



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(МИНОБОРОНЫ РОССИИ)  
федеральное государственное казенное  
военное образовательное учреждение  
высшего образования  
**МИХАЙЛОВСКАЯ  
ВОЕННАЯ АРТИЛЛЕРИЙСКАЯ  
АКАДЕМИЯ**  
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ул. Кавказская, д. 22,  
г. Санкт-Петербург, Россия, 195009  
«23» 07 2019 г. № 2587

На № \_\_\_\_\_

Председателю  
диссертационного совета  
Д 002.199.01

Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Санкт-Петербургского  
института информатики и автоматизации  
Российской академии наук  
д.т.н., члену-корреспонденту РАН  
Юсупову Р.М.

199178, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д. 39

## Отзыв

### официального оппонента

на диссертационную работу **Спесивцева Александра Васильевича**  
«Формализация и использование явных и неявных экспертных знаний для оценивания  
состояния сложных объектов»,  
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук  
по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации  
(технические системы).

### 1. Актуальность темы диссертационной работы

В настоящее время характерными требованиями, предъявляемыми к процессам применения современных систем контроля и управления сложными объектами (СЛО) в ответственных приложениях, являются: оперативность и достоверность оценивания состояния данных объектов; своевременность и обоснованность принятия решений, связанных с наилучшим использованием возможностей СЛО в конкретных условиях обстановки.

Следует отметить, что существующие и проектируемые СЛО являются, как правило, сложными многофункциональными средствами, созданными на базе новых информационных технологий. Поэтому процессы применения таких объектов по целевому назначению, реализуемые в рамках соответствующих систем управления (СУ) СЛО, сопровождаются появлением огромных потоков разнородной информации и отличаются как по физической природе измеряемых и контролируемых параметров, так и по составу источников информации о компонентах вектора состояний СЛО и СУ СЛО.

Высокие требования, предъявляемые в настоящее время к качеству и достоверности оценивания состояния СЛО, СУ СЛО и к складывающейся обстановке в целом, приводят к необходимости: постоянного совершенствования технологии сбора, обработки и анализа (технологии мониторинга) измерительной информации (ИзИ) о СЛО и СУ СЛО; создания соответствующих комплексов автоматизированной интеллектуальной обработки и анализа информации, функционирующих в реальном масштабе времени.

Отличительной чертой рассматриваемых СЛО, систем и комплексов является и то, что они функционируют в условиях, задаваемых, как правило, конечным множеством пе

ременных, выраженных в количественных и качественных шкалах, а также соответствующих пространственно-временных, технических и технологических ограничений. При этом, многие задачи оценивания их состояния формулируются и описываются как вербально на профессиональном языке данной отрасли знаний, так и формально с использованием различных классов моделей.

Результаты всестороннего анализа научно-технической литературы, проведенного соискателем в процессе диссертационного исследования, показали, что при оценивании состояний СлО широко применяются модели и методы, базирующиеся на использовании экспертных знаний. В диссертации к экспертным знаниям автор относит явные и неявные знания эксперта, накопленные в процессе практической работы в конкретной предметной области, позволяющие ему выступать в качестве «интеллектуальной измерительно-диагностической системы» на различных этапах жизненного цикла СлО.

Известно, что существующие подходы, модели и методы в большинстве случаев позволяют находить приемлемые конструктивные ответы на многие вопросы, связанные с мониторингом состояний СлО. Тем не менее, моделей и методов обработки экспертных знаний, необходимых для решения задач оперативного и обоснованного оценивания состояния СлО, представления этих знаний к виду, удобному для последующего использования, разработано недостаточно. При этом ощущается настоятельная необходимость извлечения интеллектуального опыта экспертов как самого короткого пути создания содержательных и конструктивных моделей применительно к решению конкретных практических задач. Вместе с тем, практически во всех исследованиях отмечены многочисленные трудности такого пути из-за отсутствия моделей и методов при принятии решений о состоянии СлО на основе явных и неявных экспертных знаний.

В этих условиях особую значимость приобретают вопросы разработки методологических и методических основ формализации и использования явных и неявных экспертных знаний для автоматизации и интеллектуализации процессов оценивания состояния сложных объектов. С учетом изложенного, тема диссертационной работы Спесивцева А.В. является весьма *актуальной и новой*.

## **2. Научная новизна результатов работы**

2.1. Концептуальное и теоретико-множественное описание проблемы оценивания состояния СлО на основе формализации явных и неявных экспертных знаний проведено достаточно детально и полно. Благодаря этому впервые удалось доказать, что:

процесс создания модели оценивания состояния СлО должен состоять из трех последовательных взаимосвязанных процедур – извлечения знаний, их представления и собственно формализации;

извлечение и представление знаний эксперта целесообразно проводить с использованием элементов теории нечетких множеств в виде нечетких лингвистических переменных и нечетких продукционных правил, используемых для формирования факторного пространства, описывающего представление эксперта о возможных путях решения данной конкретной задачи;

вопросы структурирования множества продукционных правил при формализации экспертных знаний в виде аналитического выражения необходимо решать с привлечением методов теории планирования экспериментов на множестве вербальных ответов эксперта в многофакторном пространстве нечетких переменных.

2.2. Установлена недостаточность существующих операций арифметических операций над нечеткими числами для анализа и оценивания состояния СЛО, вызванная зависимостью выбора формы представления указанных операций от знака нечеткого числа. Это привело к авторской разработке представления параметров нечетких чисел (LR)-типа в симметризованной форме, отличающейся введением унифицированных форм записи расширенных арифметических операций, не чувствительных к знаку нечеткого числа.

2.3. Введена практически не имеющая аналогов симметризованная форма представления параметров нечеткого числа (LR)-типа с использованием авторской разработки методов решения нечетких уравнений. Кроме того, на базе предложенных форм записи расширенных арифметических операций и с учетом существующих возможностей современных методов символьной математики были предложены дополнительные арифметические операции, впервые позволяющие реализовать операцию компенсации увеличения степени нечеткости (ее «расползание») с сохранением ее первоначального значения в знакочередующихся рядах нечетких чисел (LR)-типа. При этом соискателем была доказана тождественность преобразований при введенной форме представления параметров нечетких чисел (LR)-типа.

2.4. Введен класс нечетких моделей, построенный на основе явных и неявных экспертных знаний для количественного оценивания состояния СЛО, который, в отличие от известных моделей, позволяет специалистам, работающим в рассматриваемой предметной области, распространить методы теории планирования экспериментов на область теории нечеткой логики с возможностью формализации экспертных знаний аналитическими выражениями.

2.5. Разработан оригинальный метод извлечения и структуризации экспертной информации, позволяющий адекватно и достаточно просто описывать обобщенное состояние СЛО в виде полиномиальных моделей на базе синтеза результатов, полученных в теории нечетких множеств и теории планирования экспериментов. Соискателю, в отличие от традиционных подходов, удалось разработать такую схему формирования коэффициентов, соответствующего нелинейного полинома, благодаря которой они, по сути, содержат явные и неявные знания эксперта о внутренней логике рассматриваемой предметной области, связанной с функционированием СЛО и представленной продукционными правилами, описывающими причинно-следственные связи, определяющими порядок функционирования рассматриваемого объекта.

### 3.3. Теоретическая значимость и практическая ценность

Теоретическая значимость результатов исследований, изложенных в работе Спесивцева А.В., состоит в обосновании возможности использования вербальных экспертных знаний для построения и использования моделей оценивания и прогнозирования состояния сложных объектов в условиях неопределенности их эксплуатации. Благодаря доказанным и апробированным нововведениям в классическую теорию нечетких множеств при работе с нечеткими числами и разработанному комплексному методу обработки и формализации вербальной экспертной информации, представляется возможность формализации слабо структурированных описаний СЛО с использованием полиномиальных моделей для количественной оценки состояния сложных объектов.

Соискателем в диссертации сформирована и обоснована теоретическая база для интеллектуального моделирования как процесса построения моделей состояния объектов,

обеспечивающих принятие решений на уровне квалифицированного специалиста-эксперта, чьи знания и опыт в результате формализованы аналитическим выражением, так и собственно методического аппарата для проведения соответствующей обработки поступающих данных, информации и знаний. Благодаря разработанному подходу появляется возможность генерации новых знаний о функционировании изучаемого сложного объекта.

Практическая ценность работы состоит в широком использовании результатов диссертационного исследования в различных предметных областях, к числу которых могут быть, в первую очередь, отнесены:

космонавтика («ЦЭНКИ»-КЦ «Южный», космодромы «Плесецк» и «Байконур»): однопараметрическое моделирование оценивания состояния сложных объектов, таких как: насосные агрегаты заправочного оборудования ракетно-космических комплексов (степень развития дефектов при эксплуатации); металлооблицовки стартового комплекса после пуска ракет космического назначения (возможность возникновения дефектов); стартовые комплексы (повреждаемость элементов конструкции и оборудования в условиях интенсивного теплового нагружения). Разработанные модели способствовали обоснованному выбору соответствующих вариантов при решении ряда частных задач. В пользу этого свидетельствуют два патента РФ, полученные по результатам исследований.

цветная металлургия («ГМК «Норильский Никель», норильский промышленный район): однопараметрические модели оценивания состояния дымовой трубы при ее разрушении (12 лет продления срока службы без ЧС); многопараметрические модели производственных процессов обжига в кипящем слое (модель нечеткого логического регулятора) и интеллектуальная АСУ агрегатом процесса плавки, внедренная в промышленное использование (процесс Ванюкова, Медный завод, Норильск). По результатам исследования получены два патента РФ.

Теоретическая значимость и практическая ценность полученных результатов подтверждается многочисленными публикациями, патентами РФ и актами о внедрении и реализации результатов диссертационной работы в различных предприятиях и учреждениях.

#### **4. Достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

-корректностью применения апробированного в научной практике исследовательского и аналитического аппарата;

-строгостью математических соотношений, использованных для моделей и методов оценки состояния сложных объектов;

-положительной апробацией на многочисленных международных и всероссийских научно-технических конференциях и семинарах, проводимых в организациях РАН, в высших учебных заведениях РФ, на предприятиях промышленности

-доказанным положительным эффектом от ряда внедрений результатов представленного диссертационного исследования;

-публикацией результатов диссертационного исследования в рецензируемых научных изданиях, в том числе, индексируемых Scopus.

## **5. Полнота опубликованных результатов и соответствие паспорту специальности**

По теме диссертации опубликовано более 110 научных трудов, в том числе: 18 статей в изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, 4 патента РФ, 2 свидетельства на программы; 16 статей зарегистрированы в SCOPUS, издано 6 монографий, остальные публикации – в научно-технических журналах и сборниках научных трудов.

Основные результаты диссертационной работы Спесивцева А.В. обсуждались на более чем 50 российских и международных научно-технических семинарах и конференциях.

Полученные результаты соответствуют паспорту специальности 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации (технические системы) по пунктам:

1. Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

10. Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах.

13. Методы получения, анализа и обработки экспертной информации.

### **Замечания по диссертации и автореферату**

При изучении представленной диссертационной работы и реферата Спесивцева А.В. возникли следующие вопросы и замечания:

1. В названии темы, текстах диссертации и автореферата выделяются понятия «явные и неявные экспертные знания» (главы 1, 4-6). Приводится содержательное описание понятия неявных знаний, однако проявление и использование именно «неявных знаний» не указывается.

2. В главе 1 диссертационной работы часть материала носит описательный характер и могла быть включена в Приложение. Другая часть является излишней, например 1.5.2, поскольку используется только в Приложении 2 (стр. 343).

3. Недостаточно подробно раскрыта на рис. 1.9 и 1.10 (глава 1) основная суть подготовки экспертных знаний для последующей формализации их методами теории планирования экспериментов, что может привести к некоторым неточностям при непосредственной практической реализации этих процедур.

4. В главе 2 приведен подраздел 2.3, описывающий решение нечетких уравнений в пространстве дополнительных арифметических операций. Однако применение в решении задач формализации экспертных знаний приведено слишком кратко, что затрудняет понимание предлагаемого метода при его непосредственном использовании.

5. В главе 3 приведено излишне подробное описание свойств «нечетких метрических пространств на множестве нечетких подмножеств» (п.3.3), что влияет на адекватность восприятия последующего материала главы.

6. В главе 6 (п. 6.1) при построении информационной модели нечеткого логического регулятора (НЛР) для управления производственным процессом достаточно четко описан процесс прохождения информации внутри НЛР. В то же время, детальный и подроб-

ный анализ результативности применения НЛР в ходе проводимого экспериментального исследования не представлен.

Указанные замечания несколько снижают научный уровень представленного материала, но в целом не влияют на общую положительную оценку представленной диссертации Спесивцева А.В.

### Заключение

Диссертация Спесивцева А.В. представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, имеющие важное хозяйственное значение.

В диссертационной работе Спесивцева А.В. решена важная научно-техническая проблема разработки моделей и методов представления, формализации и использования явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния сложных объектов на основе дальнейшего развития нечетко-возможностного подхода. Цель исследования достигнута.

Заключение антиплагиата 89,16 позволяет сделать вывод о том, что работа выполнена автором самостоятельно. Содержание и выводы автореферата соответствуют основным положениям диссертационной работы и позволяют оценить теоретическую и практическую значимость исследования.

Диссертация и автореферат полностью удовлетворяют критериям п.п. 9-11, 13-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 01.10.2018 г.), предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Спесивцев Александр Васильевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

Официальный оппонент  
профессор кафедры автоматизированного управления  
ракетными войсками и артиллерией Михайловской военной артиллерийской академии,  
академический советник РАН, заслуженный работник высшей школы РФ  
доктор технических наук профе

алерий Алексеевич Кежаев

22.07.2019 г.

Адрес: 195009, г. Санкт-Петербург, ул. Комсомола, д. 22,  
8-911-226-60-49  
E-mail [kezhov@rambler.ru](mailto:kezhov@rambler.ru)

онента

а академи

А.В. Грешнов