

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 темы диссертационной работы.

Методы математического моделирования с использованием аппарата теории нечетких множеств – теории нечетких вычислений, нечеткой логики, получают в течение нескольких последних десятилетий все более расширяющееся применение в исследованиях, ключевым аспектом которых является учет неопределенности различных моделируемых факторов. В число направлений таких исследований, наряду с экономико-математическими моделями, моделями теории управления, прогнозирования и принятия решений, организации производства, во все большей мере включаются прикладные математические модели промышленных технологий и технических наук, о чем свидетельствуют материалы научных публикаций. К причинам проявления этих тенденций и мотивам интенсивного развития методов прикладного нечетко-множественного моделирования в качестве основных можно отнести влияние принципа множественности моделей, как необходимости синтеза ряда моделей, позволяющих с разных сторон и с разной степенью детальности отражать рассматриваемый процесс, а также принципа соответствия между требуемой точностью результатов моделирования и сложностью модели.

При этом вероятностно-статистические методы, как основной апробированный подход к анализу факторов неопределенности в математических моделях технических и естественных наук, на сегодняшний день имеют ряд специфических сторон применения. В их числе ориентация на исследование стационарных однородных процессов и соответствующие требования к статистической природе исходной информации; априорное задание законов распределения результатов как условное допущение, влияющее на точность получаемых оценок и степень их соответствия реальным объектам; ограниченность на практике числа доступных одновременно учету случайных факторов; отсутствие описаний арифметических операций для параметров, непосредственно заданных частотными распределениями, и оперирование только с некоторыми усредненными характеристиками частотных распределений, что ведет к определенной потере исходной информации. Кроме того, эти методы не всегда позволяют корректно моделировать неопределенности, связанные с данными субъективных экспертных оценок. Наконец, для обширного круга математических моделей технических наук, в которых подлежит учету влияние факторов неопределенности в виде разбросов экзогенных физико-механических и геометрических параметров моделей, обусловленных

погрешностями и усреднениями данных экспериментальных измерений и экспертных оценок, вариациями рабочих параметров в пределах технологических допусков, эффективные методы вероятностно-стохастического анализа на сегодняшний день отсутствуют.

С учетом важности исследования математических моделей деформационных процессов и моделей термостабилизации с неконтрастными параметрами, ориентированных на определение показателей прочности, надежности и долговечности конструктивных элементов машин, приборов, строительных и подземных сооружений, на проектно-технологические разработки в области аэрокосмической техники, термоядерной энергетики, акустоэлектроники, гео- и гидроакустики, ультразвуковой дефектоскопии, аддитивных технологий, разработка алгоритмизированных численно-аналитических нечетко-множественных методов их анализа, дополняющих методы вероятностного исследования со снятием ряда вышеперечисленных ограничений, является актуальным научно-техническим заданием.

Таким образом, тема, цели и задания данной диссертационной работы имеют весьма высокую степень актуальности.

2. Степень научной новизны результатов, полученных автором

К представляемым в диссертационной работе новым научным результатам приоритетного содержания, могут быть отнесены осуществленные впервые разработки специализированных математических методов и вычислительных алгоритмов нечетко-множественного исследования, а также реализующих эти алгоритмы программных приложений для анализа цикла имеющих неконтрастные экзогенные параметры моделей деформационных процессов и моделей процессов термостабилизации в технических системах.

К их ряду принадлежат разработанные впервые специализированные нечетко-множественные методы:

– исследования моделей резонансных колебаний, распространения волн деформаций и потери устойчивости для тонкостенных стержневых, пластинчатых и оболочечных конструкций с неопределенными параметрами, позволяющие повысить корректность конструкторских расчетов по определению ресурсов прочности, надежности и функциональности конструктивных элементов данного типа в машинах, приборах и строительных сооружениях;

– 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, позволяющих совершенствовать конструирование многосвязных строительных деталей, корпусов и несущих конструкций машин, печатных плат электронных устройств, объектов аэрокосмической техники и проектирование горных сооружений с выработками и транспортными туннелями на основе более адекватных практике рекомендаций по выбору рабочих параметров, обеспечивающих требования к надежности и механической прочности указанных конструкций и сооружений;

– исследования моделей распространения, дисперсии и трансформации объемных, поверхностных и нормальных волн упругих, электроупругих и магнитоупругих деформаций при учете разбросов значений экзогенных параметров моделирования, позволяющего повысить уровень корректности и практической ценности оценок сейсродинамических и геоакустических прогнозов и измерений, точность конструкторских расчетов для акустоэлектронных радиокомпонентов в виде линий задержки и фильтров на поверхностных акустических волнах, адекватность оценок вибрационной прочности конструкций машин, строительных и горно-шахтных сооружений;

– исследования моделей нечетко-множественной резонансно-волновой идентификации неконтрастных механических характеристик тонких изотропных плит и нанокompозитных функционально-градиентных пластин-резонаторов с использованием данных ультразвуковой диагностики, обеспечивающего повышение степени соответствия результатов экспериментальных исследований реальным свойствам исследуемых объектов;

– анализа моделей функционирования плоских гидроакустических экранов при учете неопределенности исходных данных о физико-механических и геометрических параметрах их компонентов, позволяющего при конструировании и выборе материалов для изготовления экранов добиваться необходимой степени стабильности показателей интенсивности отраженных и генерируемых за экраном волновых сигналов;

– анализа моделей создания аэрозольных потоков в устройствах жидкостно-капельного охлаждения при учете неопределенности конструктивных характеристик устройств распыления и параметров рассеиваемой жидкости, позволяющего совершенствовать технологические режимы термостабилизации с применением двухкомпонентных газожидкостных смесей для технических систем широкого спектра назначения;

– исследования моделей термостабилизации высокотемпературных поверхностей технических конструкций обтекающими газожидкостными потоками для выработки более адекватных инженерной практике рекомендаций по выбору режимов охлаждения потоками аэрозолей, параметров дисперсности и скоростей обтекания;

– анализа расчетных моделей многослойных тепловых экранов с неопределенными конструктивными характеристиками отражающих элементов, обеспечивающего получение более адекватных реальным эксплуатационным условиям параметров экранирования тепловых излучений в технических системах с применением пакетов тонких мембранных отражателей.

Перечисленные новые научные результаты, полученные в диссертационной работе Сторожева С.В., в совокупности обеспечивают дальнейшее развитие теоретических основ нечетко-множественного подхода в прикладном математическом моделировании деформационных и термических процессов с учетом факторов неопределенности значений экзогенных параметров.

3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Основные научные результаты выполненных исследований, сформулированные на их основе и вынесенные на защиту научные положения, а также выводы и рекомендации диссертационной работы в необходимой мере обоснованы:

- аргументированным выбором математической и методологической базы исследования, корректным использованием в качестве инструментов исследования строгих обоснованных математических методов, включая апробированные методы теории нечетких множеств;

- использованием в исследованиях результатов анализа апробированных детерминистических версий моделей деформационных и термических процессов;

- согласованностью ряда полученных результатов с представленными в научной литературе частными результатами других исследований, осуществленных на базе детерминистических и вероятностных моделей, с опытными экспериментальными данными;

- верификацией разработанных нечетко-множественных алгоритмов и программных приложений для их компьютерной реализации;

- соответствием полученных научных результатов и данными об их внедрении.

Из результатов осуществленных исследований обоснованно вытекают сформулированные в работе заключения:

- об эффективности применения алгоритмизированных методов фаззификации неопределенных исходных параметров и расширения областей определения расчетных соотношений детерминистических версий рассматриваемых моделей на аргументы нечетко-множественного типа с фрагментированным поэтапным применением аппарата нечеткой арифметики и альфа-уровневой версии эвристического принципа обобщения для получения в предпроектном математическом моделировании уточненных оценок для ресурсов прочности, надежности и долговечности конструктивных 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;

- о повышении адекватности оценок запасов прочности и показателей надежности в предпроектных расчетах при учете разбросов в значениях экзогенных физико-механических и геометрических параметров аналитических математических моделей концентрации механических напряжений и формирования зон пластических деформаций около отверстий и включений, туннельных полостей в геомассивах 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;

– об эффективности применения методов теории нечетких множеств для анализа обратных задач динамического деформирования тонкостенных конструктивных элементов технических устройств и подземных горношахтных сооружений в качестве инструмента решения проблемы резонансно-волновой идентификации их параметров по обладающим разбросами данным ультразвуковой диагностики с получением для идентифицируемых параметров описаний в виде нечетких величин с устанавливаемыми функциями принадлежности;

– об эффективности использования методики фаззификации неопределенных исходных параметров и описания нечетко-множественными величинами разбросов опытных и экспертных данных о характеристиках конструктивных материалов, жидкостей и газов при анализе математических моделей теплового экранирования и функционирования устройств распыления охлаждающих жидкостей в технических системах термостабилизации на основе применения эвристического принципа расширения к расчетным соотношениям детерминистических версий соответствующих моделей.

4. Теоретическая и практическая значимость результатов работы

Теоретическая значимость результатов представленного в диссертации исследования заключается в разработке концепции применения теории нечетких вычислений для учета факторов разброса исходных параметров в моделях деформирования упругих тел и конструктивных 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. Разработанные и алгоритмизированные в развитие этой концепции специализированные методы нечетко-множественного математического моделирования 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. Корректным является представленное в работе утверждение о том, что полученные результаты отвечают логике внутринаучного развития фундаментальных исследований в теории математического моделирования.

Практическая значимость результатов исследования заключается в применимости разработанных методов, алгоритмов и программных приложений, полученных выводов и установленных закономерностей в конструкторских расчетах элементов строительных сооружений, корпусов и несущих конструкций машин, приборных панелей и плат электронных устройств, при проектировании горных сооружений с выработками и транспортными туннелями. Они могут служить инструментом повышения корректности и практической ценности оценок сейсמודинамических и геоакустических прогнозов и измерений,

средством повышения точности конструкторских расчетов акустоэлектронных радиокомпонентов и степени соответствия результатов ультразвуковой волновой диагностики характеристик материалов и элементов конструкций реальным свойствам объектов исследования, а также обеспечения большей адекватности расчетов технологических режимов и конструктивных параметров устройств термостабилизации в условиях недостатка статистической информации при ограниченности выборок опытных данных.

Документально подтверждено внедрение результатов диссертационного исследования в АО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М.А. Карцева», г. Москва, при расчетах параметров нанорезонаторов, ультразвуковых линий задержки и фильтров на ПАВ, и в Государственном учреждении «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела», г. Донецк, при обработке геоакустической информации о свойствах массивов горных пород с выработками. Результаты исследований внедрены также в учебном процессе в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет» Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики.

Указаны области дальнейшего эффективного применения созданных методов при проектировании технических систем в машиностроении, строительстве, приборостроении и электронике, горном деле, и очерчены перспективные направления дальнейших исследований в области прикладного нечетко-множественного моделирования деформационных и тепловых процессов.

5. Соответствие диссертации и автореферата критериям Положения о порядке присуждения учёных степеней и паспорту научной специальности

Диссертационная работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и методологические положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о значительном личном вкладе автора в науку. Основные результаты диссертационного исследования получены ее автором С.В. Сторожевым лично.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена важная и актуальная научно-техническая задача развития теоретических основ нечетко-множественных численно-аналитических методов и разработки 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.

Основные результаты диссертационной работы с достаточной степенью полноты отражены в научных публикациях автора по ее тематике, в числе которых 27 статей в периодических изданиях, включенных в перечни ВАК ДНР и ВАК РФ, в НБД Web of Science, Scopus, MathSciNet, а также одна монография. Результаты исследований были представлены на более чем два-

дцати авторитетных Международных научных конференциях и доложены на ряде научных семинаров.

Положения, вынесенные на защиту в необходимой мере обоснованы, а полученные результаты имеют высокий уровень научной новизны, теоретической и прикладной значимости, получили практическое внедрение.

Стиль изложения результатов в диссертационной работе логичный и последовательный. Автореферат диссертации с достаточной мерой полноты отражает ее общие характеристики и основное содержание. Объем диссертации и автореферата соответствует установленным требованиям.

Полученные результаты, положения и выводы диссертации отвечают позициям Паспорта специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), в том числе областям 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. Замечания по содержанию диссертационной работы и автореферата

Анализ содержания диссертационной работы и автореферата диссертации позволяет высказать ряд следующих замечаний:

1. Уместным было бы детальнее мотивировать преимущественный выбор в работе нечетко-интервального типа представлений для неконтрастных параметров рассматриваемых моделей.

2. Работу было бы уместным дополнить разделом с обобщением информации о характерных уровнях разбросов исходных экспериментальных значений физико-механических характеристик основных типов конструкционных материалов и данных о технологических допусках для геометрических параметров конструктивных элементов машин и деталей строительных сооружений.

3. Относительно мало внимания при исследовании рассматриваемых в диссертации моделей уделено получению и сопоставительному анализу результатов дефаззификации получаемых нечетко-множественных оценок.

4. В разделе 1 работы указывается на наличие исследований по рассматриваемой проблематике, основывающихся на стратегиях определения наиболее достоверных значений оцениваемых параметров с использованием неконтрастных данных серии замеров, экспериментов или расчетов, однако детализированная характеристика и перспективы применения такого подхода для круга исследуемых в диссертации моделей не приводятся.

5. Было бы целесообразным изложить в работе процедуры получения неконтрастных числовых оценок, основывающихся на фазсификации данных субъективных экспертных заключений.

6. Исследования по актуальной проблеме нечетко-множественного анализа параметров теплообмена в модели действия плазменных струй на высокотемпературные поверхности при создании внешних охлаждающих газовых потоков и вдувании газа изнутри охлаждаемого объекта через пористые либо перфорированные стенки, представленные в п.6.4 работы, не дополнены вычислительными экспериментами.

7. Не представлены результаты вычислений на основе алгоритма анализа влияния факторов неопределенности для модели функционирования плоских двухслойных тепловых экранов с теплоизолирующими слоями, рассмотренной в п. 6.5.

8. В работе не представлены оценки для необходимых ресурсов времени при реализации расчетов с применением разработанных программных приложений

Однако указанные замечания не относятся к принципиальным моментам осуществленных исследований, к оценке их научного уровня и значимости, не снижают общую положительную оценку диссертационной работы. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, не вызывают сомнений в их корректности и обоснованности.

7. Заключение

Диссертационная работа «Нечетко-множественные методы учета факторов неопределенности в математических моделях деформационных и тепловых процессов» является структурно завершенной научно-исследовательской работой, посвященной актуальной научно-практической проблеме в теории математического моделирования. Диссертационное исследование выполнено на высоком научном уровне с получением весьма обширного ряда новых научных результатов в области разработки специализированных нечетко-множественных методов анализа факторов неопределенности экзогенных параметров в моделях деформационных и термических процессов, а также в области алгоритмизации разработанных методов и создания комплексов программных приложений для их численной компьютерной реализации. Профиль, содержание и конкретные результаты диссертации по формуле специальности и областям исследований соответствуют паспорту научной специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки). Выводы по результатам проведенных исследований и вынесенные на защиту научные положения имеют достаточную степень обоснованности.

Результаты работы имеют важное практическое значение для отраслей машиностроения, приборостроения, строительства, горной индустрии, получили практическое инженерное внедрение в проектных разработках компонентов электронной техники и технологиях горной сейсмодиагностики, а также в вузовском учебном процессе.

Диссертация отвечает требованиям по качественным и количественным показателям публикации полученных результатов в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК ДНР, и прошла апробацию на многочисленных международных научных конференциях и профильных научных семинарах. Автореферат с необходимой мерой полноты представляет основное содержание диссертации.

Таким образом, по всем основным установленным экспертным критериям оценивания диссертационная работа «Нечетко-множественные методы учета факторов неопределенности в математических моделях деформационных и тепловых процессов» соответствует нормам «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Совета Министров Донецкой Народной Республики №2-13 от 27.02.2015 года, а именно, пунктам 2.1, 2.3, 2.4, 2.10, 2.13 данного Положения, а автор работы 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).

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры автоматизированных
и вычислительных систем
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

Кравец Олег Яковлевич

394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84
тел.: +7(473) 271-59-05, +7(473) 243-77-18
e-mail: rector@cchgeu.ru, kravets@sbook.ru

Я, Кравец Олег Яковлевич, согласен на автоматизированную обработку моих персональных данных

Подпись официального оппонента
Кравца Олега Яковлевича заверяю:

И.о. первого проректора
Проректора по науке



Дроздов Игорь Геннадьевич

22.06.2022 г.