

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.199.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
ИНСТИТУТА ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 12.09.2019 г. № 1

О присуждении Спесивцеву Александру Васильевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Формализация и использование явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния сложных объектов» по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы) принята к защите 06 июня 2019 г., протокол № 1 диссертационным советом Д 002.199.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия ВО, дом 39, утвержден приказом Рособрнадзора номер 2472-618 от 8 октября 2010 года (с изменениями согласно приказам Минобрнауки России №105/нк от 11 апреля 2012 г. №574/нк от 15 октября 2014 г., № 386/нк от 27 апреля 2017 г., №748/нк от 12 июля 2017 г., №301/нк от 23 ноября 2018 г.).

Соискатель Спесивцев Александр Васильевич, 1939 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Исследование взаимодействия неассимилируемой газовой струи с некоторыми расплавами цветной металлургии» защитил в 1973 году в диссертационном совете, созданном на базе Московского ордена Трудового Красного Знамени института стали и сплавов (диплом МТН №091195). В настоящее время Спесивцев Александр Васильевич работает старшим научным сотрудником Федерального

государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), а также старшим научным сотрудником Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского Военного института (научно-исследовательского).

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН).

Научный консультант – доктор технических наук, профессор СОКОЛОВ Борис Владимирович, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), главный научный сотрудник – руководитель лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании.

Официальные оппоненты:

КЕЖАЕВ Валерий Алексеевич, доктор технических наук, профессор. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Михайловская военная артиллерийская академия» МО РФ, профессор кафедры автоматизированного управления ракетных войск и артиллерии;

ЕФИМОВ Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор. ОАО «Авангард» в г. Санкт-Петербурге, заместитель генерального директора – директор по научной работе;

ГРОМОВ Виктор Никифорович, доктор технических наук, профессор. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», профессор Высшей школы киберфизических систем и управления дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», г. Санкт-Петербург в своем положительном отзыве, подписанном Холодновым

Владиславом Алексеевичем, доктором технических наук, профессором кафедры системного анализа и информационных технологий и утвержденном Гарабаджиу Александром Васильевичем, доктором химических наук, профессором, проректором по научной работе, указала, что в целом диссертация А.В. Спесивцева является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые, научно обоснованные методологические и методические разработки, внедрение которых вносит значительный вклад в решение крупной междисциплинарной проблемы комплексного моделирования и упреждающего прогнозирования состояния сложных объектов (СЛО). Автором в диссертации представлено успешное решение крупной научно-технической проблемы, заключающейся в разработке моделей и методов представления, формализации и использования явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния сложных объектов на основе дальнейшего развития нечетко-возможностного подхода.

Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Диссертационное исследование «Формализация и использование явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния сложных объектов» является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемых к докторским диссертациям, а ее автор, Спесивцев Александр Васильевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

Соискатель имеет 281 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации опубликовано 110 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 98 работ, 18 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора технических наук, 16 – в изданиях, индексируемых Scopus и/или Web of Science.

Основные научные результаты опубликованы в 18 научных трудах в изданиях, рекомендованных ВАК РФ общим объемом 12,15 п.л., в которых объем личного вклада – 5,65 п.л.; в 16 работах в изданиях, индексируемых Scopus и/или Web of

Science общим объемом 5,375 п.л. в соавторстве, в 6 монографиях и главах монографий общим объемом 111,75 п.л., где личный вклад соискателя составил 73,04 п.л.; 4 патентах РФ на изобретения и 2 свидетельствах о государственной регистрации программы для ЭВМ в соавторстве. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Спесивцев, А.В. Интеллектуальная автоматизированная система управления процессом плавки ПВ-3 Медного завода ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» / **А.В. Спесивцев**, И.Н. Дайманд, В.И. Лазарев, А.П. Кашук // Известия вузов. Цветная металлургия, 2014. – №5. – С. 64–69. *Личный вклад соискателя – 50%*
2. Спесивцев, А.В. Критерий информативности полиномиальной модели на основе функций принадлежности специального типа / **А.В. Спесивцев**, А.В. Вагин // Проблемы управления рисками в техносфере, 2012. – №5. – С.16–23 *Личный вклад соискателя – 75%*.
3. Спесивцев, А.В. Информационная модель нечеткого логического регулятора с интеллектуализированной базой знаний / **А.В. Спесивцев**, И.Т. Кимяев // Управление большими системами. Выпуск 21. – М.: ИПУ РАН, 2008. – С.165–172. *Личный вклад соискателя – 75%*
4. Спесивцев, А.В. Выбор достаточного количества коэффициентов аппроксимирующего полинома в нечетком многомерном факторном пространстве / **А.В. Спесивцев** // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2008. – №4. – С.33–36.
5. Кимяев, И.Т. Исследование закритических областей факторного пространства при управлении обжигом в кипящем слое с помощью нечеткой управляющей модели / И.Т. Кимяев, **А.В. Спесивцев**, З.Г. Салихов, А.В. Дроздов // Известия вузов. Цветная металлургия, 2001. – № 1. – С. 74–77. *Личный вклад соискателя – 50%*.
6. Дроздов, А.В. Формализация экспертной информации при логико-лингвистическом описании сложных систем / А.В. Дроздов, **А.В. Спесивцев** // Изв. РАН. Техническая кибернетика, 1994. – № 2. – С.89–96. *Личный вклад соискателя – 50%*.
7. Drozdov, A.V., **Spesivtsev, A.V.** 1995. Formalization of expert information in the logical-linguistic description of complex systems. Journal of Computer and Systems Sciences International. 33(4), pp. 76–83. *Личный вклад соискателя – 50%*.

- 8.Игнатъев М.Б. Моделирование слабо формализованных систем на основе явных и неявных экспертных знаний / М.Б. Игнатъев, В.Е. Марлей, В.В. Михайлов, **А.В. Спесивцев** // СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018. – 430 с. *Личный вклад соискателя – 50%*.
- 9.Спесивцев, А.В. Управление рисками чрезвычайных ситуаций на основе формализации экспертной информации. Под ред. проф. В.С. Артамонова / **А.В. Спесивцев**. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. – 238 с.
- 10.Спесивцев, А.В. Metallургический процесс как объект изучения: новые концепции, системность, практика / **А.В. Спесивцев**. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. – 307 с.

Оригинальность содержания диссертации составляет не менее 89% от общего объёма текста; цитирование оформлено корректно; заимствованного материала, использованного в диссертации без ссылки на автора либо источник заимствования, не обнаружено; научных работ, выполненных соискателем учёной степени в соавторстве без ссылок на соавторов не выявлено. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах в диссертации отсутствуют.

На диссертацию и автореферат поступили 14 отзывов, все отзывы положительные:

1) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук. Отзыв составил: главный научный сотрудник лаборатории № 80 «Киберфизические системы» д.т.н., профессор Мещеряков Роман Валерьевич. Замечания: В автореферате присутствуют примеры решения ряда моделей, но не приведено конкретных сведений, за счёт чего происходят достигаемые результаты при использовании предлагаемого подхода. Не приведено информации о том, какие операции входили в состав технологического цикла управления металлургическим процессом обжига в кипящем слое при разработке нечеткого логического регулятора (пример 4, стр.30). Требуется пояснения, как проявляются «неявные» знания в приводимых примерах.

2) Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук. Отзыв составили: ведущий научный сотрудник ФИЦ ИУ РАН д.т.н. Сучков А.П., руководитель отделения, ведущий научный сотрудник ФИЦ ИУ РАН к.т.н. Козлов С.В. Замечания: В приводимых примерах, представляющих интерес с точки зрения практики, подчеркивается «существенная неопределенность». Необходимо разъяснить такое положение, т.к. конечный продукт изучаемого явления или технологического процесса имеет вполне определенное регламентируемое качество. Пример 5 (стр. 32) охватывает практически весь цикл создания интеллектуальной АСУ плавильного агрегата, но отсутствует процедура оценки адекватности построенной интеллектуальной системы, о которой можно догадаться только по упоминанию о промышленном внедрении.

3) Военная академия ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого. Отзыв составили: Врио начальника кафедры №02, полковник Машковец А.В., доцент кафедры №37, д.т.н., подполковник Щербаков В.А., старший преподаватель кафедры №02 к.т.н., полковник Ручкин С.В. Замечания. В автореферате не раскрывается содержание обозначенного «нового класса сложных объектов». Не ясно, в чем отличие «нового класса сложных объектов» от известных классов; из текста автореферата не ясно, в чем отличие содержания разработанных моделей и методов, предназначенных для представления, формализации и использования экспертных знаний по отношению к двум сущностям, введенным автором: знаниям явным и неявным; неясно, как проверяется адекватность полиномиального выражения, если возможность получения объективных экспериментальных результатов о реальном объекте будет отсутствовать; в приведенных примерах в автореферате рассматриваются объекты, для определения состояния которых успешно используются методы точных наук, методы статистической обработки результатов натурных испытаний и теории надежности, дающих в сравнении с методами экспертного оценивания значительно более надежные и объективные результаты, поэтому целесообразнее было бы построить примеры на рассмотрении сложных объектов «нового класса».

4) ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева. Отзыв составили: главный специалист к.т.н. Ковтун В.С., ведущий научный сотрудник д.т.н. Евдокимов Р.А., научный консультант д.т.н., профессор Синявский В.В. Замечания: Представление нечетких чисел в LR-форме соответствует описанию левой (left) и правой (right) частей функции принадлежности (т.е. описания имеют разные смысловые варианты свойства функции). Термин «симметрия» в широком смысле означает неизменность (инвариантность) в проявлении свойств при каких-либо изменениях. Поэтому определение «симметризованная форма» является не совсем корректным, так как сами операции над числами не являются инвариантными. Не рассматривается организация взаимодействия разработанных моделей различного класса в составе полимодельного комплекса (ПМК). Это не позволяет провести комплексную оценку моделирования с учетом некоторых основных свойств, таких как надежность, управляемость, гибкость, развиваемость и др. В работе не упоминается о применении материального (предметного) моделирования. При этом база явных экспертных знаний для автоматизированных систем управления формируется на одном из видов материального моделирования – аналогового моделирования на основе сходства процессов одной природы.

5) ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет». Отзыв составил: д.т.н., профессор Петухов И.В. Замечания. Не показаны преимущества нечетко-возможностного подхода перед традиционными балльными оценками, где также используются экспертные знания. Не совсем понятно, как количественно определяются «неизмеряемые» переменные с помощью знаний. В примере 5, рис. 25, стр.34, приведен интерфейс ИАСУ ПВ на АРМ оператора, но не описана роль и эффективность работы оператора при ведении процесса в целом.

6) Научно-исследовательский институт космических систем им. А.А. Максимова – филиал АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева». Отзыв составили: первый зам. директора – главный конструктор, к.т.н., с.н.с. Королев А.Н., главный научный сотрудник к.т.н. Зайченко Ю.В., главный научный сотрудник к.воен. наук, с.н.с. Черный А.Н. Замечания: неясно, как разработанный математический аппарат объединить с традиционным вероятностно-статистическим подходом, который широко используется на практике при обработке экспертных знаний; из-

за постоянного воздействия возмущающих факторов на СЛО происходит постоянное изменение их параметров и структур, что должно приводить к соответствующему изменению параметров и структур моделей. К сожалению, в автореферате по этому вопросу нет никакой информации.

7) Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Отзыв составил: главный научный сотрудник ИАЭП, академик РАН, д.т.н., профессор Попов В.Д. Замечания: Отсутствие рисунка обобщенного алгоритма затрудняет восприятие целостного объема диссертационного исследования. В примере (рис.11, стр.21) ситуационное оценивание расчетов по модели с обстановкой на реальных объектах приведена только в таблице без пояснений, которые для практиков могут быть значимыми. На рис.20 (стр. 27) приведена визуализация функции отклика Y и ее частной производной в трехмерном пространстве также без пояснений их практического применения.

8) Смольный институт РАО. Отзыв составил: Советник ректора, к.т.н., д.э.н., д.ф.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ, Лауреат Премии Правительства РФ Субетто А.И. Замечания: Оценивание состояния сложных объектов является оценкой качества их работы, т.е. явно коррелирует с задачами квалиметрии. Однако в диссертации не используется наработанный арсенал квалиметрических методов, например, для оценивания качества получаемых моделей. Проблема сложности объектов, упоминаемая в автореферате, гораздо шире, и само понятие сложности является также проблемой, при этом автору следовало бы подчеркнуть еще и синергетический эффект борьбы со сложностью, который и был им же применен в разработке нечетко-возможностного подхода, а также использования его для изучения самой проблемы сложности.

9) ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». Отзыв составил: профессор кафедры Техносферной безопасности д.т.н., профессор Горохов В.Л. Замечания: Из автореферата следует, что задачи оценивания состояния сложных объектов в различных областях решались с помощью ПО Microsoft Excel. Но нет сведений о том, как осуществлялось взаимодействие разработанного алгоритма и программного

обеспечения Microsoft Excel. Краткий анализ основных этапов реализации алгоритма, разработанного соискателем показал, что осуществление выбора значимых коэффициентов полиномиального разложения может производиться несколькими способами. Из автореферата не ясно, как учитывается специфика самих сложных объектов в приводимых конкретных примерах.

10) ФГБНУ «Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения». Отзыв составил: заместитель директора д.вет.н., профессор, член-корреспондент РАН Лайшев К.А. Замечания: Обычно использование нечеткой логики идет по цепочке фазификация исходной информации – выполнение расчетов – получение нечетких выводов – дефазификация с получением четкого результата. Из реферата не совсем понятно, как эти этапы реализуются при построении моделей по разработанному методу. При построении интеллектуализированной АСУ плавильного агрегата (пример 5, стр. 32) использован метод управления по принципу разрешения конфликтов, однако в тексте нет четкого пояснения его применения, также как и проверки адекватности всей системы. Возможно из-за ограниченности объема нет ни одного примера из области сельского хозяйства и экологии, хотя в автореферате есть работы по такой тематике, зарегистрированные в Scopus.

11) ФГБОУ ВО «БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова». Отзыв составил: заведующий кафедрой «Процессов управления» д.т.н., профессор Толпегин О.А. Замечания: заслуживают внимание нововведения в представлении нечетких чисел и арифметических операций над ними, но дополнительные арифметические операции описаны недостаточно понятно для их применения в практической обработке нечеткой информации; в примере 5 (стр. 33) недостаточно описано построение «виртуальной печи», представляющей интерес для практического использования; в том же примере (стр.35) не совсем обоснованным кажется утверждение, что «соответствие технологическим регламентам его функционирования сводит к минимуму степень риска выработки системой неправильного решения», т.к. предаварийные ситуации на практике все же случаются.

12) СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Отзыв составил: заведующий кафедрой автоматике и процессов управления д.т.н., доцент Шестопапов М.Ю. Замечания: Что понимается под нематериальными сложными объектами искусственного происхождения и можно ли считать предлагаемый метод применимым для решения задач любой сложности при наличии только эксперта? Не совсем понятен рис. 15-б в примере 1 (стр. 23) и как воспользоваться результатами проведенного исследования. В примере 3 (стр.25) факторное пространство состоит всего из 5 переменных, да и то качественных. Не понятно, как учитываются внешние действующие условия Крайнего Севера, например, большие перепады температур наружного воздуха и др.

13) ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный морской технический университет. Отзыв составил: заведующий кафедрой прикладной математики и математического моделирования д.т.н., профессор Рыжов В.А. Замечания: В автореферате указывается, что объектом диссертационного исследования являются различные классы материальных и нематериальных сложные объекты естественного и искусственного происхождения, но представлены только материальные и естественные. Получение качественно новой информации о функционировании объекта принципиально важно, но численный эксперимент в примере 1 (стр.25) и его использование описан недостаточно полно для понимания сути этой стороны исследования. На рисунке 20 (стр. 29) приведены функции отклика зависимой переменной и частной производной от нее, но нет никаких комментариев об их применении и полезности для практической деятельности объекта.

14) ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения». Отзыв составил: заведующий кафедрой «Прикладная информатика и информационные системы», д.т.н., доцент Тюгашев А.А. Замечания: Приведен пример определения количества коэффициентов модели, построенной на факторном пространстве из неколичественных переменных, однако не совсем ясен смысл понятия «линия ошибок косвенных измерений». Синтез интеллектуальной автоматизированной системы управления сложным технологическим процессом (пример 5, стр.32) привел к внедрению результатов исследования на Медном

заводе Заполярного филиала «ГМК «Норильский никель» и запатентован, но экономический эффект не указан.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что

д.т.н., профессор Кежаев В.А. – известный специалист по проблемам решения дискретных задач управления, а также технологии использования идей искусственного интеллекта для решения трудно формализуемых задач в предметных областях;

д.т.н., профессор Ефимов В.В. является известным ученым в области создания и использования интеллектуальных информационных технологий и систем в различных предметных областях (промышленное производство, авиационно-космические и транспортно-логистические системы);

д.т.н., профессор Громов В.Н. – известный ученый в области анализа и синтеза сложных систем и интеллектуально-информационной поддержки принятия решений в проблемных ситуациях;

ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» является известной как в России, так и за рубежом в области информатики и информационных технологий применительно к производственным процессам в различных сферах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны:

- концепция и метод формализованного описания интуитивно-словесных и неявно заданных экспертных знаний о состоянии сложных объектов на основе дальнейшего развития нечетко-возможностного подхода и теории планирования экспериментов, которые, в отличие от известных подходов, позволяют использовать дополнительную неколичественную (вербальную) экспертную информацию для построения математических моделей оценивания состояния сложных объектов. При этом представляется возможным выявление как явных, так

и неявных экспертных знаний, отражающих накопленный опыт эксперта при эксплуатации конкретных сложных объектов с учетом неопределенностей их состояния и условий функционирования, что существенно повышает оперативность и обоснованность принимаемых управленческих решений;

- новая симметризованная форма представления нечетких чисел (LR)-типа и унифицированные формы записи расширенных и дополнительных арифметических операций над ними, нечувствительных к знаку нечетких чисел, отличающихся от общепринятых форм тем, что их введение существенно упрощает работу по формализации экспертных знаний в виде лингвистических переменных для последующего их анализа и принятия решения при оценивании состояния конкретного сложного объекта;

- предложения по обобщению и расширению свойств дополнительных арифметических операций, введенных методами символьной математики, для сохранения первоначальной нечеткости и приведения подобных членов при обработке массивов знакопеременного ряда нечетких чисел (LR)-типа в симметризованной форме, которые, в отличие от традиционных подходов, позволяют компенсировать увеличение нечеткости, сохранить исходную информативность конечного результата, что составляет научно-теоретическую основу для решения проблемы построения аналитических моделей на экспертных знаниях в целом;

- новый класс нечетких моделей для оценивания состояния сложных объектов, построенный на основе комбинации методов нечетко-продукционного подхода и теории планирования экспериментов, который, в отличие от традиционно используемых подходов к оцениванию состояния сложных объектов, предоставляет возможность распространения методов теории планирования экспериментов на область теории нечеткой логики с возможностью формализации экспертных знаний аналитическим выражением;

- способ задания нечеткой нормы в виде модуля нечеткого числа (LR)-типа в нечетких метрических пространствах на множестве нечетких чисел, который позволяет различать классы состояния сложных объектов на основе экспертных знаний, отличающийся от существующих методических подходов тем, что

устраняет неоднозначность определения расстояния в многомерных пространствах нечетких переменных функционирования сложных объектов для оценивания различия между его состояниями;

- методика и критерии оценивания адекватности и полезности предложенных моделей для оценивания состояния сложных объектов с учетом нечетких данных об особенностях функционирования сложных объектов в заданных условиях эксплуатации. Введенные критерии, в отличие от известных, предоставляют ЛПР возможность априорного оценивания несмещенности и эффективности оценок, получаемых с помощью полиномиальных моделей;

- оригинальные прикладные методики решения различных классов задач оценивания и прогнозирования состояния конкретных сложных объектов на основе явных и неявных экспертных знаний, отличительной особенностью которых, по сравнению с существующими подходами, является значительное сокращение времени и ресурсов на разработку и использование соответствующих нечетко-возможностных моделей принятия управленческих решений, обеспечивающих повышение уровня их обоснованности, а также сохранение и последующее использование знаний, полученных от высококвалифицированных специалистов при исследовании аналогичных классов задач в других предметных областях.

предложены:

- комбинированный метод построения моделей для оценивания состояния СЛО с учетом количественной и нечисленной экспертной информации;

- методы задания новых симметризованных форм представления нечетких чисел, а также расширенных и дополнительных арифметических операций над ними, позволяющие сохранить исходный уровень нечеткости знаний экспертов.

доказана перспективность дальнейшего использования предложенного комбинированного метода построения моделей для оценивания состояния СЛО на основе явных и неявных экспертных знаний, а также самих построенных моделей в других предметных областях, не рассмотренных в ходе диссертационных исследований;

введены:

- новые формы задания нечетких чисел (LR)-типа в симметризованной форме;
- новые дополнительные арифметические операции над нечеткими числами (LR)-типа;
- новый класс нечетких моделей для оценивания состояния сложных объектов, построенных на основе комбинации методов нечетко-продукционного подхода и теории планирования экспериментов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны возможность использования явных и неявных экспертных знаний для анализа и синтеза моделей оценивания состояния СЛО на основе дальнейшего развития нечетко-возможностного подхода;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов):

использованы фундаментальные положения теории принятия решений, теории надежности, теории нечетких множеств, теории планирования экспериментов, теории комплексного моделирования для решения исследуемой в диссертации проблемы;

изложены методологические и методические основы формализации и использования явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния сложных объектов;

раскрыты проблемные аспекты

- применения имеющихся и перспективных подходов в области компьютеризации экспертной информации;

- исследования основных вопросов, связанных с извлечением, представлением и формализацией явных и неявных экспертных знаний о состоянии СЛО в виде соответствующих аналитических выражений;

- представления, формализации и использования нечетких чисел (LR)-типа в исследуемых задачах оценивания состояния СЛО;

- введения на основе символической математики дополнительных арифметических операций над нечеткими числами знакопеременного ряда для сохранения исходного уровня нечеткости знаний экспертов;

- методических особенностей построения и использования построенных моделей при оценивании состояния конкретных сложных объектов;

изучены существующие методы оценивания и использования экспертной информации при решении проблем оценивания состояния СЛО, при этом отдельное внимание уделено рассмотрению возможностей ее компьютеризации;

проведена модернизация

- существующих методов задания форм представления нечетких чисел (LR)-типа и дополнительных арифметических операций над ними;

- методов обработки экспертных знаний с формализацией их аналитическим выражением.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что в ходе практической реализации указанных исследований были **разработаны и внедрены** (указать степень внедрения) следующие результаты диссертационной работы:

- в центре испытаний и контроля эксплуатации филиала ФГУП «ЦЭНКИ» – КЦ «Южный» при оценивании степени критичности наземных составных частей ракетно-космических комплексов по остаточному ресурсу. Реализация результатов диссертационной работы позволила повысить точность прогнозирования остаточного ресурса примерно в 1,7 раза при экономии в 1,5 раза времени на разработку экспертных прогнозов. Для космодрома «Плесецк» была создана интеллектуальная информационно-диагностическая система мониторинга оценивания технического состояния (ТС) химических источников тока (ХИТ) с использованием результатов тепловизионных наблюдений. Реализация результатов позволила разработать методику неразрушающего контроля и новой процедуры расчетов по прогнозированию остаточного ресурса ХИТ. Получен патент РФ № 2467436 от 20.11.2012. Для космодрома «Байконур» разработан способ количественного оценивания степени развития дефектов при эксплуатации

насосных агрегатов заправочного оборудования ракетно-космических комплексов. Способ защищен патентом РФ № 2673629 от 28.11.2018;

- в «Горно-металлургической компании «Норильский никель» в рамках выполнения НИР «Интеллектуальная автоматизированная система управления процессом плавки ПВ-3 Медного завода» синтезирована сложная многофакторная модель в виде семантической сети на специфичном ограниченном словаре с использованием полиномиального преобразования НЕ-факторов. В результате применения разработанной системы повысилось качество ведения процесса, выражающееся в стабилизации продуктов плавки, повышении производительности процесса и облегчения работы операторов в принятии решений о состоянии СЛО. Фактически в этом исследовании реализован наиболее общий подход к решению распознавания состояния СЛО в любой отрасли – цветная и черная металлургия, горное и нефтегазовое производство, космонавтика, медицина, ветеринария, сельское хозяйство и др. Получен патент РФ № 2571968 от 27.12.2015. Применение усовершенствованного нечетко-возможностного подхода к построению модели пирометаллургического процесса обжига в кипящем слое позволило повысить производительность промышленного агрегата на 25-30% и снизить количество предаварийных ситуаций. Получен патент РФ № 2204616 от 20.05.2003;

- в Заполярном филиале «Горно-металлургической компании «Норильский никель» и Норильском промышленном районе (г. Норильск) на Медном заводе по разработанной методике мониторинга и прогнозирования состояний зданий и сооружений с пространственно-распределенной топологией получена модель оценивания остаточного срока службы дымовой трубы металлургического предприятия, эксплуатируемой в нештатных условиях. В результате удалось повысить качество и обоснованность управленческих решений и сохранить в работоспособном безаварийном состоянии дымовую трубу в течение 12 лет;

- в управлении по делам ГО и ЧС г. Норильска реализована методика оценивания технического состояния высоко рискованных спецсооружений, фундаментов зданий и сооружений Норильского промышленного района. В результате реализации указанной методики была разработана предписывающая

документация по снижению чрезвычайных ситуаций в Норильском промышленном районе;

- в Норильском региональном отделении Международной академии наук экологии и безопасности природы и человека (МАНЭБ) внедрены и используются информационные и методические материалы для количественного оценивания загрязнения металлами геокриолитозоны Норильского промышленного района, прогнозирования устойчивости оснований, построенных на многолетнемерзлых грунтах плотины пирротинохранилища и дамбы хвостохранилища. Цель использования результатов диссертационного исследования состояла в разработке планов мероприятий по сохранению экологической обстановки и предотвращении возрастания негативных факторов, влияющих не только на Норильский промышленный район, но и на экологическое состояние всего Таймырского полуострова;

- создана экспресс-методика и на ее основе проведена оценка морфодинамических процессов в береговой зоне Финского залива.

Определены возможности и перспективы практического использования полученных результатов диссертации при моделировании состояний конкретных сложных объектов в условиях неопределенности;

создана единая инженерная методика использования разработанного в диссертации модельно-алгоритмического обеспечения для оценивания состояния конкретных СЛО на основе дальнейшего развития нечетко-возможностного подхода;

представлены предложения и направления проведения дальнейших научных исследований, связанных с интеграцией вероятностно-статистического, нечетко-возможностного и интервального подходов к описанию и использованию имеющихся данных, информации и знаний о состоянии сложного объекта для последующего решения задач управления им.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ достоверность полученных результатов подтверждена результатами проведенного анализа современного состояния исследований, обоснованным выбором исходных данных, основных допущений и

ограничений при формулировании постановок научных задач, использованием апробированного современного математического аппарата, согласованностью разработанной методологии с общими принципами и концепциями оценивания состояния СЛО, экспериментальной апробацией полученных теоретических результатов с положительным эффектом от внедрения в промышленности и научных предприятиях, а также апробацией основных результатов диссертации в печатных трудах и докладах на международных и всероссийских конференциях;

теория построена на известных принципах, проверенных данных и фактах с использованием современных известных и апробированных методов исследования, согласуется с опубликованными частными результатами других исследователей по рассматриваемой в диссертации проблематике;

идея базируется на всестороннем анализе достоинств и недостатков результатов исследований, выполненных отечественными и зарубежными учеными в области разработки моделей и методов оценивания на основе экспертных знаний состояния сложных объектов, функционирующих в условиях неопределенности;

использованы полученные экспериментальные характеристики разработанной методики для сравнения с данными, приведенными в современной научной и технической литературе. При этом подтверждено преимущество предложенного подхода перед результатами, полученными другими авторами;

установлено качественное и количественное соответствие результатов решения конкретных задач с аналогичными в различных предметных областях;

использованы современные методики сбора и обработки исходных данных и информации, представительные выборочные совокупности с обоснованием подбора объектов (единиц) наблюдения и измерения и т.п.).

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке концепции и методологии оценивания состояния СЛО с использованием явных и неявных экспертных знаний на основе развития нечетко-возможностного подхода;

- разработке метода формализации и использования новой симметризованной формы представления и дополнительных операций над массивами нечетких чисел (LR)-типа для сохранения исходного уровня нечеткости; введении нового класса

математических моделей представления интуитивно-словесных и неявно-заданных экспертных знаний о состоянии СЛО в аналитическом виде;

- создании методики и критериев различия классов состояния СЛО в многомерных пространствах нечетких переменных;

- разработанных критериях вычисления степени адекватности и полезности моделей оценивания состояния СЛО с учетом нечетких данных об особенностях его функционирования и заданных условий эксплуатации;

- решении практических задач оценивания состояния реальных СЛО в различных предметных областях;

- в подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертационный совет считает, что Спесивцев А.В. в своей диссертационной работе решил актуальную научную проблему представления, формализации и использования явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния сложных объектов на основе развития нечетко-возможностного подхода, имеющую важное социально-экономическое и хозяйственное значение.

На заседании 12.09.2019г. диссертационный совет принял решение присудить Спесивцеву А.В. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 20, против нет, недействительных бюллетеней 1.

Председатель диссертационного совета
доктор технических наук
член-корреспондент РАН

пов Рафаэль Мидхатович

Ученый секретарь
кандидат технических наук

а Александра Алексеевна

12.09.2019 г.