

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной
работе Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

«Институт машиноведения

им. А.А. Благонравова»

Российской академии наук,

доктор технических наук, профессор

Н.С. Азиков

«19» сентября 2018 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации по диссертации Моисеенко Игоря Алексеевича

«Задачи волновой механики цилиндрических тел с усложненными

геометрическими и физико-механическими свойствами»,

представленной на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук по специальности

01.02.04 - механика деформируемого твердого тела

Актуальность для науки и практики. Актуальность темы диссертационной работы И.А. Моисеенко объективно вытекает из анализа современного состояния теоретических исследований в области разработки методов математического моделирования процессов распространения волн деформаций в упругих телах цилиндрической геометрии. Наряду с правомерными соображениями о распространенности деталей и конструктивных элементов цилиндрической формы в машинах, приборах, строительных сооружениях, природных объектах и живых организмах, а также наличие длительной истории научных исследований по данной проблематике, можно также отметить наличие не исследованных проблем волновой динамики цилиндрических тел. В частности, актуальность темы определяется недостаточной разработанностью вопросов численно-аналитического исследования ряда неклассических пространственных проблем цилиндрических упругих волноводов. Они связаны с последовательным комплексным учетом нескольких специфических факторов усложнения их физико-механических и геометрических свойств. С одной стороны, это учет существенной анизотропии и непрерывной неоднородности механических свойств функционально-градиентных материалов однослойных и многослойных цилиндров, свойств геометрической и физической нелинейности деформационных процессов в анизотропных цилиндрических упругих волноводах. С другой стороны, это учет неканонической геометрии сечений рассматриваемых волноводов, в частности, анализ закономерностей распространения нормальных упругих волн в полых и сплошных однослойных

и многослойных цилиндрах с сечениями, имеющими вырезы секторной геометрии с произвольной угловой мерой. К этой группе актуальных проблем могут быть отнесены также пространственные задачи волновой механики цилиндров со смещенными неклассическими вариантами задания краевых условий на различных участках граничных поверхностей. Мало исследованными остаются проблемы распространения упругих волн в цилиндрах с жидкостным заполнением из анизотропных функционально-градиентных материалов. Существование перечисленных, требующих дальнейшего исследования проблем волновой динамики цилиндрических тел, в постановках которых учтены различные сочетания перечисленных факторов, правомерно связывается как со сложностями теоретического анализа ранее сформулированных задач данного класса, так и с появлением новых вариантов их постановки в контексте современных запросов инновационных научно-технических отраслей. Особую роль здесь играют достижения в технологиях изготовления и обработки новых конструкционных материалов, в том числе формируемых методами 3D печати.

Таким образом, разработка новых модификаций эффективных численно-аналитических методов решения пространственных задач волновой механики цилиндрических тел с усложненными геометрическими и физико-механическими свойствами востребована с точки зрения внутренней логики дальнейшего развития фундаментальных исследований в механике деформируемого твердого тела. Среди ее заданий важную роль играет создание дополнительных возможностей для верификации результатов применения к рассматриваемым проблемам прямых численных методов. Потребность в развитии численно-аналитических подходов в рассматриваемой предметной области связана и с эффективностью их применения для поиска и обобщения параметрических закономерностей в исследуемых процессах.

Актуальность представленных в диссертации исследований с точки зрения современных инженерных приложений связана с качеством анализа задач определяющего технического уровень и конкурентоспособность продукции предпроектного моделирования в технологиях неразрушающего ультразвукового контроля, в акустикоэлектронике, в машиностроении и строительной индустрии.

Таким образом, анализ целей, основных заданий и ведущих результатов работы позволяет сделать общий вывод об актуальности темы представленных в диссертационной работе И.А. Моисеенко исследований, ориентированных на решение современных научных проблем важного народно-хозяйственного значения.

Основные научные результаты и их значимость для науки и производства. В контексте сформулированных целей работы к основным, имеющим приоритетный уровень, результатам проведенных исследований могут быть отнесены следующие.

По проблеме исследования нормальных волн деформаций в трансверсально-изотропных и цилиндрически ортотропных функционально-

градиентных цилиндрах кругового поперечного сечения с экспоненциально-степенной радиальной неоднородностью впервые разработаны методики построения базисных множеств частных решений уравнений волнового деформирования применительно к краевым задачам о спектрах осесимметричных и неосесимметричных нормальных упругих волн; впервые в замкнутой форме с использованием функций Уиттекера построены базисные наборы частных решений системы уравнений волновой механики для двух частных случаев экспоненциально-степенной радиальной неоднородности материала; осуществлено построение и исследование дисперсионных соотношений для крутильных нормальных волн, нормальных осесимметричных волн продольно-сдвигового типа и неосесимметричных нормальных волн; проведен сравнительный анализ топологического строения дисперсионных спектров, распределений фазовых и групповых скоростей бегущих нормальных осесимметричных и неосесимметричных волн для случаев свободных и жестко закрепленных граничных поверхностей; проанализированы и описаны эффекты влияния на указанные характеристики параметров экспоненциально-степенной радиальной неоднородности материалов волноводов.

По проблеме исследования нормальных волн деформаций в трансверсально-изотропных и цилиндрически-ортотропных функционально-градиентных цилиндрах секторно-кругового поперечного сечения с экспоненциально-степенной радиальной неоднородностью для случаев наличия гибких нерастяжимых покрытий на радиальных участках граничной поверхности впервые разработана методика построения и исследования аналитических представлений базисных частных решений вспомогательных спектральных задач; осуществлено построение и исследование основных дисперсионных соотношений; проведен сравнительный анализ топологического строения дисперсионных спектров, в частности, распределений действительных ветвей исследуемых бегущих нормальных волн, их фазовых и групповых скоростей в рассматриваемых цилиндрах в случаях свободного цилиндрического участка граничной поверхности; проанализированы и описаны эффекты влияния на указанные характеристики параметров экспоненциально-степенной радиальной неоднородности материала и угловой меры сектора в сечении волновода.

При исследованиях нормальных волн деформаций в трансверсально-изотропных функционально-градиентных свободных либо жестко закрепленных по всей граничной поверхности цилиндрах секторно-кругового поперечного сечения с радиальной неоднородностью материала экспоненциально-степенного типа впервые поставлены и решены вспомогательные спектральные задачи; 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. Также впервые решена задача учета в решениях 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.

По проблеме исследования волн деформаций в трансверсально-изотропных и цилиндрически ортотропных функционально-градиентных цилиндрах кольцевого и секторно-кольцевого сечения с экспоненциально-степенной радиальной неоднородностью основные полученные в диссертационной работе результаты заключаются в осуществленной впервые разработке методики построения базисных множеств частных решений уравнений волнового деформирования для краевых задач о спектрах осесимметричных и неосесимметричных нормальных упругих волн; во впервые реализованном для двух специальных случаев экспоненциально-степенной радиальной неоднородности материалов построении в замкнутой форме базисных наборов частных решений уравнений волновой динамики, представленных через функции Уиттекера и интегралы биконфлюэнтного уравнения Гойна; в построении и исследовании основных дисперсионных соотношений; в реализации сравнительного анализа топологического строения дисперсионных спектров, распределений фазовых и групповых скоростей бегущих нормальных волн для случаев свободных и жестко закрепленных цилиндрических участков граничной поверхности и наличия гибких нерастяжимых покрытий на радиальных участках граничной поверхности волноводов секторно-кольцевого сечения, в анализе и описании эффектов влияния параметров экспоненциально-степенной радиальной неоднородности материала волновода на ведущие характеристики рассматриваемых волновых процессов.

Основные результаты исследований по проблеме распространения нормальных волн деформаций в трансверсально-изотропных и цилиндрически ортотропных функционально-градиентных цилиндрах кольцевого поперечного сечения с жидкостным заполнителем заключаются в разработке модифицированной методики получения и исследования дисперсионных соотношений, обобщении ведущих результатов осуществленных численных исследований влияния параметров радиальной неоднородности материала анизотропного полого цилиндра с жидкостным заполнением на топологию действительных ветвей дисперсионных спектров и на распределения фазовых скоростей бегущих осесимметричных нормальных волн.

По проблеме исследования нелинейных ангармонических эффектов при распространении нормальных упругих волн в цилиндрах с усложненными свойствами впервые реализовано численно-аналитическое исследование малых нелинейных эффектов генерирования вторых гармоник монохроматических осесимметричных волн кручения вдоль протяженных трансверсально-изотропных цилиндров на базе использования модели геометрически- и физически-нелинейного деформирования.

Ведущие результаты исследований в области методологии интегрирования уравнений стационарного динамического деформирования низкосимметричных анизотропных сред применительно к задачам волновой

механики цилиндрических тел заключаются в создании модифицированной методики 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.

Полученные результаты охватывают все сформулированные задачи исследования и позволяют сделать выводы о высокой степени полноты их решения в работе. 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.

Значимость теоретических результатов и выводов диссертационного исследования заключается в том, что они представляют собой значительный вклад в базу математических численно-аналитических методов решения новых классов пространственных задач волновой механики цилиндрических тел с усложненными геометрическими и физико-механическими свойствами, а также в базу фундаментальных знаний о закономерностях волновых процессов в рассматриваемых типах цилиндрических тел пространственной геометрии.

Практическая значимость результатов работы заключается в их непосредственной применимости в качестве инструментов предпроектного моделирования и выработки эффективных технических решений в ряде современных научно-промышленных отраслей, к числу которых относятся проектирование и конструкторские расчеты новых поколений волноводных компонентов акустоэлектронных устройств; технологии неразрушающего ультразвукового контроля промышленных изделий, в частности продукции трубного производства, упрочняемых осей и валов в ответственных конструкциях двигателестроения; ультраакустическая диагностика конструкций из новых поколений неоднородных нанокompозитных материалов; моделирование и расчеты нелинейных акустоэлектронных устройств для интегрирования и усиления информационных сигналов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Результаты и выводы работы могут быть использованы при реализации теоретических и прикладных исследований в ряде научных организаций Российской Федерации, в частности в Институте машиноведения им. А.А.Благонравова и Институте проблем механики им. А.Ю.Ишлинского Российской академии наук, в Южном федеральном университете и Донском государственном техническом университете РФ, а также в научно-

производственных организациях ДНР, в том числе в Республиканском академическом научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ), в Институте прикладной математики и механики МОН ДНР.

Содержание автореферата в полной мере соответствует основным положениям диссертации.

Общие замечания.

По результатам экспертного рецензирования работы может быть высказан ряд замечаний.

1. В разделе 5 работы не рассматривается случай свободных либо жесткозакрепленных радиальных участков цилиндрического волновода с поперечным сечением в виде секторного кольца, что было бы естественным в рамках аналогии с постановками задач, рассмотренными в разделах 3 и 4 работы.

2. Постановки задач, представленные в данной работе, ограничены только случаями (одновременно) свободных либо жестко закрепленных цилиндрических участков граничной поверхности, не смотря на то, что в рамках построенных решений могли бы быть рассмотрены и другие варианты граничных условий.

3. В разделах 2 и 3 работы при рассмотрении неосесимметричных волн в протяженных цилиндрах из цилиндрически ортотропных материалов вводятся три группы ограничений на модули упругости соответствующего однородного материала в функциональном законе радиальной неоднородности без комментариев по поводу физической природы такого разделения.

4. В разделе 4 работы для каждой поставленной спектральной задачи построены две группы ее частных решений, одна в аналитическом виде, а другая в численно-аналитическом. При наличии обоснования невозможности построения всех указанных решений в аналитическом виде не комментируется природа подобного разделения. Нет обоснования сходимости построенных разложений для указанных решений, представленных в аналитическом виде.

5. С точки зрения полноты проведенных исследований оправданным было бы рассмотрение в разделах 4 и 7 также постановок граничных задач для случая цилиндрически ортотропного материала.

6. В исследованиях свойств изучаемых нормальных волн не рассматриваются их энергетические характеристики.

Вместе с тем, приведенные замечания не снижают общую позитивную оценку диссертационного исследования.

Заключение. Диссертация Моисеенко Игоря Алексеевича представляет собой научно-квалификационную работу на актуальную тему, связанную с решением задач волновой механики цилиндрических тел с усложненными геометрическими и физико-механическими свойствами. Общее содержание работы, основные научные результаты и выводы в полной мере соответствуют тематическим позициям паспорта научной специальности 01.02.04 - механика деформируемого твердого тела.

Новые научные результаты, полученные диссертантом в работе, имеют существенное значение для фундаментальной и прикладной науки, а также для инженерной практики. Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы. Работа отвечает требованиям п. 2.1 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор И.А.Моисеенко заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 - механика деформируемого твердого тела.

Отзыв обсужден и одобрен на расширенном заседании лаборатории «теории механизмов и структуры машин» Федерального государственного бюджетного Учреждения науки Институт машиноведения им. А.А.Благонравова Российской академии наук « 13 » октября 2018 г., протокол № 41/18.

Д.т.н., профессор

Г.Я.Пановко

Я, Пановко Григорий Яковлевич, согласен на автоматизированную

обработку моих персональных данных

(подпись)

Подпись Г.Я.Пановко заверяю
Зам. начальника отдела кадров



С.И.Демидова