



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное
образовательное
учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
технологический институт
(технический университет)»
(СПбГТИ(ТУ))

Московский пр., д.26, г.Санкт-Петербург, 190013,
телеграф: Санкт-Петербург, Л-13, Технолог,
факс: ректор (812) 710-6285, общий отдел (812) 712-7791,
телефон: (812) 710-1356,
E-mail: office@technolog.edu.ru

УТВЕРЖДАЮ

Проектор по научной работе
федерального государственного бюджетного
образовательного
учреждения высшего образования
"Санкт-Петербургский

ий
тет)"

В. Гарабаджиу

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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).

Актуальность темы диссертации

Современное состояние науки и техники постоянно пополняется новыми сложными технологиями, управление которыми связаны с разработкой новых методов моделирования и прогнозирования их состояния. При этом следует подчеркнуть, что сложные объекты (СЛО) функционируют, как правило, в условиях неопределенности, которые не позволяют в полной мере использовать мощный аппарат детерминированной математики. Выходом из такого положения является, чаще всего, использование знаний и опыта высококвалифицированных специалистов – экспертов. Однако существующие методы использования экспертных знаний не всегда позволяют получать количественные оценки изучаемых явлений, что сдерживает широкое их применение при создании экспертных систем.

В связи с этим тема диссертации «Формализация и использование явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния сложных объектов» является **актуальной**, а решаемая в диссертации проблема разработки новой методологии и методики извлечения, представления и формализацию вербальных экспертных знаний в аналитическом виде имеет как **теоретическую**, так и **практическую** значимость.

Научная новизна полученных результатов

В диссертационной работе содержится 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,

Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов состоит в

следующем:

1. Разработаны 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** выбранный и разрабатываемый автором подход позволяет использовать дополнительную неколичественную (вербальную) экспертную информацию для построения математических моделей оценивания состояния СЛО. При этом, что особенно важно, активно используются экспертные знания и накопленный опыт эксперта при эксплуатации конкретных СЛО с учетом неопределенностей состояния в изменяющихся условиях их функционирования (например, в условиях износа, старения, деградации). Это существенно повышает оперативность и обоснованность принимаемых управленческих решений.

2. Разработаны и доказаны 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. **Особенность** разработанных и теоретически обоснованных **новых форм** представления нечетких чисел состоит в том, что их введение существенно упрощает формализацию экспертных знаний в виде лингвистических переменных и последующую работу с ними, т.к. вместо трех формул для описания каждой из арифметических операций в зависимости от сочетания знаков нечетких чисел можно обходиться только одной операцией.

3. Введены с помощью методов символьной математики дополнительные арифметические операции, обобщены, расширены и исследованы их специфические свойства. **Доопределение** арифметических операций вызвано необходимостью сохранения первоначальной нечеткости зависимой переменной при обработке массивов знакопеременного ряда нечетких чисел (LR)-типа в симметризованной форме. **Впервые** автором поставлена и решена задача компенсации катастрофического возрастания нечеткости зависимой переменной на стадии формализации экспертных знаний в виде полиномиальных моделей.

4. Введен **новый класс нечетких моделей** для оценивания состояния СЛО, построенных на основе комбинации методов нечетко-продукционного описания и теории планирования экспериментов. **В отличие** от традиционных подходов это дает возможность распространения классических методов теории планирования экспериментов на область теории нечеткой логики с возможностью формализации явных и неявных 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. При этом вычисленное по построенной модели значение состояния СЛО в многомерном пространстве нечетких переменных позволяет **однозначно** отнести его к заранее определенному классу (фактор-множеству) состояний СЛО.

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. **В отличие от известных** предложенная методика и критерии предоставляют ЛПР возможность априорного оценивания несмещенности и эффективности оценок, получаемых с помощью полиномиальных моделей. Существенно, что применение разработанных методики и критериев возможно и в тех ситуациях, когда факторное пространство состоит исключительно из качественных или/и физически не измеряемых переменных.

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

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Основные положения, выводы и рекомендации, полученные в диссертации, обоснованы и аргументированы. Сформулированная в диссертации проблема была исследована и решена на основе корректного использования фундаментальных концепций, принципов и подходов, используемых в системном анализе, общей теории систем, теории распознавания образов и формализма мультимножеств, теории принятия решений и многокритериального оценивания, теорий вероятностей, информации и математической статистики.

Достоверность основных выводов и результатов диссертации 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 с
- 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.

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 символьной 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. 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.

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 проблеме 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

Разработанные методологические основы синтеза высоконадежных моделей оценивания состояний сложных динамических объектов для управления и мониторинга, базирующиеся на комплексном использовании системных и предметно-ориентированных

явных и неявных экспертных знаний, позволяют перейти на новый, отвечающий современным научным и прикладным целям уровень автоматизации поддержки принятия решения о состоянии СЛО, а также существенно сократить время обработки первичных данных и повысить степень обоснованности принимаемых решений.

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.

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.

В ходе практической реализации диссертационных исследований были получены положительные эффекты в различных предметных областях. Разработанный комбинированный метод построения нового класса математических моделей с использованием явных и неявных экспертных знаний нашел применение на различных предприятиях и учреждениях, что официально подтверждено актами об использовании и внедрении: ФГУП «ЦЭНКИ» космического центра «Южный», ФГУП «СКБ Титан», ННУ «БИТИС», Норильское региональное отделение МАНЭБ, Заполярный филиал МЗ «ГМК «Норильский никель».

1. Результаты диссертационной работы легли в основу математического и алгоритмического обеспечения новой информационной системы обработки явных и неявных знаний в области оценивания и прогнозирования состояния объектов наземной космической инфраструктуры (ОНКИ) с использованием построенных нечетко-возможностных математических моделей ракетно-космической техники в современных условиях (космодромы Байконур, Плесецк), в рамках которой были решены следующие важные инженерно-технические задачи:

оценивание степени развития дефектов при эксплуатации насосных агрегатов заправочного оборудования ракетно-космических комплексов (ЗО РКК);

оценивание возможности возникновения дефектов металлооблицовки стартового комплекса после пуска ракет космического назначения;

создание методики оценивания технического состояния химических источников тока (ХИТ);

прогнозирование повреждаемости элементов конструкции и оборудования стартовых комплексов в условиях интенсивного теплового нагружения;

прогнозирование остаточного ресурса ХИТ (Плесецк), составных элементов ЗО РКК (Байконур) на базе экспертных знаний.

2. В области экологии разработанные модели заложили научно-методические основы прогнозирования состояния гидротехнических сооружений, оснований плотин хвостохранилищ, построенных на многолетнемерзлых грунтах (Норильский промышленный район). Мониторинг состояния таких сооружений является необходимым для прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций на Крайнем Севере.

3. Результаты диссертационных исследований нашли применение в практике цветной металлургии при создании систем интеллектуального управления металлургическими процессами не только для увеличения производительности, но и проактивного предупреждения аварийных ситуаций. Так, например,

- в ИАСУ процессом обжига сульфидного концентрата в печи кипящего слоя на основе нечеткого логического регулятора, удалось увеличить производительность агрегата на 25-30% и повысить безопасность ведения процесса за счет автоматического отслеживания приближения к предаварийному его состоянию;

- впервые созданная и внедренная ИАСУ мощным плавильным агрегатом (до 160 тонн в час) на Медном заводе ЗФ «ГМК «Норильский никель» позволила существенно облегчить работу операторов-технологов, свести к минимуму степень риска выработки системой неправильного управленческого решения, а мониторинг состояния агрегата в режиме реального времени способствует раннему обнаружению момента приближения компонент его состояний к определенным в документации запредельным (предаварийным) состояниям технологического процесса в целом.

Фактически проведенные исследования внесли существенный вклад в разработку и реализацию наиболее общего подхода к решению проблемы потоко-многоуровневого распознавания состояния СЛО и проактивного управления соответствующим сложным технологическим процессом.

Предложения по дальнейшему использованию результатов диссертационных исследований

Проведенные в диссертации исследования необходимо продолжить в направлении расширения практики разработанных нечетко-возможностных моделей и реализующих их методов, алгоритмов в рамках следующих основных направлений:

- Синтез оптимальных программ управления СЛО в различных условиях изменяющейся обстановки с целью дальнейшего перехода от слабоструктурированных к структурированным задачам. При этом совершенствование системы извлечения и представления знаний эксперта для проведения упреждающего моделирования и многовариантного анализа различных сценариев реализации жизненных циклов рассматриваемых объектов предлагается рассматривать как один из этапов проактивного управления СЛО.

- Разработанные модели, алгоритмическое и программное обеспечение целесообразно рекомендовать к использованию в проектных организациях, занимающихся оценением состояния объектов наземной космической инфраструктуры (ОНКИ), в частности в Федеральном государственном унитарном предприятии (ФГУП) «ЦЭНКИ» космического центра «Южный», ФГУП «СКБ Титан», ВКА имени А.Ф. Можайского.

- Полученное теоретическое обоснование корректного введения новых форм представления нечетких чисел (LR)-типа и доопределение арифметических операций над ними целесообразно использовать в теории нечетких множеств как расширение эффективного математического аппарата, позволяющего решать конкретные практические задачи при представлении экспертных знаний в любых предметных областях. Предлагаемый аппарат работы с нечеткими числами имеет самостоятельную ценность и может обеспечить корректное применение для решения многокритериальных слабоформализованных задач, связанных с широким кругом вопросов по организации экспертного принятия решений в РФФИ и ФЦП, поддержки принятия решений в интеллектуальных системах типа EXPERT CHOICE (пакет зарубежных программ, основанный на реализации классического варианта метода анализа иерархий). Как известно, авторский вариант указанного метода (Т. Саати), кроме сложности математической обработки, мог приводить к ошибочным решениям, а, следовательно, к неточности в итоговом принятии решений в интеллектуальных системах.

- Разработанные методы, алгоритмы и методики могут быть востребованы на конкретных предприятиях металлургических областей, в частности, в технологических структурах «ГМК «Норильский никель» на Надеждинском заводе при разработке интеллектуальной АСУ нового перспективного процесса «Непрерывное конвертирование в печи Ванюкова» (г. Норильск); на металлургических предприятиях комбинатов «Североникель» (г. Мончегорск), «Печенганикель» (г. Заполярный), а также создания тренажеров для подготовки и обучения операторов-технологов по металлургическим специальностям.

• Комбинированный метод формализации экспертных знаний может найти широкое применение в сельском хозяйстве, где решения вырабатывает в подавляющем большинстве случаев специалист на основе своего опыта. Практически все задачи, решаемые в различных областях сельского хозяйства, относятся к слабо формализованным. Поэтому применение разработанных методов возможно в различных сельхоз отраслевых научных организациях (ФГБНУ Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, Санкт-Петербург; Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва; ФГБОУ ВО Агроуниверситет, Санкт-Петербург и др.): при построении моделей оценивания состояния и прогнозирования как отдельных технических и технологических объектов (например, процессы послеуборочной подготовки зерновых и овощных культур к хранению, прогнозирование удойности молока в хозяйствах, моделирование изменения популяции животных, управление процессами биоферментации отходов животноводства для производства удобрений и др.), так и общенаучных (разработка теории потенциалов крупных территориальных объединений, областей и округов; комплексная оценка факторов развития болезней крупного рогатого скота; проекты международного плана действий по защите Балтийского моря от загрязнения азотистыми соединениями и др.).

Замечания и недостатки диссертационной работы

1. В работе не нашлось места исследованиям в области анализа, синтеза, оптимизации и управления в химической технологии в условиях неопределенности, где сложные объекты – это технологические схемы, состоящие из 50-100 аппаратов (типа печи Ванюкова и насосного агрегата). В этих зарубежных и отечественных исследованиях (I. Grossmann и его учеников, L. Biegler, E. Pistikopoulos, научные школы профессоров Г.М. Островского, В.А. Холоднова) используется мощный аппарат детерминированной математики. Не нашлось места понятию «гибкости» функционирования сложных объектов.

2. Автор полагается на формальные модели и планирование эксперимента. А как поступать при проектировании сложных объектов, не используя детерминированные модели? Формальные модели плохо пригодны для прогнозирования.

3. Регрессионный анализ изложен не строго. Регрессионные уравнения должны быть приведены в интервальной форме, так как коэффициенты определяются по экспериментальным данным. Скучно отражен момент адекватности моделей. По автору получается, что модель 10 степени, учитывая только коэффициент детерминации, лучше модели 2-5 степени. Поэтому необходимо пользоваться скорректированным критерием детерминации.

4. В диссертации не нашлось места важной проблеме по решению задач обеспечения функциональной полноты показателей для сложных объектов (технологических, экономических, экологических).

5. В решаемой проблеме «Разработка 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» (рис.1, с.13) акцентировано внимание на дальнейшее развитие нечетко-возможностного подхода, но в явном виде это в диссертации не прозвучало.

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

7. 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 достаточно подробное описание.

8. В примере построения интеллектуальной АСУ для управления мощным плавильным агрегатом, печью Ванюкова (п.6.2, с. 553), представляющим особый интерес как для теории, так и для практики, где, по утверждению диссертанта, «реализован наиболее общий подход к решению проблемы многоуровневого распознавания состояния сложных технологических процессов, объектов или явлений в различных предметных областях – космонавтика, строительное дело, цветная и черная металлургия, горное и нефтегазовое производство, химическая промышленность, тепло-электроэнергетика, медицина, сельское хозяйство и др.» следовало бы более подробно описать архитектуру построения виртуальной печи. Но это скорее замечание, а не недостаток.

9. По поводу изложения материала. Многие рисунки малоинформативны, не строгие определения. Откуда не возьмись появляются формулы с какими-то коэффициентами: формула стр. 248; ф-ла 4.29. Излагается много лишнего материала. В формуле для градиента складываются, образно говоря, кг с км (формула 5-2, с 195). Можно отметить неудобство работы с некоторыми рисунками, особенно в приводимых примерах (рис. 5.13, 5.16, 6.5, 6.8, 6.16), из-за мелкого шрифта и недостаточного их описания.

Заключение

В целом диссертация Спесивцева Александра Васильевича 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.

В диссертационной работе Спесивцева А.В. 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.

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. Работа написана четким лаконичным языком, грамотно, стиль изложения доказательный. Диссертация содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, графики, примеры, подробные расчеты. По каждой главе и работе в целом имеются выводы. Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Замечания не влияют на положительный отзыв о диссертационной работе в целом, носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором в дальнейших публикациях по теме исследования.

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, Спесивцев Александр Васильевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждены на заседании кафедры системного анализа и информационных технологий 20 июня 2019г., протокол №7.

Профессор кафедры системного анализа и информационных технологий Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)
докт. техн. наук , профессор

Владислав Алексеевич Холоднов

21.06.2019г.

Адрес: 190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 26
тел.: +7 (812) 494-92-45, office@technolog.edu.ru