



**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук
(ИМАШ РАН)**

Малый Харитоньевский пер., дом 4, Москва, 101000
телефон/факс: (495) 624-98-00, (495) 624-98-63, e-mail: info@imash.ru, www.imash.ru
ОКПО 00224588, ОГРН 1037700067492, ИНН 7701018175, КПП 770101001

16.06.2022 № 11503-04/12-265
На № 30-12/69 от 29.04.22

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора ИМАШ РАН
по научной работе

доктор технических наук, профессор
М.Н. Ерофеев



2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
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 темы диссертации для науки и практики

Тема представленного в диссертационной работе С.В. Сторожева научного исследования имеет весьма высокую степень актуальности в научном и практическом аспектах. Мотивы и доводы для данного суждения с достаточной мерой детализации представлены в работе и подтверждаются широтой круга применений математических моделей деформирования, прогнозирования прочности, надежности и долговечности конструктивных элементов машин, приборов, строительных и подземных сооружений, а также прикладных моделей термических процессов, в первую очередь обеспечения технологических режимов термостабилизации, в инженерном проектировании. Общим свойством данных моделей в практике реального применения при проектных расчетах являются весьма значительные разбросы значений их исходных физико-механических и геометрических параметров, обусловленные погрешностями и усреднениями данных экспериментальных замеров, вариативностью экспертных

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Вх. № 16/2022
«03» 09 2022

оценок, технологическими допусками, разновариантностью эксплуатационных режимов и другими факторами. На практике характер доступной информации о подлежащих учету разбросах в весьма обширном числе случаев не отвечает в полной мере требованиям, связанным с ее корректным использованием в рамках применения методов вероятностно-стохастического анализа при исследовании рассматриваемых классов моделей. Применение указанных методов базируется также на априорных гипотезах о виде статистических распределений для описываемых эндогенных параметров моделирования, субъективно влияющих на результаты анализа.

В силу представленных соображений, осуществленное в диссертации развитие концепции использования положений теории нечетких множеств как основы для разработки прикладных численно-аналитических методов учета факторов неопределенности в виде разбросов значений экзогенных параметров математических моделей деформационных и тепловых процессов, дополняющих возможности методов вероятностно-стохастического анализа при возникновении сложностей для их эффективной реализации, а также разработка программных приложений для практического применения методов нечетко-множественного анализа в практике инженерного проектирования, является актуальным научно-техническим заданием в теории математического моделирования, в создании и компьютерной реализации методов численных исследований математических моделей технических систем. Анализ степени разработанности научных подходов, связанных с тематикой диссертации, также свидетельствует об актуальности ее целей и основных заданий.

2. Основные научные результаты и их значимость для науки и практики

Основными имеющими важное теоретическое и прикладное значение новыми научными результатами представленных в диссертационной работе С.В. Сторожева исследований, соответственно ее цели и заданиям являются:

– разработанные методы и алгоритмы нечетко-множественного исследования моделей резонансных колебаний, распространения волн деформаций и потери устойчивости для тонкостенных стержневых, пластинчатых и оболочечных конструкций с неопределенными параметрами, обеспечивающие повышение корректности предпроектных конструкторских расчетов по определению ресурсов прочности, надежности и функциональности соответствующих конструктивных элементов в машинах, приборах и строительных сооружениях;

– разработанные нечетко-множественные методы и алгоритмы анализа моделей концентрации напряжений и возникновения зон пластических деформаций около полостей, отверстий и включений в пластинчатых

конструкциях и геомассивах с учетом факторов разброса исходных физико-механических и геометрических параметров, востребованные при совершенствовании методологий конструирования многосвязных строительных деталей, корпусов и несущих конструкций машин, печатных плат электронных устройств, объектов аэрокосмической техники, а также при проектировании горных сооружений с выработками и транспортными туннелями на основе выработки более обоснованных рекомендаций по выбору рабочих параметров, обеспечивающих требования к надежности и механической прочности указанных конструкций и сооружений;

– созданные специализированные методы нечетко-множественного исследования моделей распространения, дисперсии и трансформации объемных, поверхностных и нормальных волн упругих, электроупругих и магнитоупругих деформаций с учетом разбросов значений их экзогенных параметров, позволяющие повысить уровень корректности и практической ценности данных сейсמודинамических и геоакустических измерений, повысить точность конструкторских расчетов по определению рабочих характеристик акустоэлектронных радиокомпонентов в виде линий задержки и фильтров на поверхностных акустических волнах, адекватность оценок вибрационной прочности конструкционных элементов машин, строительных и горно-шахтных сооружений;

– разработанные нечетко-множественные методы анализа моделей резонансно-волновой идентификации неконтрастных механических характеристик тонких изотропных плит и нанокompозитных функционально-градиентных пластин-резонаторов с использованием данных ультразвуковой диагностики, позволяющие повысить степень соответствия результатов экспериментальных исследований реальным свойствам исследуемых объектов;

– разработанные нечетко-множественные методы и алгоритмы анализа моделей функционирования плоских гидроакустических экранов при учете неопределенности исходных данных о физико-механических и геометрических параметрах их компонентов, позволяющие прогнозировать необходимую степень стабильности для показателей интенсивности отраженных и генерируемых за экраном волновых сигналов при конструировании и выборе материалов для их изготовления;

– созданные специализированные нечетко-множественные методы анализа моделей формирования аэрозольных потоков в технических системах жидкостно-капельного охлаждения при учете неопределенности конструктивных характеристик устройств распыления и параметров рассеиваемой жидкости, обеспечивающих повышение эффективности

функционирования технических систем термостабилизации с применением двухкомпонентных газожидкостных смесей;

– разработанные нечетко-множественные модификации методов учета разбросов исходных параметров в моделях термостабилизации плоских и цилиндрических высокотемпературных поверхностей обтекающими газожидкостными потоками, применение которых позволяет вырабатывать более адекватные рекомендации по выбору параметров дисперсности и скоростей обтекания охлаждаемых технических конструкций потоками аэрозолей;

– созданные методы и алгоритмы нечетко-множественного анализа расчетных моделей многослойных тепловых экранов с разбросами характеристик отражающих элементов, позволяющие получить параметры экранирования тепловых излучений в технических системах с применением пакетов тонких мембранных отражателей, более адекватные реальным эксплуатационным условиям.

Теоретическое значение результатов представленных в работе исследований заключается в создании специализированных теоретически обоснованных эффективных численно-аналитических нечетко-множественных методов для решения новых классов научных задач моделирования деформационных и термических процессов с учетом факторов неопределенности экзогенных параметров, что отвечает логике внутринаучного развития фундаментальных исследований в области теории математического моделирования.

Непосредственное практическое прикладное значение имеют результаты работы, заключающиеся в получении на основе разработанных методов и программных приложений нечетко-множественных оценок для моделей теории ультразвуковых волн в пьезоактивных средах; для моделей распространения электроупругих поверхностных волн и нормальных ультразвуковых волн в однослойных и двухслойных волноводах; для моделей нечеткой идентификации механических параметров нанокompозитных функционально-градиентных резонаторов с использованием данных ультразвуковой диагностики, а также нечетко-множественные оценки в расчетах характеристик тепловых экранов. Указанные результаты, согласно подтверждающим документам, внедрены в поисковых и проектных разработках Ордена Трудового Красного Знамени АО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М.А. Карцева», г. Москва (справка о внедрении № 404–01 от 23.11.2021 г., подписана генеральным директором АО «НИИВК им. М.А. Карцева» А.В. Горшковым). В качестве инструментов повышения достоверности данных о строении и свойствах геомассивов, горных пород и подземных горно-шахтных сооружений на основе технологий анализа результатов сейсмоакустических исследований и

шахтной пластовой сейсмодиагностики, разработанные методы и комплексы программных приложений внедрены в проектных разработках ГУ «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ)» МОН ДНР (г. Донецк) (справка о внедрении № 04.02–07/381 от 19.11.2021 г, подписана директором ГУ РАНИМИ д.т.н., проф. А.В. Анциферовым).

Результаты диссертационного исследования внедрены также в учебный процесс по направлению подготовки 27.03.03 «Системный анализ и управление» в ГОУ ВПО ДонНУ (справка о внедрении № 6877/01-27/01.1 от 15.11.2021 г., подписана проректором ГОУ ВПО ДонНУ проф. Е.И. Скафой).

3. Степень обоснованности и достоверности научных результатов

Основные полученные в диссертации результаты и выводы, вынесенные на защиту научные положения, являются обоснованным следствием проведенных в работе теоретических численно-аналитических исследований. Их достоверность и корректность подтверждаются использованием в диссертации результатов анализа апробированных детерминистических версий моделей деформационных и термических процессов; последовательным использованием в качестве методологической базы исследования строгих обоснованных математических методов, включая апробированные методы теории нечетких множеств; согласованностью отдельных получаемых результатов с частными результатами других исследований, представленными в научной литературе; сопоставлениями с результатами исследований, осуществленных на базе детерминистических и вероятностных моделей, а также с опытными экспериментальными данными; верификацией разрабатываемых теоретических нечетко-множественных алгоритмов и создаваемых для их компьютерной реализации программных приложений; соответствием между полученными научными результатами и отраженными в документах по внедрению данными об их практическом использовании.

Уровень новизны и характер приоритетности полученных в работе результатов обоснованы на базе выполненного в диссертации детального аналитического обзора опубликованных отечественных и зарубежных исследований по рассматриваемой проблематике.

4. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Перспективы дальнейшего использования результатов работы обусловлены применимостью разработанных методов, алгоритмов и программных приложений, полученных выводов и установленных закономерностей, для повышения достоверности данных предпроектных

конструкторских расчетов по определению ресурсов прочности, надежности и функциональности конструктивных элементов машин, приборов и строительных сооружений, а также достижения большей адекватности расчетов технологических режимов и конструктивных параметров устройств термостабилизации в условиях недостатка статистической информации при ограниченности выборок опытных данных

Разработанные методы применимы в конструкторских расчетах деталей строительных сооружений, корпусов и несущих конструкций машин, приборных панелей и плат электронных устройств, при проектировании горных сооружений с выработками и транспортными туннелями. Они позволяют решить задачу повышения корректности и практической ценности оценок сейсродинамических и геоакустических прогнозов и измерений, являются средством повышения точности конструкторских расчетов для акустоэлектронных радиокомпонентов, обеспечивают повышение степени соответствия результатов ультразвуковой волновой диагностики характеристик материалов и элементов конструкций реальным свойствам объектов исследования.

Целесообразным является дальнейшее развитие исследований по проблематике диссертационной работы в направлениях расширения круга рассматриваемых моделей анализа прочностных и деформационных свойств сооружений и конструкций, исследования температурных полей в элементах приборов и устройств; применения модификаций аппарата нечетко-множественных вычислений, ориентированных на снижение меры неопределенности эндогенных параметров; дальнейших разработок в области создания программных приложений для компьютерной реализации расчетных методик. Разработки в указанных направлениях являются перспективными повышения уровня проектно-технологических решений для целого ряда современных промышленных отраслей.

5. Соответствие диссертации паспорту специальности

Тема и содержание диссертации, полученные в ней новые результаты, вынесенные на защиту положения и выводы работы, в полной мере соответствуют паспорту научной специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), в том числе отвечают позициям областей исследований п.1 «Разработка новых математических моделей и методов компьютерного моделирования явлений, объектов, систем и процессов», п.2 «Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей», п.4 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительных экспериментов», п.5 «Комплексные исследования научных и технических

проблем с применением современных технологий математического моделирования и вычислительного эксперимента».

6. Соответствие диссертации и автореферата требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней»

По содержанию, полноте и уровню изложения полученных научных результатов и выводов, значимости вынесенных на защиту положений, качеству оформления, диссертационная работа С.В. Сторожева в полной мере соответствует требованиям, отраженным в пунктах №№ 2.1, 2.3, 2.4, 2.10, 2.13 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Совета Министров Донецкой Народной Республики №2-13 от 27.02.2015 года. Ее основное содержание с достаточной степенью полноты отражено в 44 научных публикациях по теме исследования, в числе которых 1 монография, 13 статей в научно-технических журналах, включенных в перечни ВАК ДНР и ВАК РФ, 14 статей в изданиях, представленных в НБД Web of Science, Scopus, MathSciNet, а также 16 публикаций в других изданиях. Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача развития теоретических основ нечетко-множественных численно-аналитических методов и разработка алгоритмов исследования математических моделей деформационных и тепловых процессов с учетом факторов неопределенности экзогенных параметров, как инструмента повышения эффективности проектных конструкторских расчетов для ряда промышленных отраслей и современных высокотехнологичных производств и фактора достижения более высоких показателей эффективности функционирования инфраструктуры и реализации технологических процессов в машиностроении, строительстве, электронной промышленности и горнодобывающих производствах в соответствии с приоритетными заданиями развития народно-хозяйственного комплекса.

Уровень оригинальности материалов диссертации отвечает принятым требованиям; автореферат диссертационной работы в необходимой мере отражает ее основное содержание и общую характеристику выполненного исследования. Качество оформления диссертации и автореферата работы не вызывает существенных замечаний.

7. Замечания по содержанию диссертации и автореферата

По результатам обсуждения диссертационной работы и текста автореферата высказаны следующие замечания.

1. В работе мало внимания уделяется вопросам методики введения нечетко-интервальных описаний для экзогенных физико-механических и геометрических параметров рассматриваемых моделей при реализуемых численных

экспериментах, в частности переходу к нечетко-интервальным описаниям модулей упругости ряда конкретных конструкционных материалов на основе экспериментальных табличных данных.

2. В относительно небольшом числе рассматриваемых в работе моделей деформационных и тепловых процессов вводятся представления неопределенных экзогенных параметров в форме нечетких чисел гауссова типа, что могло бы расширить базу для сопоставления особенностей в методологиях и результатах применения вероятностных и нечетко-множественных методов при исследованиях моделей изучаемых типов.

3. Не во всех рассматриваемых в диссертации задачах по разработке нечетко-множественных методов теоретического моделирования деформационных и тепловых процессов представлены этапы вычислительных экспериментов, что, в частности, суживает базу для формирования конкретных выводов об эффективности применения разрабатываемого подхода.

4. Было бы целесообразным рассмотреть и сопоставить результаты применения аппарата традиционной неидемпотентной арифметики треугольных нечетких чисел и аппарата идемпотентной арифметики двухкомпонентных чисел при анализе большего числа рассматриваемых моделей, что сделано в работе только при анализе модели устойчивости цилиндрических оболочек при равномерном осевом сжатии в подразделе 2.7.

5. В описаниях вычислительных экспериментов и разработки программных приложений для числовой реализации предлагаемых нечетко-множественных методов не представлена информация об используемых приемах решения задач поиска экстремальных значений функций в процессе применения эвристического принципа обобщения.

6. При исследовании моделей концентрации напряжений около отверстий криволинейного очертания в растягиваемых тонких пластинах в подразделе 3.4 из комплекса варьируемых и потенциально обладающих неконтрастностью параметров в проведенных численных экспериментах учтен только фактор разброса кривизны контура в закругленных угловых точках многоугольных отверстий.

7. Представляла бы интерес более детальная характеристика разработки программных приложений для реализации предложенных нечетко-множественных методов.

8. В автореферате работы было бы целесообразным более детальное изложение концепции и методологических основ использования нечетко-множественного подхода для учета факторов неопределенности в математических моделях рассматриваемого типа, а также особенностей применения аппарата теории нечетких множеств для их исследования.

Перечисленные замечания не влияют на общую позитивную оценку вынесенных на защиту положений, новых научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

8. Заключение

В целом, диссертация Сторожева Сергея Валериевича на тему «Нечетко-множественные методы учета факторов неопределенности в математических моделях деформационных и тепловых процессов» является завершенной научно-исследовательской работой, выполнена на актуальную тему, содержит новые теоретические и практические положения, обладает научной новизной, фундаментальной и прикладной практической значимостью.

Работа по содержанию научных положений и выводов, существу полученных результатов соответствует паспорту научной специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки). Автореферат с необходимой мерой полноты представляет основное содержание диссертации.

Выводы и рекомендации диссертационного исследования имеют достаточную степень обоснованности.

Диссертационная работа «Нечетко-множественные методы учета факторов неопределенности в математических моделях деформационных и тепловых процессов» отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям...», а ее автор Сторожев Сергей Валериевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).

Отзыв ведущей организации обсужден и одобрен на заседании научно-технического совета отдела «Механика машин и управление машинами» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, протокол №86/22 от «14» июня 2022 года.

Главный научный сотрудник ИМАШ РАН
доктор технических наук, профессор
Nik_azikov@mail.ru

Н.С. Азиков

Уч. Секретарь НТС ИМАШ РАН
К.Т.Н., Н.С.
skvortsovpa@yandex.ru

П.А. Скворцов

Подпись заверено: специалистом



Кисель Е.Н.