

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Сторожева Сергея Валериевича

«Нечетко-множественные методы учета факторов неопределенности в математических моделях деформационных и тепловых процессов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)

1. Актуальность избранной темы. Приведенные в диссертации данные аналитического обзора публикаций по теме работы с анализом степени ее разработанности, а также представленные соображения об областях и особенностях реализованного на сегодняшний день применения методов вероятностно-стохастического анализа в моделях механики и теплофизики, позволяют рассматривать задачи научного обоснования, развития и алгоритмизации численно-аналитических методов теории нечетких множеств для исследования факторов неопределенности при анализе широкого круга математических моделей деформационных и тепловых процессов, как имеющую важное теоретическое и прикладное значение современную актуальную научно-техническую проблему в области математического моделирования.

Основными мотивами для данного заключения являются, с одной стороны, необходимость использования результатов анализа таких моделей в инженерной практике при определении характеристик прочности, надежности и долговечности конструктивных элементов машин, приборов, строительных и подземных сооружений, в проектно-конструкторских работах для многих современных высокотехнологичных отраслей, а также при обеспечения режимов термостабилизации в технологических процессах. При этом, к ведущим типам подлежащей учету неопределенности безусловно относится фактор неконтрастности исходных параметров в виде разбросов их значений, обусловленных погрешностями и усреднениями данных экспериментальных измерений и экспертных оценок, вариациями рабочих параметров в пределах технологических допусков.

С другой стороны, при наличии вероятностно-стохастических модификаций обширного круга математических моделей деформационных и термических процессов, для доминирующего числа соответствующих задач подобные эффективные обобщения на данный момент отсутствуют. Практическое применение вероятностного подхода связано и с априорным заданием законов распределения результатов, что влияет на точность получаемых оценок и степень их соответствия реальным объектам, и с

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Вх. № 16/212
«05» 09 20 22

необходимостью использования исходной информации корректной статистической природы, получаемой на основе однородных частотных выборок достаточной мощности, что не всегда достижимо на практике. Современные компьютерные средства численной реализации методов стохастического анализа не позволяют также, к примеру в моделях строительной механики, реализовать эффективный одновременный учет более чем трех случайных факторов.

Поэтому представляет независимый интерес развитие параллельных подходов к учету факторов неопределенности в математических моделях деформационных и термических процессов с дополнительными возможностями и расширенными перспективами их применения к различным новым классам рассматриваемых моделей, а также с менее строгими требованиями к характеру исходной информации, включая возможности использования данных, полученных на основе субъективных экспертных заключений. В частности, такие возможности для учета факторов неопределенности исходных параметров в математических моделях деформационных и термических процессов открывает применение методов теории нечетких множеств, как на этапе формализации неконтрастных исходных данных, так и в процессе оперирования с соответствующей неопределенной информацией, вплоть до получения оценок для разбросов эндогенных параметров исследуемых моделей. Перспективы применения нечетко-множественных подходов к анализу исследуемых в диссертации математических моделей подтверждается современным опытом их использования при анализе факторов неопределенности в функционировании технических систем.

Таким образом, тема, цели и задания диссертационной работы являются актуальными в теоретическом и прикладном аспектах.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. На защиту в диссертационной работе С.В. Сторожева выносятся четыре ключевых положения, характеризующих общую методологическую концепцию исследования, круг рассматриваемых моделей, цели и особенности применения разрабатываемых методов, а также существо, теоретическую и прикладную значимость достигаемых благодаря реализованным исследованиям результатов с рекомендациями по их применению и развитию. Данные положения на основании анализа результатов работы могут быть признаны в необходимой мере обоснованными.

Обоснованность первого из них, согласно которому получение в предпроектном математическом моделировании уточненных оценок для ресурсов прочности, надежности и долговечности конструкционных

элементов технических систем с учетом эффектов потери устойчивости, резонансных колебаний и волнового деформирования при описании разбросов исходных физико-механических характеристик моделей маломощными частотными выборками экспериментальных данных и субъективными экспертными оценками, эффективно реализуется алгоритмизированными методами теории нечетких множеств путем фазификации неопределенных исходных параметров и расширения областей определения расчетных соотношений детерминистических версий соответствующих моделей на аргументы нечетко-множественного типа с фрагментированным поэтапным применением аппарата нечеткой арифметики и альфа-уровневой версии эвристического принципа обобщения, в полной мере подтверждается содержанием исследований, представленных в разделах 2, 4, 5 диссертации применительно к моделям деформирования тонкостенных конструкций стержневого, пластинчатого и оболочечного типа, моделям отражения и преломления волн деформаций, моделям волновых воздействий на гидроакустические экраны, колебаний пластин и оболочек.

Положение о том, что в предпроектных расчетах с использованием аналитических математических моделей концентрации механических напряжений и формирования зон пластических деформаций около отверстий и включений, туннельных полостей в геомассивах, повышение адекватности оценок запасов прочности и показателей надежности при учете разбросов в значениях экзогенных физико-механических и геометрических параметров моделей, может достигаться на основе применения нечетко-множественных методов с получением эндогенных параметров в форме, описывающей показатели уверенности в достижении этими параметрами значений из интервалов носителей определяемых множеств является следствием приведенных в разделе 3 работы исследований по разработке и применению методов нечетких вычислений к моделям деформирования пластин со свободными и подкрепленными круговыми и эллиптическими отверстиями, многоугольными отверстиями с закругленными углами, пьезопластин с отверстиями, а также к моделям возникновения охватывающих зон пластических деформаций вокруг полостей и отверстий круговой и сферической формы.

Обоснованность положения, согласно которому реализованное применение методов теории нечетких множеств для анализа обратных задач динамического деформирования тонкостенных конструктивных элементов технических устройств и подземных горно-шахтных сооружений, является эффективным инструментом решения проблемы резонансно-волновой идентификации их параметров по обладающим разбросами данным ультразвуковой диагностики и позволяет получать для

идентифицируемых параметров описания в виде нечетких величин с устанавливаемыми функциями принадлежности, подтверждается изложенными в разделах 4 и 5 работы результатами разработки метода идентификации неконтрастных характеристик многокомпонентной сатурированной среды по данным экспериментальных измерений скоростей продольных и поперечных волн, метода учета неопределенности экзогенных параметров в модели собственных колебаний предварительно напряженных прямоугольных пластин, метода нечеткой идентификации механических характеристик тонких изотропных плит на основе резонансно-волновой методики, метода нечеткой идентификации механических параметров нанокompозитных функционально-градиентных пластин с использованием данных ультразвуковой диагностики.

Наконец, обоснованность положения о том, что в математических моделях теплового экранирования и функционирования устройств распыления охлаждающих жидкостей в технических системах термостабилизации при наличии разбросов опытных и экспертных данных о характеристиках конструкционных материалов, жидкостей и газов, оценки неконтрастных эндогенных характеристик экранов, а также факелов, скоростей и показателей дисперсности аэрозольных потоков, эффективно описываются нечетко-множественными величинами на основе фазификации неопределенных исходных параметров и применения эвристического принципа расширения к расчетным соотношениям детерминистических версий моделей, вытекает из представленных в разделе 6 диссертации результатов разработки нечетко-множественных методов описания характеристик функционирования центробежных и центробежно-струйных форсунок, пневматических и дисковидных распылителей для создания аэрозольных охлаждающих потоков, эффектов теплообмена двухфазных потоков с высокотемпературными поверхностями, параметров функционирования теплоотражающих и теплоизолирующих экранов.

3. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций. Новые научные результаты и дополняемые рекомендациями выводы по итогам проведенных в диссертации исследований заключаются в том, что впервые:

– сформирована концепция разработки комплекса специализированных методов теории нечетких вычислений для учета факторов разброса исходных параметров в моделях деформирования упругих тел и конструкционных элементов, а также в моделях функционирования технических систем термостабилизации на основе расширения областей определения расчетных соотношений детерминистических вариантов соответствующих моделей на аргументы нечетко-множественных типов с фрагментированным поэтапным применением аппарата нечеткой арифметики и модифицированной альфа-

уровневой формы эвристического принципа обобщения; предложенные методы обладают дополнительными возможностями и перспективами прикладного применения и характеризуются менее строгими требованиями к характеру неконтрастной исходной информации, включая возможности использования маломощных выборок экспериментальных данных и результатов субъективных экспертных заключений.

– осуществлены разработка и алгоритмизация нечетко-множественных методов исследования моделей расчета характеристик резонансных колебаний, скоростей волн деформаций и критических усилий в задачах динамического деформирования и устойчивости стержневых конструкций в рамках классических и уточненных теорий, применение которых в проектных расчетах позволяет повысить достоверность оценок ресурсов прочности, надежности и функциональности конструктивных элементов данного типа в машинах, приборах и строительных сооружениях;

– осуществлены разработка и алгоритмизация методов нечетко-множественного учета неопределенности в моделях деформирования и устойчивости тонких пластин и оболочек, применение которых в инженерной практике позволяет получить более адекватные рекомендации по допустимым диапазонам варьирования проектных параметров машин и сооружений, в пределах которых обеспечиваются требования устойчивости, надежности, мгновенной и длительной прочности тонкостенных конструкций;

– дана разработка и алгоритмизация нечетко-множественных методов учета факторов неопределенности в задачах формирования полей концентрации напряжений и зон пластических деформаций около полостей, отверстий и включений в тонких пластинах и геомассивах, использование которых при конструировании строительных деталей и несущих конструкций машин, компонентов электронных устройств, проектировании горных сооружений с выработками и туннелями приводит к более адекватным рекомендациям по выбору конструктивных материалов, форм, размеров и способов размещения технологических полостей и включений, обеспечивающим требования надежности и прочности технических устройств и сооружений;

– осуществлена разработка методов и алгоритмов нечетко-множественного моделирования в задачах теории резонансных упругих колебаний пластин, панелей и цилиндров, применение которых позволяет улучшить характеристики прочности и надежности деталей машин, приборов и сооружений, работающих при вибрационных нагрузениях широких частотных диапазонов;

– дана разработка и алгоритмизация моделей нечетко-множественной резонансно-волновой идентификации механических характеристик тонких

изотропных и нанокompозитных функционально-градиентных пластин с использованием данных ультразвуковой диагностики, применение которой для обработки экспериментальных данных обеспечивает повышение степени соответствия результатов идентификации геометрических и физико-механических характеристик конструкций реальным свойствам объектов;

– предложены и программно реализованы методы нечетко-множественного исследования математических моделей распространения и дисперсии объемных, поверхностных и нормальных волн упругих, электроупругих и магнитоупругих деформаций при учете разбросов значений экзогенных параметров моделирования, повышающие уровень корректности и практической ценности оценок сейсמודинамических и геоакустических прогнозов и измерений, точности расчетов для конструкций акустоэлектронных радиокомпонентов, достоверности оценок вибрационной прочности для несущих конструкций в машинах, строительных и горно-шахтных сооружениях;

– созданы нечетко-множественные методы анализа моделей функционирования и алгоритмы расчета параметров плоских гидроакустических экранов при учете неопределенности исходных данных, что позволяет при их конструировании добиваться необходимой меры стабильности показателей интенсивности отраженных и генерируемых за экраном волновых сигналов;

– осуществлена разработка нечетко-множественных методов и алгоритмов учета неопределенности для моделей форсуночного рассеяния охлаждающих жидкостей в системах термостабилизации, применение которых в конструкторских расчетах обеспечивает совершенствование параметров рабочих устройств и технологических процессов жидкостно-капельного охлаждения, включая показатели расхода и определение допустимой меры изменений в конструктивных параметрах форсунок при износе;

– реализована разработка нечетко-множественных методов и алгоритмов учета факторов неопределенности для математических моделей распада струи жидкости в пневматических и ротационных дисковых распылителях устройств воздушно-капельного охлаждения, позволяющих повысить адекватность оценок для факелов и траекторий движения капель распыляемой жидкости при проектировании технических устройств систем термостабилизации;

– разработаны нечетко-множественные методы исследования факторов неопределенности в моделях термостабилизации высокотемпературных поверхностей обтекающими газопаровыми потоками, обеспечивающие получение более адекватных инженерной практике рекомендаций по выбору

режимов охлаждения потоками аэрозолей, параметров дисперсности парожидкостной фракции и скоростей обтекания;

– разработаны методы и алгоритмы нечетко-множественного анализа моделей теплоотражающих экранов с неопределенными конструктивными характеристиками, применение которых в проектных расчетах позволяет определять параметры пакетов тонких мембранных отражающих элементов, более адекватные реальным эксплуатационным условиям и обеспечивающие заданные показатели эффективности экранирования тепловых излучений в технических системах.

Основными доводами в отношении достоверности и обоснованности положений и выводов работы являются использование в исследованиях результатов анализа апробированных детерминистических версий моделей деформационных и термических процессов; корректное использование в качестве методологической базы исследования строгих обоснованных математических методов, включая апробированные методы теории нечетких множеств; согласованность отдельных получаемых результатов с представленными в научной литературе частными результатами других исследований, осуществленных на базе детерминистических и вероятностных моделей, а также с опытными экспериментальными данными; верификация разрабатываемых теоретических нечетко-множественных алгоритмов и создаваемых для их компьютерной реализации программных приложений; соответствие между полученными научными результатами и отраженными в документах по внедрению данными об их практическом использовании.

4. Значение результатов исследований для науки и практики

Научное значение результатов представленных в диссертации исследований заключается в разработке эффективных теоретически обоснованных специализированных численно-аналитических нечетко-множественных методов для решения новых классов задач математического моделирования деформационных и термических процессов с учетом факторов неопределенности экзогенных параметров. На базу выполненных исследований определены также перспективные направления дальнейших исследований в области прикладного нечетко-множественного моделирования деформационных и тепловых процессов.

Областями практического применения разработанных методов являются проектно-конструкторские работы в машиностроении, строительстве, приборостроении и электронике, ультразвуковой дефектоскопии и сейсмоакустике, горном деле. При этом, непосредственно разработанные в диссертации нечетко-множественные методы и программные приложения нашли практическое применение в Акционерном

обществе «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М.А. Карцева, г. Москва, при расчетах параметров нанорезонаторов, ультраакустических линий задержки и фильтров на поверхностных акустических волнах; в Республиканском академическом научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, г. Донецк, при обработке геоакустической информации о свойствах массивов горных пород с выработками. Результаты внедрены также в учебном процессе в Донецком национальном университете, г. Донецк, при чтении лекционного курса для студентов направления подготовки «Системный анализ и управление».

5. Замечания по содержанию диссертации и автореферата. По содержанию диссертационной работы и ее автореферата могут быть высказаны следующие замечания.

1. В работе приведен пример сопоставления результатов применения метода теории вероятностей и метода теории нечетких множеств при исследовании деформационных процессов, касающийся получения в подразделе 4.4 оценок для радиуса зоны пластического деформирования толстостенной сферы, подверженной действию имеющего разбросы значений внутреннего давления. Приведенный пример достаточно ясно иллюстрирует возможности указанных методов и подходов, но для полноты картины было бы весьма полезным привести еще примеры прикладного характера.

2. Было бы целесообразным детальнее представить в подразделе 1.4 работы разработанную методику решения вопроса о выборе конкретного типа представлений нечетких чисел для описания неконтрастных исходных параметров в конкретных рассматриваемых моделях, а также остановиться на возможностях прямого использования гистограмм частотных распределений неконтрастных параметров в качестве функций принадлежности при их нечетко-множественной интерпретации

3. При характеристике специфики применения вероятностных и нечетко-множественных методов для исследования факторов неопределенности в моделях деформационных и тепловых процессов было бы полезным дать более развернутую детализированную информацию о моделях рассматриваемого типа, применительно к которым разработаны и применялись методы стохастического анализа, а также об основных результатах, полученных на основе данного подхода.

4. Целесообразным было бы дать сопоставительную характеристику принимаемой концепции перехода к нечетко-множественным параметрам в соотношениях детерминистических версий рассматриваемых моделей и подхода, предполагающего получение и исследование для моделей рассматриваемых типов нечетких дифференциальных уравнений.

5. Для целостности исследования было бы естественным привести алгоритмы поиска минимальных и максимальных значений для функций эндогенных расчетных характеристик моделей, используемые при реализации альфа-уровневой версии эвристического принципа расширения.

6. В автореферате следовало бы отразить особенности применяемой в подразделе 2.7 (стр. 124-129 диссертационной работы) методики использования идемпотентной арифметики двухкомпонентных нечетких треугольных чисел в задаче об устойчивости тонких цилиндрических оболочек с неконтрастными параметрами и сопоставить полученные результаты с результатами применения классической методики использования неидемпотентной арифметики.

7. В тексте автореферата следовало бы больше уделить объема для описания возможностей программных комплексов, разработанных для реализации нечетко-множественных методов исследования рассматриваемых моделей.

Указанные замечания не влияют на корректность и важность полученных результатов, не умаляют значимости диссертационного исследования.

6. Заключение о соответствии диссертации установленным критериям. Подготовленная С.В. Сторожевым диссертация «Нечетко-множественные методы учета факторов неопределенности в математических моделях деформационных и тепловых процессов» посвящена актуальным научно-техническим проблемам в области математического моделирования и разработки комплексов программных приложений для численной реализации методов исследования математических моделей, решение которых в крайне высокой мере востребовано в практике предпроектного моделирования, проведения конструкторских расчетов и управления технологическими процессами в машиностроении, строительстве наземных и подземных сооружений, в электронике, технологиях ультразвукового контроля и сейсмодиагностики. Работа содержит новые теоретически значимые научные результаты в области прикладного нечетко-множественного моделирования, включает ряд обоснованных исследовательских положений. Стиль изложения результатов в диссертации и содержание ее автореферата отвечают установленным нормам.

Диссертационная работа по существу проведенных исследований и полученных результатов отвечает позициям паспорта научной специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки). Результаты работы получили практическое внедрение и перспективны для дальнейших исследований, общая положительная оценка работы очевидна.

Таким образом, диссертационная работа «Нечетко-множественные методы учета факторов неопределенности в математических моделях деформационных и тепловых процессов» является завершенной научно-исследовательской работой, которая требованиям п. 2.1 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автору Сторожеву Сергею Валериевичу может быть присуждена ученая степень доктора технических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).

04.07.2022

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры уравнений в частных
производных и теории вероятностей

ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный университет»

Провоторов Вячеслав Васильевич

394018, Россия, г. Воронеж,

Университетская площадь, 1

тел. +7 473 2207521 e-mail: office@main.vsu.ru

Я, Провоторов Вячеслав Васильевич, согласен на автоматизированную
обработку моих персональных данных

Подпись Провоторова Вячеслава Васильевича
заверяю:

Начальник ОК ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
университет»



О.И.Зверева