время, в малой степени представлен анализ динамических характеристик волнового поля. В разделах 2, 5, 7 приведены распределения по радиальной компоненте амплитудных характеристик волновых перемещений для различных мод спектров, однако, для качественного многопараметрического описания динамического напряженного состояния этого недостаточно.

4. При обосновании достоверности результатов работы не представлены результаты сравнения с результатами, полученными при помощи численных конечно-элементных схем. Также дополнительным способом проверки достоверности (а, возможно, и получения дополнительных интересных результатов) был бы предельный переход от одной геометрии сечения волновода к другой. Например, переход кругового сектора в круг (рис. 1.1, 1.2 раздела 1) и кольцевого сектора в кольцо (рис. 1.3, 1.4 раздела 1). Кроме всего прочего анализ сходимости предлагаемых разложений требует более детального описания.

5. Граничные условия, рассмотренные в разделе 5, отличаются от рассмотренных в других разделах работы, что несколько нарушает целостную структуру работы.

6. В разделе 2 вводится ограничение на один из параметров неоднородности, а именно принято $\delta = 1/2$. Не понятно, как это ограничение влияет на дальнейшие результаты, поскольку анализ топологической эволюции дисперсионных кривых в зависимости от δ отсутствует.

7. В работе присутствуют неточности оформительского характера.

Например, десятичные дроби по всей работе обозначены с точкой (например, стр.82, 85, 87), а на стр. 146 – с запятой. Необходимо было придерживаться единых обозначений.

На той же стр. 146 обозначение кавычек отличается от принятого в тексте работы.

Стр.7 диссертации содержит грамматическую ошибку – «смешенными» вместо «смешанными». Также грамматическая ошибка присутствует на стр. 31 автореферата – неверный падеж: «... нахождении комплексных функциях...»

На стр.6 диссертации употреблен термин «упругие тела цилиндрической геометрии», который изредка применяется, в основном, для проволоки.

Список литературы содержит отдельные неточности в оформлении. Например, в источнике 3. Аксентян О.К. Особенности напряженно-деформированного состояния плиты в окрестности ребра / А.К. Аксентян // Прикл. механика. – 1967. – Т. 31. – № 1. – С. 178 – 186. указаны разные инициалы у автора (Ольга Кирилловна Аксентян); в источнике 4. Александров В.М. Тонкие концентраторы напряжений в упругих телах / В.М. Александров, Б.И. Сметанин, Б.В. Соболев. – М.: Физматлит, 1993. – 224 с. пропущены две косые черты после перечисления авторов и др.

Сделанные замечания не влияют на общую позитивную оценку представленного диссертационного исследования и полученных автором новых

научных результатов.

Диссертацию можно признать самостоятельной и завершенной научной работой, тематика и научные результаты которой в полной мере соответствуют паспорту научной специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела. В диссертации И.А. Моисеенко решена новая научная проблема, имеющая важное фундаментальное и прикладное хозяйственное значение, которая состоит в создании и обосновании нового численно-аналитического метода решения актуальных задач волновой механики цилиндрических тел с усложненными геометрическими и физико-механическими свойствами.

Автореферат диссертации в полной мере соответствует содержанию и адекватно отражает полученные основные научные положения. Оформление и содержание диссертации и автореферата удовлетворяют требованиям ВАК.

Считаю, что диссертационная работа на тему «Задачи волновой механики цилиндрических тел с усложненными геометрическими и физико-механическими свойствами» отвечает всем требованиям п. 2.1 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор **Моисеенко Игорь Алексеевич** заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01,02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой математического
моделирования Государственного
образовательного учреждения
высшего профессионального
образования «Горловский
автомобильно-дорожный институт
Донецкого национального технического
университета»
84646, ДНР, г. Горловка, ул. Кирова 51
факс:(0624) 55-29-67
E-mail:inst@adidonntu.ru
<http://www.adidonntu.ru/>



Левин

Вовк Леонид Петрович

Я, Вовк Леонид Петрович, согласен на автоматизированную обработку моих персональных данных _____

Левин
(подпись)



Подпись Вовка Л.П.
Подтверждаю Соб
Нац. отдела кадров Собокина В.К.
« 03 » декабря 20 18 г.