

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

заместителя генерального директора – директора по научной работе
открытого акционерного общества «Авангард»
доктора технических наук профессора
ЕФИМОВА Владимира Васильевича
на диссертацию на соискание ученой степени
доктора технических наук

СПЕСИВЦЕВА Александра Васильевича

Тема диссертации: «Формализация и использование явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния сложных объектов».

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

Актуальность темы диссертационной работы

Современный этап развития научно-технической революции охватывает все новые и новые сферы человеческой деятельности. Передовые компьютерные и телекоммуникационные технологии значительно повышают эффективность производства, сокращают расходы всех видов ресурсов и сырья, экономят время. На рубеже XX и XXI веков начался переход от индустриального к информационному обществу во многих ведущих мировых державах. Однако, несмотря на указанные достижения, человечество до конца не осознает всю опасность и глубину основного противоречия нашей эпохи, связанного с увеличивающимся несоответствием между возрастающими потребностями человечества и возможностями их удовлетворения ухудшающейся окружающей средой. Наиболее остро указанное противоречие проявляется при возникновении различных масштабных аварий, катастроф и других чрезвычайных ситуаций, которые, без оперативного принятия специальных мер могут привести к большим человеческим жертвам, материальным потерям и ряду многих других негативных факторов. Одна из главных причин возникновения перечисленных явлений связана с *усилением роли факторов сложности* в существующих и проектируемых организационно-технических системах, используемых в различных предметных областях. При этом, говоря о проблемах сложности современных объектов-оригиналов (реальных и абстрактных), принято выделять следующие основные аспекты сложности: структурную сложность, сложность функционирования, сложность принятия решений и выбора сценариев поведения, сложность развития, сложность их формального описания и моделирования.

Одним из перспективных направлений преодоления проблем сложности является путь, ориентированный на их парирование за счет организации соответствующих распределенных иерархически-сетевых процессов управления

принципиально новыми классами объектов, которые стали называться сложными объектами (СЛО). Решение проблем управления сложными объектами, как показывают результаты многочисленных исследований, проведенных в нашей стране и за рубежом, должны базироваться на междисциплинарных подходах и методологиях с привлечением специалистов разных специальностей: экономистов, биологов, физиков, математиков, специалистов в области компьютерных технологий.

В этом отношении диссертация Спесивцева А.В., посвященная вопросам разработки моделей и методов представления, формализации и использования явных и неявных экспертных знаний для оперативного и обоснованного оценивания состояния сложных объектов на основе дальнейшего развития нечетко-возможностного подхода **является актуальной и своевременной**, так как затрагивает чрезвычайно важные проблемы автоматизированного мониторинга и упреждающего прогнозирования состояния СЛО при наличии недостоверной, неполной, неточной и противоречивой информации как о самом объекте, так и процессах, происходящих с ним.

Научная новизна результатов работы

Научная новизна полученных в диссертации Спесивцева А.В. результатов, выводов и рекомендаций заключается в следующем:

1. Разработаны новая концепция и метод формализованного описания интуитивно-словесных и неявно заданных экспертных знаний о состоянии СЛО на основе дальнейшего развития нечетко-возможностного подхода и теории планирования экспериментов. **В отличие от известных результатов, полученных в рассматриваемой предметной области**, в диссертации проведено обобщение и развитие теоретических и методологических основ оценивания и прогнозирования состояния слабо структурированных сложных объектов с использованием явных и неявных экспертных знаний, дополненных результатами реальных физических измерений отдельных параметров указанных объектов

2. Введена новая симметризованная форма представления нечетких чисел (LR)-типа, а также доопределены арифметические операции над ними. При этом разработана унифицированная форма записи расширенных, нечувствительных к знаку нечетких чисел, и дополнительных, сохраняющих исходную нечеткость экспертной информации при обработке массивов нечетких чисел в виде знакопеременного ряда. **Новизна введенных математических преобразований и доопределений заключается** в комплексном подходе к совершенствованию как форм представления нечетких чисел, так и упрощений арифметических операций над ними, что имеет важное теоретическое значение с точки зрения развития классической теории нечетких множеств.

3. **Введен новый класс нечетких моделей** для оценивания состояния СЛО и разработаны оригинальные прикладные методики решения различных классов прикладных задач оценивания и прогнозирования состояния конкретных СЛО на основе явных и неявных экспертных знаний. **В отличие от известных математических моделей**, введенный класс нечетких продукционных моделей

ориентирован на использование опыта и знаний высококвалифицированных специалистов в различных предметных областях. Для синтеза моделей нового класса предложен комплексный метод построения моделей в факторных пространствах количественных и не количественных переменных, а также обоснованы критерии оценивания адекватности и полезности моделей.

4. *Разработана методика*, реализующая концепцию и метод формализованного описания интуитивно-словесных и неявно заданных экспертных знаний о состоянии СЛО на основе дальнейшего развития нечетко-возможностного подхода и теории планирования экспериментов, включающая пошаговый алгоритм построения аналитических выражений и проведение проверки их адекватности с использованием предложенных в диссертации критериев. *Новизна предложенного комплекса моделей и методов* заключается в формировании функционально завершенной методологии извлечения, представления и формализации экспертных знаний аналитическими выражениями, что облегчает их использование для компьютерной обработки. При этом синтез адекватной математической модели для конкретного сложного объекта осуществляется с учётом специфики его функционирования и эксплуатации при минимальных затратах экономических и временных ресурсов.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации Спесивцева А.В. подтверждаются:

- полнотой и глубиной анализа отечественных и зарубежных источников информации, характеризующих современное состояние в исследуемой предметной области;
- использованием при проведении диссертационных исследований апробированного современного математического аппарата;
- согласованностью разработанной методологии с общими принципами и концепциями оценивания состояния СЛО;
- согласованностью результатов моделирования и проведенных расчетов с фактическими данными, полученными в процессе эксплуатации СЛО;
- экспериментальной подтверждением полученных теоретических результатов с положительным эффектом от внедрения в промышленности и в научных организациях;
- положительной апробацией на международных и всероссийских научно-технических конференциях и семинарах, проводимых в организациях РАН, в высших учебных заведениях, на предприятиях промышленности.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы

Теоретическая значимость диссертации Спесивцева А.В. состоит в разработке научных основ формализованного описания интуитивно-словесных и неявно заданных экспертных знаний о состоянии СЛО 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 СЛО. При этом представляется возможным выявление как явных, так и неявных экспертных знаний, отражающих накопленный опыт эксперта при эксплуатации конкретных СЛО с учетом неопределенностей их состояния и условий функционирования, что существенно повышает оперативность и обоснованность принимаемых управленческих решений.

Практическая значимость полученных автором результатов состоит в доведении теоретических исследований до уровня инженерных методик, с использованием которых удастся оценивать и обрабатывать нечеткую (вербальную, неколичественную) экспертную информацию о состоянии конкретного СЛО с последующей структуризацией и формализацией данной информации для оценивания состояния объекта в динамически изменяющейся обстановке.

Улучшение методов оценки состояния конкретного СЛО, основанное на использовании знаний и опыта эксплуатации именно этого объекта, обеспечивает эффективность разрабатываемых моделей для прогнозирования состояния и последующего извлечения новой информации о его функционировании. В частности, разработаны и успешно внедрены в различных предметных областях следующие нечетко-возможностные модели, методы и методики оценивания состояния слабо структурированных СЛО:

1. Проведено оценивание степени развития дефектов при эксплуатации насосных агрегатов заправочного оборудования ракетно-космических комплексов космодрома Байконур. Использование на практике созданной и внедренной методики дает возможность количественного оценивания и прогнозирования опасных последствий при развитии определенного вида дефекта и способствует повышению качества и ускорения производства наладочных работ НА ЗО РКК. Разработанный «Способ количественного оценивания степени развития дефектов при эксплуатации насосных агрегатов заправочного оборудования ракетно-космических комплексов» защищен патентом РФ № 2673629 от 28.11.2018.

2. Разработаны и внедрены методики оценивания технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса химических источников тока (ХИТ) на базе экспертных знаний. Результаты исследования легли в основу создания алгоритмического обеспечения интеллектуальной информационно-диагностической системы количественного определения и прогнозирования остаточного ресурса ХИТ.

На «Способ неразрушающего контроля технического состояния химических источников тока» получен патент РФ № 2467436 от 20.11.2012.

3. Создана модель нечеткого логического регулятора (НЛР) для управления процессом обжига в кипящем слое с базой знаний, описывающей технологию интеллектуального управления металлургическим процессом в виде нечетких продукционных правил. В результате производительность агрегата повысилась на 25–30 %. На разработанный способ автоматизации процессом

получен патент РФ №2204616 от 20.05.2003.

4. Синтезирована интеллектуальная автоматизированная система управления печью Ванюкова (ИАСУ ПВ) в условиях существенной неопределенности на основе явных и неявных экспертных знаний. Построенная «виртуальная печь» Ванюкова работает на той же информационной основе, что и промышленный агрегат, позволяет получать адекватные расчеты как по ведению процесса плавки, так и по качеству конечных продуктов плавки. Осуществлено полномасштабное промышленное внедрение ИАСУ ПВ на Медном заводе Заполярного филиала «ГМК «Норильский никель» (Норильск, 2013). В данном случае практически реализован наиболее общий подход к решению потоково-многоуровневого распознавания состояния и управления сложным технологическим процессом. Получен патент РФ № 2571968 от 27.12.2015.

В целом, результаты реализации предложенного в диссертации Спесивцева А.В. специального программно-математического обеспечения оценивания СЛО позволяют значительно (на порядки) сократить временные и экономические затраты при создании математических моделей, способных стать основой интеллектуальных баз знаний.

Общая оценка содержания диссертации, полнота опубликования результатов и соответствие паспорта специальности

Основные научные положения диссертации Спесивцева А.В., впервые содержащие защищаемые научные положения, опубликованы в более чем 110 научных трудах, в том числе: 18 статей в изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора технических наук, 4 патента РФ, 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ; 16 статей зарегистрированы в SCOPUS, издано 6 монографий, где соискатель является одним из соавторов, остальные публикации – в научно-технических журналах и сборниках научных трудов.

Полученные результаты работы 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.

Текст диссертации оформлен аккуратно и в полной мере удовлетворяет требованиям к оформлению научных рукописей, представляемых в печать.

Автореферат диссертации правильно и в полной мере передает основное содержание работы. Он составлен и оформлен в соответствии с требованиями

«Положения...», предъявляемыми к авторефератам диссертаций.

Недостатки и замечания по диссертационной работе. Наряду с отмеченными положительными сторонами работы, диссертация Спесивцева А.В., к сожалению, не лишена и ряда недостатков. Отметим основные, на наш взгляд, из них:

1. Реализация разработанного в диссертации нечетко-возможностного подхода при работе с экспертной информацией предполагает выполнение определенной последовательности действий с нечеткими числами, в частности, их фазификацию и дефазификацию. При этом описываемые особенности осуществляемого в работе перехода от знаний к числовым значениям следовало бы более подробно объяснить и описать в диссертации, поскольку использование методов теории планирования экспериментов ведется в числовом выражении.

2. В диссертации не показано, как конструктивно должны ликвидироваться ситуации, когда в экспертной информации о состоянии СЛО содержится недостоверная, неполная, неточная и противоречивая информация

3. В главе 2 (с. 93) рассматривается понятие расширенных арифметических операций над нечеткими числами. Такие нетривиальные определения следует пояснять.

4. В тексте диссертации (глава 2) при подробном описании существующих арифметических операций над нечеткими числами (LR)-типа не совсем понятно, зачем им уделено столько внимания. Тем более, что в дальнейшем используется преимущественно симметризованная форма представления нечетких чисел.

5. На рисунке 5.23 (с. 237, глава 5) в диссертации рассмотрены тенденции деградации состояния пространственно-распределенного объекта, при этом показана линия R-R, но только при анализе факторного пространства можно догадаться, что линия раздела входит в описание переменной X_5 . Это затрудняет понимание важных деталей исследования конкретных объектов.

6. Автор не приводит в диссертации информацию о программном обеспечении, примененном для практической оценки разработанных методик и моделей (примеры в Главах 5 и 6), кроме ссылок в литературных источниках (253, 256) на Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Приведенные недостатки и замечания в определенной степени снижают уровень рассматриваемой работы, вместе с тем не отвергают достоверности и значимости основных положений и результатов, полученных ее автором

Заключение

В соответствии с пп. 9 - 14 «Положения о присуждении ученых степеней», диссертационная работа Спесивцева А.В., выполненная на тему «Формализация и использование явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния сложных объектов» и представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01, является законченной научно-квалификационной работой.

Диссертационная работа Спесивцева А.В. характеризуется новизной и

значимостью результатов, которые следует признать достоверными и обоснованными. Диссертантом успешно решена научная 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.

Считаю, что диссертационная работа Спесивцева Александра Васильевича по содержанию, научному уровню и завершенности исследования соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Спесивцев Александр Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ
заместитель генерального директора –
директор по научной работе ОАО «Авангард»
доктор технических наук профессор

В.В. ЕФИМОВ

Почтовый адрес: 195271, Санкт-Петербург, Кондратьевский пр., д. 72.
Тел.: +7 (812) 540-15-50, e-mail: avangard@avangard.org.

«Подпись официального оппонента заместителя генерального директора – директора по научной работе ОАО «Авангард» доктора технических наук профессора ЕФИМОВА Владимира Васильевича заверяю».

Начальник отдела кадров ОАО «Авангард»

В.В. ЗАГОРСКИЙ

«29» июль
М.П.