

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию

**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).

На отзыв представлена диссертационная работа в виде одного тома, состоящая из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений, общим объемом 357 страниц, в том числе 328 источников литературы, а также автореферат на 36 страницах.

### **Актуальность темы диссертации**

В настоящее время математическое моделирование является универсальным инструментом познания, исследования и проектирования объектов в разных предметных областях. При этом по мере усложнения указанных объектов значимость проблемы построения и использования моделей реально существующих и создаваемых объектов постоянно возрастает.

Моделирование как метод (процесс) создания и исследования моделей позволяет практически устранить необходимость длительных и дорогостоящих натуральных испытаний, отказаться от использования традиционных методов «проб и ошибок».

Поэтому математическое моделирование является практически единственным методом проектирования сложных объектов (СЛО), к числу которых могут быть отнесены, например, организационно-технические системы (СОТС), которые зачастую являются уникальными и не имеющими прототипов.

К таким системам, в первую очередь, относятся системы управления (СУ) активными подвижными объектами (АПО), СУ производственными, социально-экономическими объектами, военно-технические системы.

Главная особенность указанных СЛО состоит в том, что для сведения о них, о процессах, протекающих в них, сведения о воздействии внешней среды имеет разнородный характер – с одной стороны, есть четкие данные, информация и знания об отдельных аспектах функционирования данных объектов.

С другой стороны, – имеется неполная, неточная, противоречивая информация о поведении отдельных элементов и подсистем, входящих в состав данных СЛО.

Указанные обстоятельства приводят к необходимости организации комплексного моделирования и исследования рассматриваемых классов СЛО в ходе которого должна проходить интеграция количественных и качественных моделей, методов и алгоритмов, позволяющих описывать и исследовать данные объекты.

Данные исследования в современных условиях проводятся в рамках интенсивно развиваемой теории многокритериального оценивания и анализа качества моделей и полимодельных комплексов, которая получила в последнее время другое название – квалиметрия моделей и полимодельных комплексов.

Таким образом, тематика диссертационной работы Спесивцева А.В., посвященной разработке и практическому использованию нового научно-методического аппарата (моделей, методов, алгоритмов, методик) комплексного оценивания и прогнозирования состояния рассматриваемых классов СЛО в условиях воздействия различных видов возмущающих факторов, сведения о которых слабо структурированы, а в некоторых случаях даже и противоречивы очевидно является *актуальной и своевременной*.

### **Научная новизна полученных результатов**

В целом в диссертационной работе Спесивцева А.В. содержится новое оригинальное решение проблемы 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. При этом **научная новизна** полученных в диссертационной работе результатов состоит в следующем:

1. В результате проведенного соискателем в диссертации системного анализа исследуемой предметной области было установлено, что к настоящему времени в решении проблемы оценивания состояния СлО накоплен значительный опыт как отечественных, так и зарубежных ученых. Однако, несмотря на то, что предложенные ранее подходы, методы и модели позволяют находить конструктивные ответы на многие вопросы, связанные с мониторингом состояний СлО, однако необходимых для решения задач оперативного и обоснованного оценивания состояния СлО моделей, методов обработки экспертных знаний, их представления 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 предшествующих исследованиях по данному направлению отмечены многочисленные трудности такого пути из-за отсутствия методов и моделей при принятии решений о состоянии СлО на основе явных и неявных экспертных знаний.

В связи с отмеченным диссертантом были разработаны **новая концепция и новый метод** 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.

2. Для конструктивного количественно-качественного описания состояния СЛО в условиях возмущающих воздействий внешней среды в диссертации была формально доказана правомерность применения новой симметризованной формы представления нечетких чисел (LR)-типа и унифицированной формы записи расширенных и дополнительных арифметических операций над ними, нечувствительных к знаку нечетких чисел.

Осуществленный автором подход к первоосновам задания нечеткости чисел в симметризованной форме, *в отличие от общепринятой* формы их задания, привел к существенному упрощению в практической работе с массивами нечетких чисел.

3. В диссертации обобщены, расширены и исследованы свойства дополнительных арифметических операций, введенных методами символической математики, для сохранения первоначальной нечеткости и приведения подобных членов при обработке массивов знакопеременного ряда нечетких чисел (LR)-типа в симметризованной форме.

*Научная новизна* данного результата состоит в том, что, в отличие от традиционных подходов, использование дополнительных арифметических операций позволяет компенсировать увеличение нечеткости, сохранить исходную информативность конечного результата, что соответствует здравому смыслу операторов, использующих указанные данные на практике, и составляет научную основу для решения проблемы построения аналитических моделей оценивания состояния СЛО с привлечением явных и неявных экспертных знаний.

4. Введен новый класс нечетких моделей для оценивания состояния СЛО, построенных на основе комбинации методов нечетко-продукционного подхода и теории планирования экспериментов, который, *в отличие от традиционно используемых* подходов к оцениванию состояния СЛО, дает возможность распространения методов теории планирования экспериментов на область теории нечеткой логики с возможностью формализации

экспертных знаний аналитическим выражением.

5. Разработан способ задания нечеткой нормы в виде модуля нечеткого числа (LR)-типа в нечетких метрических пространствах на множестве нечетких чисел, который позволяет различать классы состояния СЛО на основе экспертных знаний.

Функционирование СЛО в многомерных пространствах нечетких переменных приводит, как правило, к неоднозначности определения их состояния, поэтому перевод нечетких множеств в метрические необходим для *однозначного отнесения* состояния СЛО к определенному заранее фактор-множеству его состояний.

6. Разработаны методика и критерии оценивания адекватности и полезности расчетов состояния СЛО с использованием построенных полиномиальных моделей с учетом нечетких данных об особенностях функционирования СЛО и заданных условий эксплуатации.

Полезность и адекватность построенных моделей является неотъемлемой частью методик, однако вовлечение экспертных знаний в процесс синтеза моделей в условиях, когда факторное пространство содержит или целиком состоит из неколичественных переменных, требует учитывать эту специфику при разработке критериев.

7. Разработаны оригинальные прикладные методики решения различных классов прикладных задач оценивания и прогнозирования состояния конкретных СЛО на основе явных и неявных знаний.

**Теоретическая значимость** диссертационного исследования заключается в обосновании возможности использования явных и неявных экспертных знаний для синтеза моделей оценивания состояния СЛО на основе дальнейшего развития нечетко-возможностного подхода.

Новые методы представления, формализации и использования нечетких чисел (LR)-типа и доопределение на основе символической математики дополнительных арифметических операций над нечеткими

числами знакопеременного ряда для сохранения исходного уровня нечеткости позволили разработать комбинированный метод построения моделей с учетом *количественной* и *неколичественной* экспертной информации.

Только при таком комплексном подходе и реализуется развитие нечетко-возможностного подхода.

Разработанные модели представления интуитивно-словесных и неявно-заданных экспертных знаний о состоянии СЛО в аналитическом виде и критерии проверки степени их адекватности и полезности получили всестороннюю реализацию при решении практических задач в различных предметных областях.

Таким образом, разработана методология и математически обоснован метод формализации экспертной информации в виде аналитического выражения для количественного мониторинга уровня состояния СЛО.

*Тем самым сделан конкретный шаг в решении проблемы сохранения и тиражирования опыта и знаний ведущих специалистов по изучаемым явлениям.*

Результаты диссертационных исследований имеют обобщенный междисциплинарный характер и представляют собой научные основы количественного решения задач извлечения, представления, формализации и использования экспертных знаний

### **Практическая значимость и реализация результатов работы**

Практическое значение полученных результатов состоит в доведении теоретических исследований до уровня инженерных методик, использование которых дает возможность оценивать и обрабатывать нечеткую (вербальную) экспертную информацию о состоянии конкретного СЛО в виде лингвистических переменных для последующей структуризации и формализации данной информации при оценивании состояния СЛО в динамически изменяющейся обстановке.

С использованием разработанных методов, моделей и алгоритмов получены оценки фактического состояния широкого класса СЛО в различных областях науки и техники, что позволило обосновать принимаемые конкретные инженерные и управленческие решения по оцениванию и прогнозированию состояния конкретного СЛО.

В ходе практической реализации диссертационных исследований были получены положительные эффекты в различных предметных областях.

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 технических наук, 4 патента РФ, 2 свидетельства на программы; 16 статей зарегистрированы в SCOPUS, издано 6 монографий, где соискатель является автором или одним из соавторов.

Практическая значимость результатов подтверждена 5 актами внедрения на предприятиях и учреждениях в различных предметных отраслях.

Примеры решения практических задач в диссертации демонстрируют *универсальность разработанных методик* на основе предлагаемого комплексного метода: в космонавтике при оценивании и прогнозировании состояний насосных агрегатов заправочного оборудования (глава 5, пример 5.1, космодром Байконур), химических источников тока (глава 5, пример 5.3, космодром Плесецк); в металлургии (глава 6, примеры 6.1 и 6.2, «ГМК «Норильский никель»), в МЧС РФ и экологии при оценивании состояния высоко рискованных сложных объектов (глава 5, пример 5.4). По результатам исследований получены 4 патента РФ.

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов подтверждается:

- всесторонним анализом современного состояния исследований решаемой проблемы в различных предметных областях;

- согласованностью результатов моделирования и проведенных расчетов с фактическими данными, полученными в процессе эксплуатации СЛО;

- использованием при проведении диссертационных исследований апробированного современного математического аппарата;

- согласованностью разработанной методологии с общими принципами и концепциями оценивания состояния СЛО;

- экспериментальной апробацией полученных теоретических результатов;

- положительным эффектом от внедрения в промышленности и научных предприятиях;

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

Основные положения работы и результаты проведенных исследований автор логично, аргументировано и правильно изложил в автореферате.

**Диссертация соответствует паспорту специальности 05.13.01 по областям исследований:**

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 и недостатки диссертационной работы**

1. В диссертации в явном виде не перечислены те теоретические

положения, разработанные соискателем, которые могут быть классифицированы как дальнейшее развитие нечетко-возможностного подхода;

2. Введенные дополнительные арифметические операции как одно из выносимых положений на защиту (с.22) пояснены недостаточно (см. п. 3.5.2, с. 135), хотя значимость этого положения оценено в диссертации как одно из основополагающих для решения проблемы в целом;

3. При построении информационной модели нечеткого логического регулятора (п. 6.1, с. 243) получены две модели, а продемонстрировано применение только одной. Следовало бы показать применение обеих построенных моделей, тем более что описанию работы нечеткого логического регулятора уделено излишне подробное описание;

4. В примере построения интеллектуальной АСУ для управления мощным плавильным агрегатом, печью Ванюкова (п.6.2, с. 353), представляющим особый интерес как для теории, так и для практики, следовало бы более подробно описать архитектуру построения виртуальной печи;

5. Можно отметить, что некоторые рисунки, особенно в приводимых примерах (рис. 5.13, 6.5, 6.16), трудно воспринимаемы из-за мелкого шрифта и недостаточного их описания.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертации и не влияют на основные научные и практические результаты.

### **Заключение**

В диссертационной работе Спесивцева Александра Васильевича 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.

Заключение антиплагиата позволяет сделать вывод о том, что работа

выполнена автором самостоятельно и на высоком научном уровне. Содержание диссертации и автореферата соответствуют решению поставленной цели.

Диссертация Спесивцева Александра Васильевича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые, научно обоснованные методические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в построение моделей состояния СЛО.

Представленная диссертация Спесивцева А.В. соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

Официальный оппонент

Громов Виктор Никифорович

доктор технических наук профессор

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого, профессор Высшей школы киберфизических систем и управления. 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая

Телефон: (812) 297-20-95, (812) 297-16-16.

+7-921-354-57-46

E:mail [vgromov2018@list.ru](mailto:vgromov2018@list.ru)

