

*На правах рукописи*



**КОРОЛЕВА МАРИЯ НИКОЛАЕВНА**

**МОНИТОРИНГ СЛОЖНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА  
НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Специальности: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка  
информации (в промышленности)  
05.13.17 – Теоретические основы информатики

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

**Научный руководитель:** **Тарасов Валерий Борисович**,  
кандидат технических наук, доцент,  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

**Научный консультант:** **Бурдо Георгий Борисович**,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственной технической университет».

**Официальные оппоненты:** **Кузнецов Олег Петрович**,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий лабораторией, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

**Прокопчина Светлана Васильевна**,  
доктор технических наук, профессор,  
федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации».

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет».

Защита диссертации состоится «01» июля 2019 г. в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.262.06 в ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет» по адресу: 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тверского государственного технического университета и на сайте [www.tstu.tver.ru](http://www.tstu.tver.ru).

Автореферат разослан «27» мая 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор физико-математических наук, профессор



С.М. Дзюба

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** При разработке *интеллектуальной системы мониторинга* центральное место занимает *получение знаний* с помощью различных *измерений*. Например, для таких объектов инфраструктуры как железнодорожные или автомобильные мосты, это – измерения метеорологических показателей (в первую очередь, направление и скорость ветра), определение прогиба пролетных строений моста, измерение отклонений элементов конструкций моста от вертикальной оси под действием проходящих составов и ветровых нагрузок, оценка колебаний конструкций моста под нагрузкой и пр. Различные физические и технические параметры измеряются с различной точностью, причем на основе этих измерений должны решаться задачи *диагностики (оценки)* текущего состояния объекта, *прогнозирования* его дальнейшей работоспособности и *поддержки принятия решений* о возможности и условиях его эксплуатации. Таким образом, здесь измерения существуют не сами по себе, а используются в качестве основы для экспертных оценок и рассуждений.

Этот факт предопределяет появление актуальной научно-технической задачи – создание автоматизированных систем интерпретации данных и получения знаний на основе измерений для мониторинга сложных технических объектов. Для задач мониторинга необходимы гибридные системы, которые сочетают экстенсивную и интенсивную формы знаний, т.е. получение знаний включает приобретение знаний от эксперта, обнаружение знаний путем анализа сенсорных данных и интерпретации полученной информации, а также онтологическое моделирование.

Таким образом, актуальность работы заключается в разработке интеллектуальной системы мониторинга на основе гибридной подсистемы получения знаний (приобретения знаний от экспертов и формирования знаний на базе измерений и нормативных оценок).

**Объектом исследования** являются методы и системы мониторинга сложных технических объектов.

**Предметом исследования** является интеллектуальная система мониторинга, строящаяся по принципу интеллектуальной среды.

**Цель диссертационной работы** заключается в повышении эффективности интеллектуальной системы мониторинга сложных технических объектов на основе разработки моделей, методов и программных средств когнитивных измерений и грануляции информации.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Анализ существующих подходов к мониторингу сложных объектов и современных информационных (в том числе интеллектуальных) измерительных систем. Построение обобщенной концепции мониторинга на основе интеллектуальной среды.

2. Разработка гибридной системы получения знаний (СПЗ) третьего поколения для интеллектуальной среды.

3. Построение иерархической системы онтологий измерений и

гранулярных структур информации.

4. Развитие концепции когнитивных измерений и вычислений на основе методов и моделей грануляции измерительной информации.

5. Разработка методов интерпретации измеренных данных с помощью многозначных логик и логических прагматик.

6. Разработка метода мониторинга состояния сложного технического объекта на основе единой системы измерений, оценок, рассуждений и вычислений.

**Методологические и теоретические основы исследования.** При выполнении диссертационной работы использованы методы системного анализа и кибернетики, информатики и искусственного интеллекта, многозначных, нечетких логик и абстрактных алгебр, теории агентов и многоагентных систем, теории вычислений и измерений, онтологического моделирования и грануляции информации.

При системном исследовании проблемы и объекта мониторинга автор опиралась на фундаментальные труды основоположников системного подхода А.А. Богданова, Л. фон Берталанфи, П.К. Анохина, монографии, статьи и учебники ведущих специалистов по системному анализу Л. Заде, Дж. Клира, Ж.-Л. Лемуана, Н.Н. Моисеева, В.Н. Волковой, А.А. Денисова, В.В. Дружинина, В.С. Конторова, В.И. Николаева, В.Н. Садовского, Ю.А. Шрейдера, учебные пособия А.И. Васильева, С.Р. Владимирского, Г.Б. Евгенева, Ю.И. Матвеева.

К числу классических трудов в области искусственного интеллекта относятся работы Т. Винограда, А. Ньюэлла, Э.В. Попова, Г.С. Поспелова, Д.А. Поспелова, Г. Саймона, Э. Фейгенбаума. В области приобретения знаний и онтологического моделирования основополагающие работы таких ученых, как Г.С. Осипов, Т.А. Гаврилова, Т. Грубер, Н. Гуарино, М. Грюнингер, А.С. Клещев, О.П. Кузнецов, Р. Мизогучи, Г.С. Плесневич, Г.В. Рыбина, А.В. Смирнов, С.В. Смирнов, Б. Смит, Дж. Сова, В.Л. Стефанюк, М.С. Фокс, В.Ф. Хорошевский, В.В. Грибова, Д.В. Кудрявцев, Д.И. Муромцев. Проблемы создания информационных систем мониторинга сложных природных и техногенных объектов освещены в трудах С.К. Дулина, С.М. Ковалева, В.М. Круглова, И.Н. Розенберга, А.Н. Шабельникова, В.Я. Цветкова, и др. Интеллектуальные системы мониторинга и поддержки принятия решений описаны в работах А.А. Башлыкова, В.А. Геловани, А.П. Еремеева, О.И. Ларичева, А.Б. Петровского.

Вопросы применения многозначных и нечетких логик в искусственном интеллекте рассмотрены в работах С.К. Клини, Н. Белнапа, В.К. Финна, В.Н. Вагина, М. Гинзберга, А.С. Карпенко, Р. Тёрнера, М. Фиттинга, Я.В. Шрамко, А.Н. Аверкина, В.В. Борисова Г. Ванзинга, М.А. Михеенковой, В.Б. Тарасова, Н.Г. Ярушкиной и др. Основополагающими работами в области теории измерений являются статьи Р. Льюса, П. Суппеса, Дж. Зинеса, монографии И. Пфанцагля, В.Г. Кнорринга, В.Я. Розенберга. Концепции нетрадиционных измерений изложены в публикациях Л. Мари, Л. Финкельштейна, Г.Н. Солопченко, С.В. Прокопчиной, В.С. Соболева,

В. Крейновича, Л. Резника, В.Н. Нестерова, и др.

Основными элементами **научной новизны** диссертационной работы являются:

1) Модель системы мониторинга сложного технического объекта как интеллектуальной среды (соответствует п. 9 специальности 05.13.01).

2) Схема гибридной системы получения знаний третьего поколения на основе грануляции информации, иерархии онтологий и когнитивных измерений (п. 4 специальности 05.13.17).

3) Структурная схема и алгоритм синтеза когнитивного информационно-измерительного устройства (КИИУ) как средства грануляции и интерпретации измерительной информации (соответствует п. 7 специальности 05.13.01).

4) Метод и алгоритм интерпретации данных от различных КИИУ на базе аппарата бирешеток (соответствует п. 4 специальности 05.13.01).

**Соответствие паспорту специальности.** Диссертационная работа по своей проблематике и содержанию соответствует специальностям:

– 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» (пунктам паспорта специальности п. 1, п. 4, п. 7, п. 9, п. 11, п. 12);

– 05.13.17 «Теоретические основы информатики» (пунктам паспорта специальности п. 4, п. 12).

**Практическая ценность** работы состоит в повышении эффективности процессов мониторинга, благодаря развитию расширенной трактовки комплексной проблемы мониторинга, разработке архитектуры автоматизированной системы мониторинга как интеллектуальной среды и построению распределенной системы восприятия на базе когнитивных информационно-измерительных устройств.

**Достоверность научных результатов** подтверждена теоретическими выкладками, результатами моделирования, обсуждением положений и выводов работы на представительных международных конференциях, сравнением полученных результатов с результатами, приведенными в научной литературе.

**Реализация результатов.** Автором разработан метод грануляции измеренной информации и алгоритм интерпретации мультисенсорных данных на основе логико-алгебраических моделей. Построена и программно реализована система нечетких рассуждений для задачи мониторинга безопасности движения транспорта по мостовым переходам, а также задачи обслуживания моста в условиях ледохода.

Основные результаты диссертационной работы были получены в ходе выполнения проектов РФФИ №№ 11-07-13165-офи-м-2011-РЖД, 13-07-00972-а, 14-07-31317-мол\_а (инициативный проект соискателя), № 14-07-00846-а, 17-07-01374-а, а также использовались в НИР по государственному заданию № 2.7918.2017 «Автоматизация мониторинга технических систем и технологических процессов в рамках концепции цифрового производства». Результаты работы используются в НИР и учебном процессе кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Также они были использованы в разработках и исследованиях

АО «ИнтехГеоТранс-Юг», СПбФ ИЗМИРАН и ОАО «НПП «Темп» им. Ф. Короткова».

**Апробация результатов.** Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на многих научно-практических конференциях и семинарах, включая: I Международный симпозиум «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика» (Светлогорск, 2012); Международный конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям (Дивноморское, 2012); VII и VIII Международная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» (Коломна, 2013 и 2015); II и IV Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные системы на транспорте» (Санкт-Петербург, 2012, 2014); XVII и XXI Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (Санкт-Петербург, 2014, 2018); VI Всероссийская научно-практическая конференция «Нечеткие системы и мягкие вычисления–2014» (Санкт-Петербург, 2014); XIV Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (Казань, 2014); VI и IX международная научно-техническая конференция «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (Минск, 2016, 2019); XIX научно-практическая конференция «Инжиниринг предприятий и управление знаниями» (Москва, 2016); II Всемирная конференция по мягким вычислениям (the II<sup>nd</sup> World Conference on Soft Computing, Baku, Azerbaijan, 2012); X Международная конференция по применению нечетких систем и мягких вычислений (the X<sup>th</sup> International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, Lisbon, Portugal, 2012); IV Всемирный конгресс по универсальной логике (the IV<sup>th</sup> World Congress on Universal Logic, Rio de Janeiro, Brazil, 2013); VII Международная конференция по мягким вычислениям, вычислениям со словами и перцепциями в системном анализе, принятии решений и управлении (the VII<sup>th</sup> International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control, Izmir, Turkey, 2013); VIII Всемирная конференция по интеллектуальным системам для промышленной автоматизации (the VIII<sup>th</sup> World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, Tashkent, Uzbekistan, 2014); I и II Международная научная конференция «Интеллектуальные информационные технологии в технике и на производстве» (the First & Second International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry”, ИТИ’16, Sochi, Russia, 2016 / ИТИ’17, Varna, Bulgaria; 2017).

**На защиту выносятся:**

1. Модель гибридной системы получения и представления знаний на основе онтологий, экспертных оценок и когнитивных измерений (соответствует п. 4 специальности 05.13.17).

2. Иерархическая система онтологий измерений. Схема когнитивных измерений как двухуровневая структура грануляции информации (соответствует п. 1 специальности 05.13.01).

3. Наглядное представление прагматики когнитивных измерений с

помощью цветных диаграмм Хассе (соответствует п. 12 специальности 05.13.01).

4. Логико - алгебраический метод построения когнитивных информационно-измерительных устройств (соответствует п. 12 специальности 05.13.17).

4. Алгоритм интерпретации сенсорных данных и построения нечетких продукционных правил о возможности эксплуатации объекта мониторинга (соответствует п. 4, п. 11 специальности 05.13.01).

**Публикации.** Основные результаты исследования опубликованы в 30 публикациях, в том числе: 4 в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 5 в изданиях, индексируемых в базе Scopus.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений. Полный текст диссертационной работы 195 страниц текста со 100 рисунками и 7 таблицами. Список литературы содержит 191 наименование.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулирована цель работы, методология и методы исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведено краткое содержание диссертации по главам.

**В первой главе** рассмотрена проблема мониторинга сложных технических объектов, в частности, искусственных сооружений (на примере железнодорожных и автомобильных мостов). Проведен системный анализ мостовых переходов как объектов мониторинга. Проанализировано определение мониторинга, дано описание его задач согласно ОДМ 218.4.002-2008. В интересах построения единой системы «сквозной автоматизации» автором принята расширенная трактовка комплексной проблемы мониторинга, включающая не только задачи наблюдения, контроля, измерения параметров объекта мониторинга, но и задачи диагностики, прогнозирования, поддержки принятия решений (рис. 1).

В главе дан критический анализ архитектуры и компонентов реальной системы мониторинга технического объекта (на примере современной системы мониторинга моста на остров Русский во Владивостоке). Показаны методологические недостатки этой системы, в частности, слабое использование современных сетевых технологий, например, беспроводных сенсорных сетей (БСС), и фактическое игнорирование интеллектуальных технологий. В этой связи сделан краткий обзор данных технологий, а именно, SCADA-систем и БСС, а также отечественных интеллектуальных систем мониторинга и поддержки принятия решений.

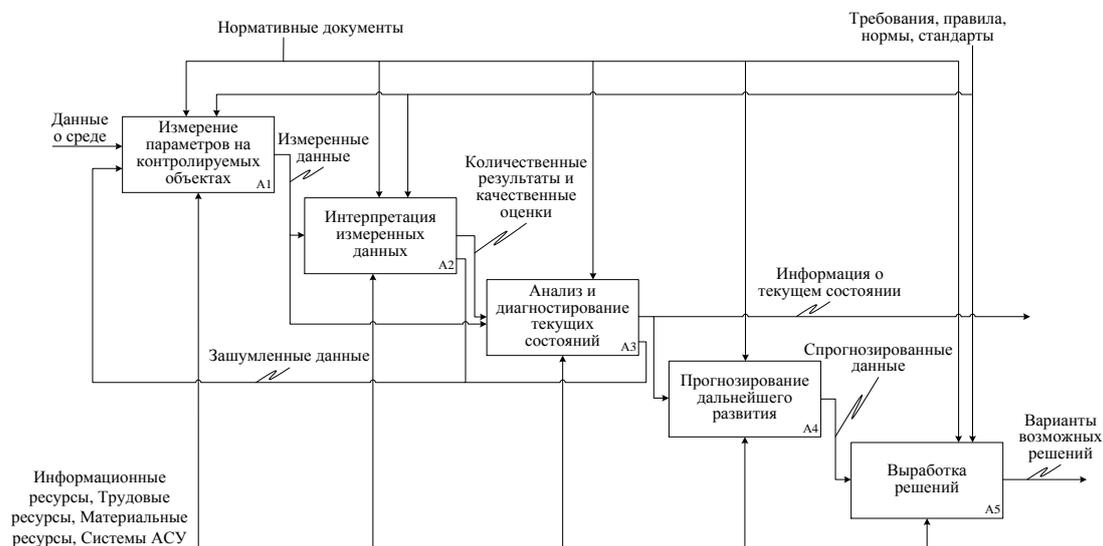


Рис. 1. Представление комплексной проблемы мониторинга технического объекта

Обоснована целесообразность построения интеллектуальной системы мониторинга на основе концепции интеллектуальной среды с распределенной системой восприятия (получения данных с помощью беспроводной сенсорной сети с их наглядной интерпретацией) и сочетанием как экстенсивных, так и интенсивных методов приобретения знаний.

Первое поколение систем приобретения знаний было связано с извлечением знаний из уникального эксперта (экстенсивная схема приобретения знаний) и наполнением «оболочек» экспертных систем. Второе поколение, предполагающее разработку системы онтологий и проведение онтологического инжиниринга, обеспечивает построение концептуальных моделей, разделяемых сообществом специалистов. Прежде всего, оно ориентировано на достижение взаимопонимания и поддержку совместной работы агентов в многоагентных системах. В диссертации предлагается концепция и общая схема интегрированной СПЗ 3-го поколения. На рис. 2 представлена общая схема гибридной СПЗ, которая содержит как когнитивные информационно-измерительные устройства, выступающие в качестве средств получения и интерпретации сенсорных данных (включают в себя датчики, процессор интеллектуального анализа измеренных данных и подсистему интерпретации информации), так и подсистему приобретения знаний от эксперта и систему онтологий, разделяемую на онтологии измерений и экспертные онтологии.

Пусть  $ONT$  – онтология и  $FB$  – база фактов. Следуя Г.С. Плесневичу, базу знаний будем формально записывать в виде

$$KB = ONT \cup FB. \quad (1)$$

В базе знаний  $KB$  онтология  $ONT$  является стабильной компонентой, а база фактов  $FB$ , как правило, переменной. В общем случае в формуле (1) следует рассматривать систему разнородных онтологий, включающую как онтологию экспертного оценивания, так и онтологии измерений. Базу фактов и, соответственно, базу знаний можно зафиксировать с помощью параметра  $\gamma$ , называемого точкой соотнесения (время, ситуация, контекст, и пр.)

$$KB_{\gamma} = ONT \cup FB_{\gamma}. \quad (2)$$

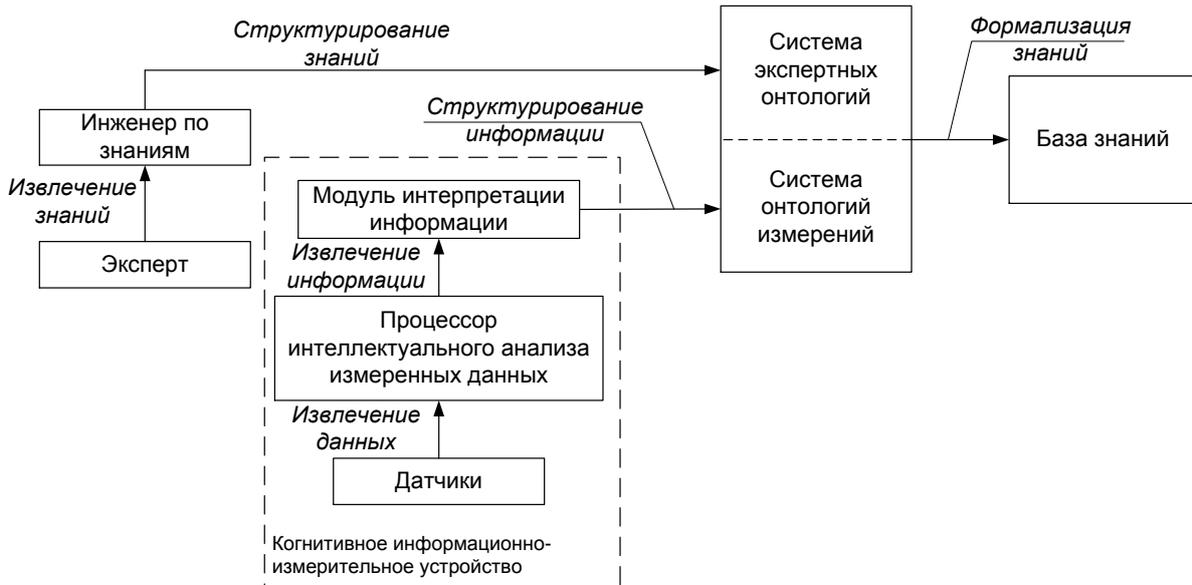


Рис. 2. Схема гибридной системы получения знаний 3-го поколения

**Вторая глава** посвящена разработке понятия, модели и методики организации *когнитивных измерений* в гибридной СПЗ. Вначале приведены основные понятия теории измерений, показаны основные различия между процессами измерения и оценивания, описаны элементы формальной теории измерений, понятие шкалы и основные типы шкал в классической теории измерений. Центральное место в главе 2 занимает анализ различных факторов неопределенности измерений. Показано, что использование одних статистических моделей не охватывает многие факторы неопределенности и является недостаточным. Разработана иерархическая система онтологий измерений (рис. 3), на нижнем уровне которой расположены онтология измерений как предметной области, онтология измеряемых свойств, онтология средств измерений (сенсорных сетей), онтология приложений измерений к проблеме мониторинга, а на верхнем – онтология неопределённости. Построен фрагмент дерева онтологии видов неопределенности в измерениях (рис. 4).

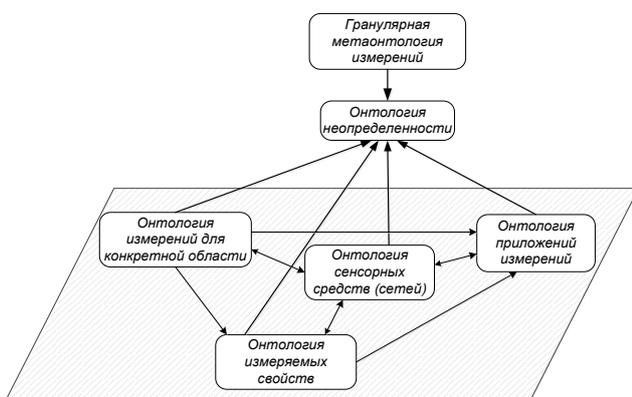


Рис. 3. Вариант иерархии онтологий измерений

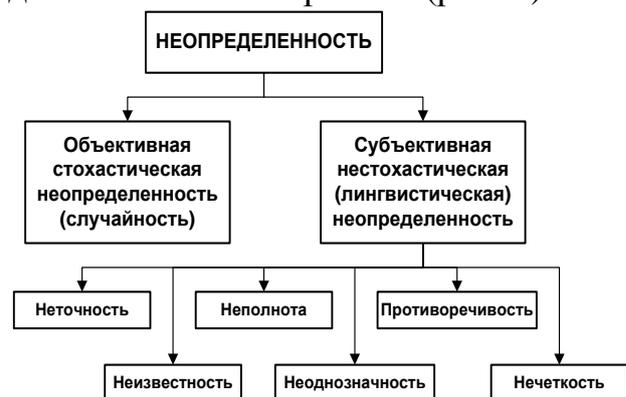


Рис. 4. Классификация видов неопределенности в измерениях

В результате предложен общий вариант рассмотрения измерений в задаче мониторинга, как процесса грануляции информации. Здесь термин «грануляция» охватывает процессы создания, интерпретации и представления

информационно-измерительных гранул, тогда как развитие теории измерений в данном контексте связано с различными видами неклассических измерений – автономных, распределенных, интеллектуальных, мягких измерений.

Термин «когнитивные измерения» был введен С.В. Прокопчиной для описания нетрадиционных измерений, в результате которых с помощью байесовских интеллектуальных технологий извлекаются метрологически аттестованные знания. В диссертации под *когнитивным измерением* понимается организация измерения как автоматизированного познавательного процесса, направленного на обеспечение компьютерного понимания и прагматической интерпретации результатов измерений. Концепция когнитивных измерений предполагает построение когнитивных информационно-измерительных устройств, обеспечивающих грануляцию измерительной информации, и опирается на следующие системные принципы: 1) принцип открытости измерения как познавательного процесса; 2) принцип единства измерений, оценок и рассуждений; 3) принцип синтеза теорий истины при интерпретации

результатов измерения; 4) принцип грануляции измерительной информации, в соответствии с которым предложена модель двухуровневой грануляции измерительной информации (рис. 5), связанной с переходом от мелкозернистой (числовой) к крупнозернистой (лого-лингвистической) информации.

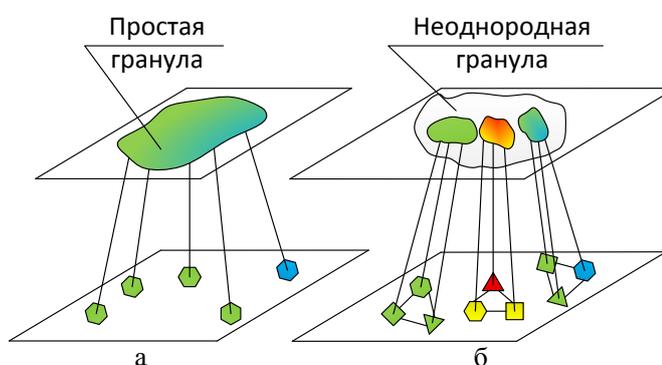


Рис.5. Иллюстрация формирования простых и составных гранул:

- а) грануляция данных от однотипных датчиков;
- б) грануляция данных от разнотипных датчиков

В третьей главе дается описание понятия «когнитивное

*информационно-измерительное устройство*», рассматриваемого как основное средство получения знаний в процессе измерения, рассмотрены логико-алгебраические методы и модели построения КИИУ. В работе КИИУ определяется как датчик (семейство датчиков), способный не только измерять значения некоторого параметра объекта мониторинга, но и «понимать» полученную информацию. В связи с этим в третьей главе первоначально рассмотрена проблема понимания в искусственном интеллекте и варианты ее решения.

С одной стороны, КИИУ способно представлять результат измерения в терминах ограниченного естественного языка. Соответственно, в работе развивается логико-алгебраический подход к построению моделей понимания на базе оценок и норм. При этом интерпретация результатов измерений осуществляется с помощью многозначных логик и логических прагматик (в русле идей Ч.С. Пирса). С другой стороны, работа КИИУ опирается на идеи когнитивной графики. Здесь для многозначных и нечетких логик рассмотрена «метафора цвета». Автором предложены варианты наглядного (цветного и

узорчатого) представления логических прагматик измерений («светофорная прагматика» и «орнаментная прагматика»). Таким образом, КИИУ является и информационно-измерительным и информационно-интерпретирующим устройством, снабженным логико-лингвистической и/или наглядной графической прагматикой.

В результате проведенного анализа базовых трехзначных и четырехзначных логик введены и формализованы понятия КИИУ Васильева (рис. 6 а), КИИУ Клини (рис. 6 б), КИИУ Белнапа (рис.6в) и их нечеткие аналоги. Полученная количественная информация гранулируется по трем прагматическим значениям (светофорная когнитивная графика): 1) Т – «измеренная истина» («параметр в норме» – показания КИИУ находятся в «зеленой зоне»); 2) F– «измеренная ложь» («параметр не в норме», «отказ» – показания КИИУ попали в «красную зону»); 3) В – «измеренное противоречие» («пограничная ситуация» или «предотказ» – показания КИИУ локализованы в «желтой зоне»). Аналогично, если вместо значения В в условии 3) взять значение N, понимаемое как 4) неопределенность (значения параметра неизвестны, поскольку датчик неисправен или «спит»; оценку N будем ассоциировать с синим цветом), то имеем КИИУ Клини.

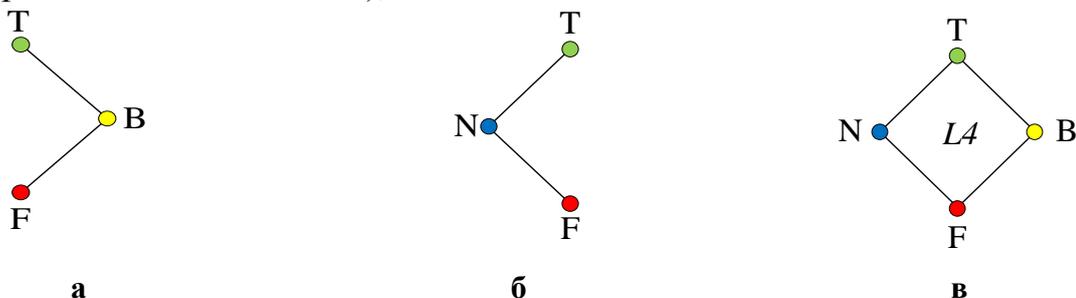


Рис. 6. Цветные диаграммы Хассе: а) логическая полурешетка для КИИУ Васильева; б) логическая полурешетка для КИИУ Клини; в) логическая решетка для КИИУ Белнапа

Наконец, КИИУ Белнапа определяется всеми четырьмя условиями 1) – 4). Соответствующая логическая матрица имеет вид

$$LM_{V_4} = \langle \{T, B, N, F\}, \{\neg, \wedge, \vee\} \{F\} \rangle, \quad (3)$$

где  $\neg$  есть логическая операция составного отрицания, называемого отрицанием Белнапа,  $\wedge, \vee$  – операции конъюнкции и дизъюнкции в логике Белнапа, а F – антивывделенное значение (в задачах диагностики нас интересуют отказы).

В третьей главе собраны введенные автором формализмы и приемы логико-алгебраического подхода к моделированию КИИУ, включая формальные определения и примеры понятий логического мира и логического пространства, гранулярные значения истинности, расширенные логические матрицы, произведения логических прагматик, цветные диаграммы Хассе с выделенными и антивывделенными значениями, двойные диаграммы Хассе для наглядного представления в бирешетках логических порядков и связей между ними. В работе логический мир описывается как универсум логических значений  $V_i$  вместе с множеством выделенных значений  $D^z_j$  и множеством отношений порядка  $R$ , определенных на  $V_i$ , т.е. как

$$LW = \langle V_i, R, D^z_j \rangle, \quad (4)$$

где  $i=1,2,\dots,n,\dots,\infty$ ,  $j<i$ ,  $Z=\{+, -\}$ . Примерами различных отношений порядка из  $R$  являются порядки истинности  $<_v, \leq_v$  и информационные порядки  $<_I, \leq_I$ .

В случае прагматических оценок истинности необходимо учитывать подобный контекст, например, путем задания онтологий с помощью множества различных логических миров (пространств), т.е. следует расширить классическую логическую матрицу (4), записав ее в виде гранулярной матрицы

$$GLM = \langle A, V, 2^V O_g, D^+_g, D^-_g \rangle, \quad (5)$$

где  $A$  – множество типов логических значений (например, истинностных значений, ценностных значений),  $V$  – множество логических значений,  $2^V$  – множество гранулярных логических значений,  $O_g$  – множество логических операций с гранулярными логическими значениями,  $D^+_g \subset 2^V$  – множество выделенных гранул,  $D^-_g \subset 2^V$  – множество антивыведенных гранул.

В заключительной части главы предложен подход к интерпретации мультисенсорных данных и построению когнитивных сенсорных сетей на основе произведений решеток (расширенных логических матриц) и аппарата бирешеток. В общем случае КИИУ состоят из нескольких взаимодействующих датчиков. Прагматика когнитивной сенсорной сети, состоящей из  $n$  васильевских КИИУ, будет описываться формулой  $3^n$ , а сети из  $n$  белнаповских КИИУ – формулой  $4^n$ , где  $n$  – целое число,  $n > 1$ . Простейшая структура из двух белнаповских КИИУ образует множество прагматических значений  $4^2=16$ , сеть из трех датчиков –  $4^3 = 64$  и т.д.

В качестве базовой единицы когнитивной сенсорной сети возьмем минимальную микросеть, состоящую из двух датчиков. Сформулируем задачу интерпретации результатов совместных измерений различных параметров в задаче мониторинга с помощью математического аппарата бирешеток.

Бирешеткой называется четверка

$$BL = \langle X, \leq_1, \leq_2, \neg \rangle, \quad (6)$$

где  $X \neq \emptyset$ ,  $|X| \geq 4$ ,  $\leq_1$ , и  $\leq_2$ , – два различных отношения порядка, заданных на множестве  $X$ , а  $\neg$  есть отрицание Гинзберга, удовлетворяющее следующим условиям: 1) если  $x \leq_1 y$ , то  $\neg x \geq_1 \neg y$ ; 2) если  $x \leq_2 y$ , то  $\neg x \leq_2 \neg y$ ; 3)  $\neg(\neg x) = x \forall x, y \in X$ .

На рис. 7 а и 7 б приведены цветные диаграммы Хассе для двух бирешеток «9» =  $3^2$ , определяющих КИИУ из двух сенсоров Васильева и двух сенсоров Клини.

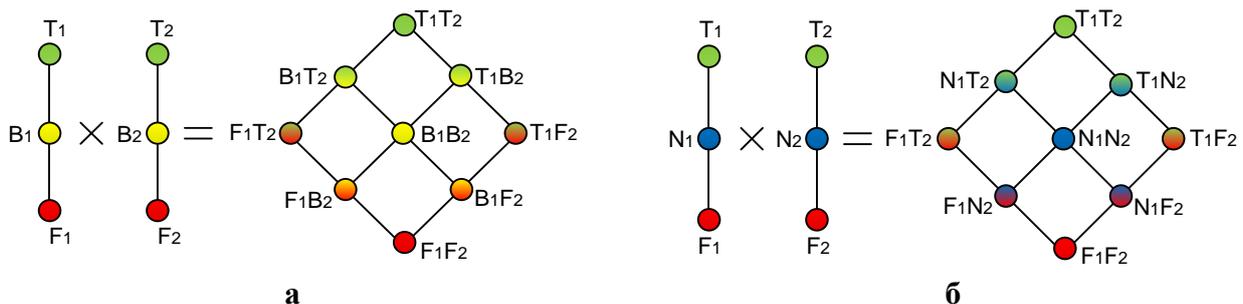


Рис. 7. Примеры бирешеток «9» как произведений трехзначных логик соответствующих а) КИИУ с двумя сенсорами Васильева; б) КИИУ с двумя сенсорами Клини

Рассмотрим все прагматические значения для бисенсорных структур измерений. Здесь  $T_1T_2$  – «согласованная истина» (показания обоих сенсоров характеризуются значением «норма»);  $F_1F_2$  – «согласованная ложь» (оба сенсора сигнализируют о состоянии отказа);  $T_1B_2 \sim B_1T_2$  – «частичное противоречие как предотказ 1-го рода» (один сенсор показывает значение «норма», а другой – «предотказ»);  $T_1N_2 \sim N_1T_2$  – «частичная истина с неопределенностью» (один сенсор показывает значение «норма», а другой «спит»);  $T_1F_2 \sim F_1T_2$  – «противоречие» (один сенсор показывает значение «норма», а другой – «отказ»);  $B_1B_2$  – «согласованное противоречие» (оба сенсора передают состояние «предотказ»);  $N_1N_2$  – «согласованная неопределенность» (оба сенсора исчерпали свои ресурсы или оба сенсора «спят»);  $F_1B_2 \sim B_1F_2$  – «частичное противоречие как предотказ 2-го рода» (один сенсор показывает значение «отказ», а другой – «предотказ»);  $F_1N_2 \sim N_1F_2$  – «частичная ложь с неопределенностью» (один сенсор показывает значение «отказ», а другой «спит»). На рис.8 представлена цветная диаграмма Хассе для бирешетки «14», определяющей КИИУ из двух сенсоров Белнапа. В логике Белнапа значения В и N рассматриваются независимо друг от друга, поэтому при ее консервативном расширении значения  $B_1N_2$  и  $N_1B_2$  запрещены. Поэтому строим бирешетку с  $|V|=14$ . Совмещенная карта отказов и предотказов для «14» приведена на рис.9 (в задачах мониторинга особую роль играют предотказные состояния и состояния отказов). В результате разработан метод системного логико-алгебраического синтеза КИИУ. Схема алгоритма синтеза КИИУ для интеллектуальной среды мониторинга представлена на рис. 10.

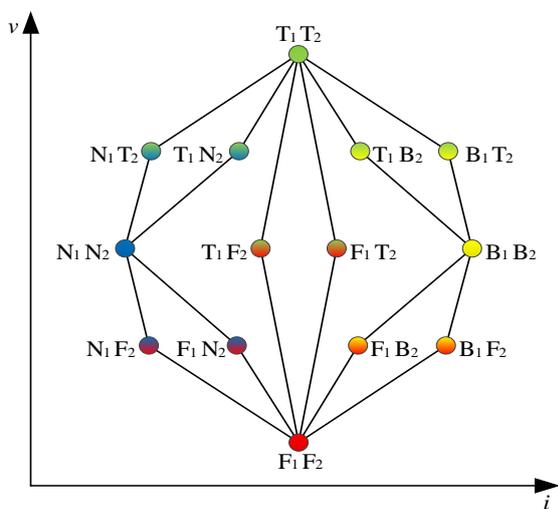


Рис. 8. Бирешеточное представление прагматики диалогов белнаповских КИИУ

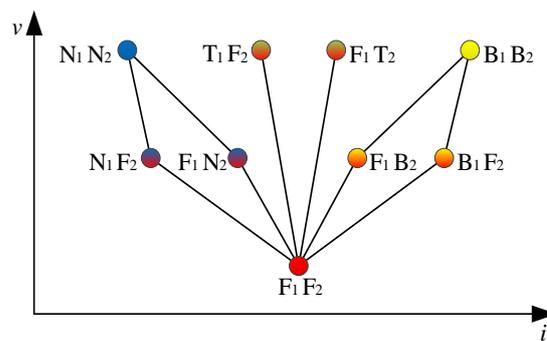


Рис. 9. Совмещенная карта отказов и предотказов

**В четвертой главе** рассмотрены две задачи определения влияния метеорологических факторов на эксплуатацию моста. В первом случае исследована задача безопасности движения автомобилей по мосту при наличии ветровой нагрузки с учетом качества и количества осадков. Во втором случае обоснованы необходимые меры по техническому обслуживанию моста в зависимости от скорости и густоты ледохода. Автором построена и программно реализована система нечетких рассуждений для указанных задач мониторинга.

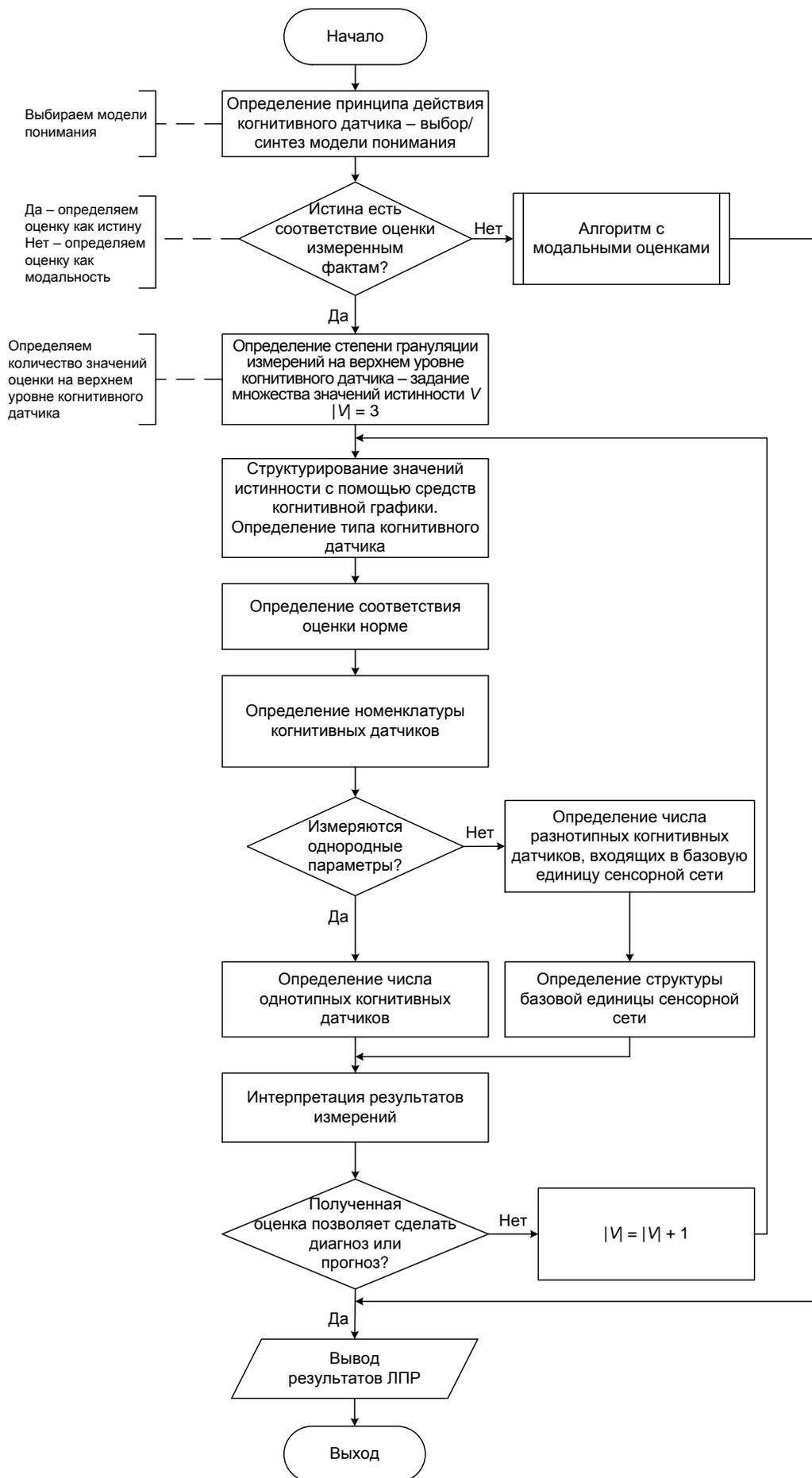


Рис. 10. Схема алгоритма синтеза КИИУ для мониторинга технических объектов

В рамках единого подхода к исследованию влияния метеорологических характеристик на безопасность движения по мосту и состояние опор моста, а также с учетом неточности и нечеткости определения оперативной информации, связанной с наличием на входе системы нечеткого вывода как количественных параметров (скорость и сила ветра), так и качественных факторов (форма осадков, густота ледохода) в работе введен набор лингвистических переменных (ЛП) как трехуровневых формальных структур. Для первой задачи – задачи обеспечения безопасности движения транспорта по мостовым переходам – введены входные ЛП «Скорость ветра» (рис. 11, 12), «Изменение скорости ветра», «Состояние дороги», также введена составная лингвистическая переменная «Осадки», разделяющаяся на атомарные ЛП «Форма» и «Количество осадков». В качестве выходной переменной введена ЛП «Ограничение движения», характеризующая разрешение движения транспорта по мосту или его ограничение, с деонтическими значениями {разрешено, ограничено с разными градациями, запрещено}.

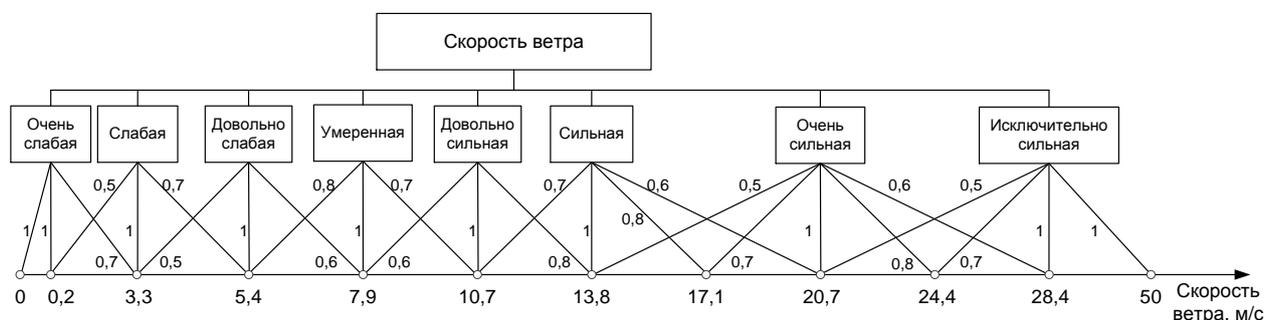


Рис. 11. Лингвистическая переменная «Скорость ветра»

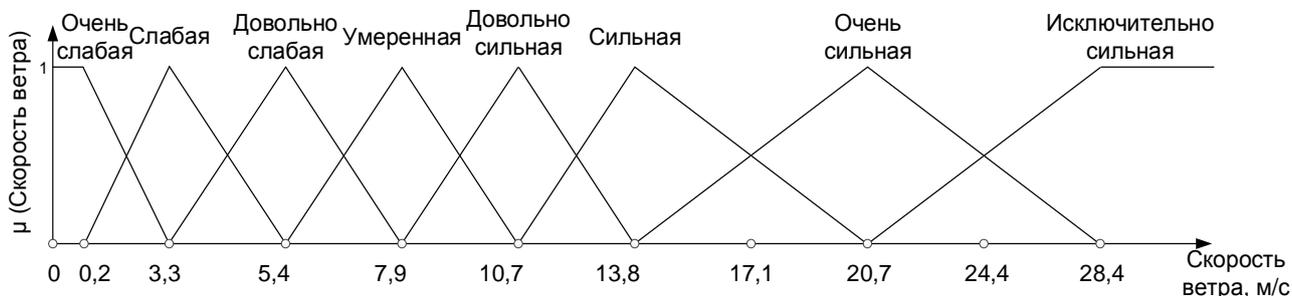


Рис. 12. Функции принадлежности для термов ЛП «Скорость ветра»

В интересах реализации принципа единства измерений, оценок, расчетов и рассуждений при анализе влияния комплекса метеорологических характеристик на эффективность эксплуатации моста систематизированы соответствующие датчики – анемометр для определения скорости ветра, терморезистор, датчики состояния дорожного полотна, проведены расчеты ветровой нагрузки и сцепления с дорогой, значения силы трения скольжения в зависимости от состояния дорожного покрытия, массы и габаритов автомобиля.

В модуле нечетких рассуждений по ограничению движения на мосту используется алгоритм нечеткого вывода по Мамдани со следующими входными ЛП: 1) **Скорость ветра**, в м/с, с терм-множеством {очень слабая, слабая, довольно слабая, умеренная, довольно сильная, сильная, очень сильная, исключительно сильная}, составляющим несколько укрупненную фазифицированную шкалу Бофорта (рис. 13); 2) **Изменение скорости ветра**, в

м/с<sup>2</sup>, отражающая быстроту перехода от одного термина входной ЛП «Скорость ветра» к другому, с терм-множеством {значительное ослабление, ослабление, незначительное ослабление, не изменяется, незначительное усиление, усиление, значительное усиление} (рис. 14); 3) **Состояние дороги**, со следующим терм-множеством {обледенелая, заснеженная, мокрая, сухая} (рис. 15), термины которого отражают коэффициент трения скольжения шин автомобиля по дорожному полотну при различных погодных условиях.

В качестве выходной переменной выступает ЛП **Ограничение движения** с множеством термов {движение разрешено, движение слабо ограничено, движение ограничено, движение сильно ограничено, движение запрещено} (рис. 16). Данные термины отражают, для каких типов машин будет ограничено или разрешено движение.

В настоящее время существуют несколько десятков различных типов машин, различающихся по габаритам, массе, обтекаемости корпуса. В процессе разработки нечеткой модели рассуждений для задачи мониторинга было выделено три типа машин в зависимости от площади боковой части кузова и снаряженной массы автомобиля. К машинам первого типа можно отнести легковые машины классов А – F, а также внедорожники, примерной площадью борта в 7 м<sup>2</sup> и снаряженной массой 1,6 т. К машинам второго типа относятся грузовые машины малых габаритов

с примерной площадью борта в 12 м<sup>2</sup>, снаряженной массой 2,7 т. К машинам третьего типа можно отнести тяжелые грузовые машины больших габаритов с ориентировочной площадью борта в 29 м<sup>2</sup> и снаряженной массой 14,35 т.

Таким образом, значение ЛП «движение разрешено» допускает движение всех типов машин, значение ЛП «движение слабо ограничено» допускает движение всех типов машин, кроме первого, значение ЛП «движение ограничено» допускает движение машин второго и третьего типов, значение ЛП «движение сильно ограничено» допускает движение лишь машин третьего

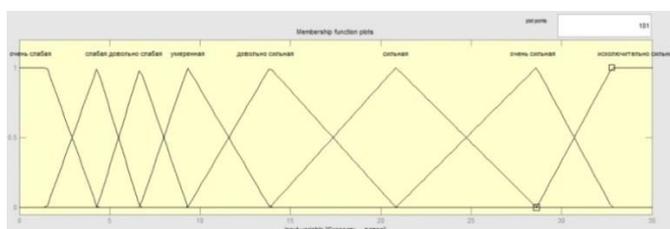


Рис. 13. Функции принадлежности значений входной ЛП «Скорость ветра»

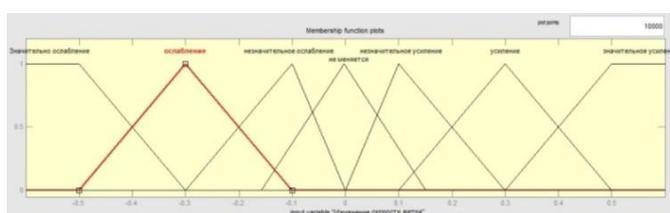


Рис. 14. Функции принадлежности значений входной ЛП «Изменение скорости ветра»

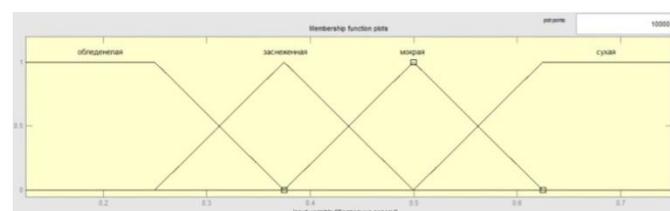


Рис. 15. Функции принадлежности значений входной ЛП «Состояние дороги»

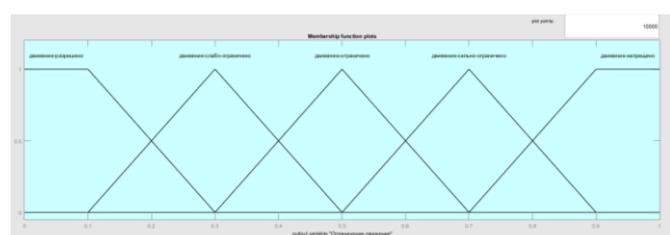


Рис. 16. Функции принадлежности значений выходной ЛП «Ограничение движения»

типа, и, наконец, значение ЛП «*движение запрещено*» запрещает движение любых типов транспорта.

В итоге разработан и программно реализован в системе Matlab модуль нечетких рассуждений для задачи мониторинга безопасности движения транспорта по мостовым переходам. На основе имеющихся входных и выходных переменных создана база из 224 продукционных правил. Пример разработанного правила:

Если *скорость ветра = сильная* И *изменение скорости ветра = усиление* И *состояние дороги = заснеженная*, то *движение = сильно ограничено*.

В работе построены и реализованы модели как нечеткого (по Мамдани и Сугено), так и нейро-нечеткого вывода (рис. 17). Тестирование обученной нейро-нечеткой и обычной нечеткой модели и анализ полученных поверхностей принадлежности показывают, что первая существенно более точно определяет результат в граничных положениях, где обычная нечеткая система не может дать однозначный ответ. Анализ средней ошибки тестирования показал, что нейро-нечеткая модель на 38% эффективнее, чем нечеткая.

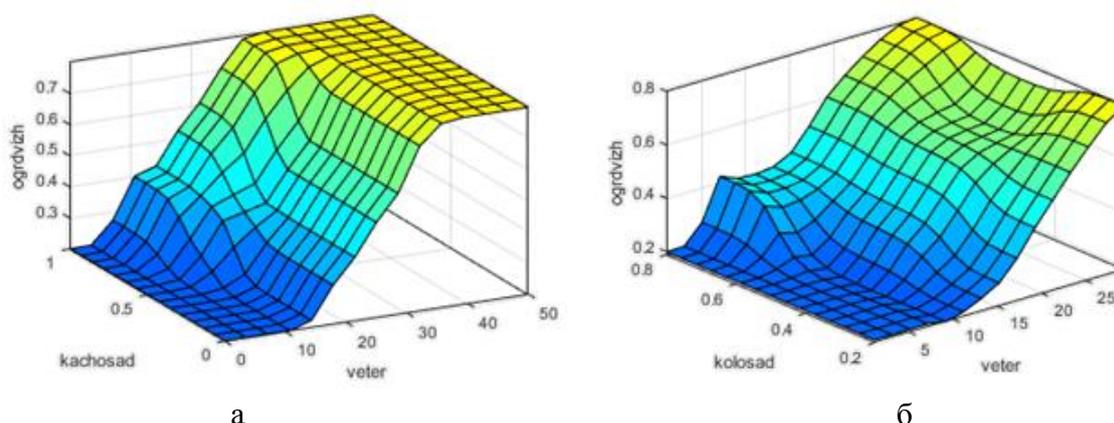


Рис. 17. Поверхность нечеткого (а) и нейро-нечеткого (б) вывода «Скорость ветра – Количество осадков»

Для второй задачи – разработка системы поддержки принятия решений по техническому обслуживанию моста во время ледохода – были введены входные ЛП «*Густота ледохода*» (рис. 18, 19), «*Скорость ледохода*» и выходная ЛП списком возможных «*Мероприятий*» по укреплению опор или противодействия ледоходу (рис. 20): {*наблюдение* (за ледоходом); *подготовка* (к укреплению мостовых опор для противодействия ледоходу); *укрепление* (мостовых опор для противодействия ледоходу); *экстренное укрепление* (мостовых опор для противодействия ледоходу из-за чрезмерно густого ледохода); *дополнительные меры* (по противодействию ледоходу, разрушение льдин, остановка сообщения по мосту)}. Построен пример вывода формально обоснованных рекомендаций по возможности эксплуатации моста при сочетании разных метеорологических условий. Построена и программно реализована система нечетких рассуждений по обслуживанию моста в условиях ледохода. Составлено 125 продукционных правил. Поверхность вывода представлена на рис. 21.

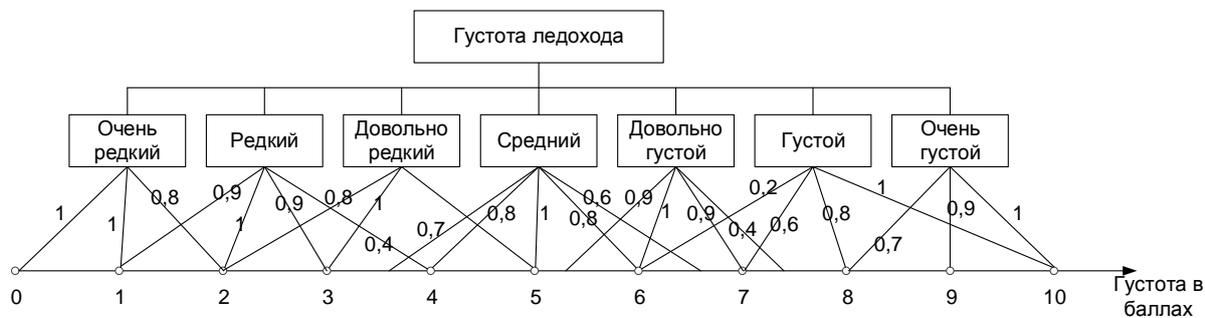


Рис. 18. ЛП «Густота ледохода» с базовыми значениями

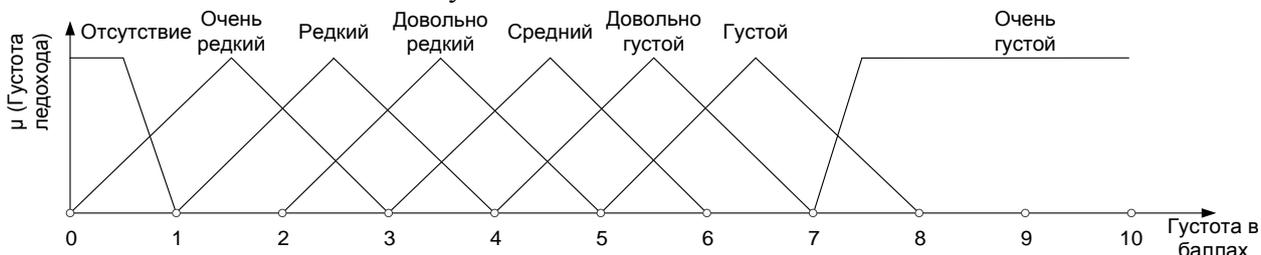


Рис. 19. Терм-множество ЛП «Густота ледохода»



Рис. 20. Терм-множество выходной ЛП «Принимаемые меры»

Пример разработанного правила: «Если *Густота ледохода = густой* И *Скорость ледохода = средняя*, то *принимаемые меры = укрепление*».

**В заключении** приведены выводы и результаты диссертационной работы, показаны перспективы дальнейшего практического применения полученных результатов.

**В приложения** вынесены: описание датчиков для измерения метеорологических характеристик на мосту, вариант наглядного узорчатого представления логических прагматик измерений, проведенные расчеты необходимые для реализации моделирования, акты о внедрении результатов диссертационного исследования.

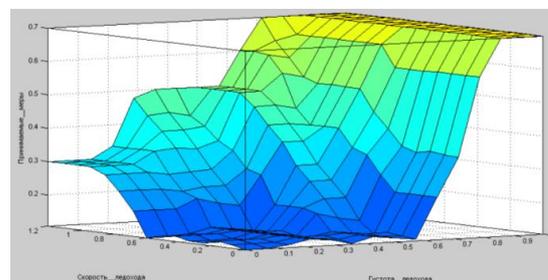


Рис. 21. Поверхность нечеткого вывода в зависимости от скорости и густоты ледохода

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате выполнения диссертационного исследования была решена важная научно-техническая задача разработки интеллектуальной системы мониторинга технических объектов по принципу интеллектуальной среды на

основе гибридных систем интерпретации данных, обнаружения и приобретения знаний третьего поколения, включающих когнитивные информационно-измерительные устройства.

Основными **результатами** работы являются следующие:

1. Обобщенная концепция мониторинга на основе интеллектуальной среды и гибридная модель получения знаний для интеллектуальной среды путем интеграции онтологий, экспертных оценок и когнитивных измерений.

2. Иерархическая система онтологий измерений. Схема организации когнитивных измерений как процесса двухуровневой грануляции информации.

3. Наглядное представление семантики и прагматики когнитивных измерений с помощью цветных диаграмм Хассе. Логико-алгебраический метод и алгоритм построения когнитивных информационно-измерительных устройств.

4. Алгоритм интерпретации сенсорных данных и вывода нечетких продукционных правил о возможности эксплуатации объекта мониторинга.

Полученные результаты позволяют организовать взаимодействие КИИУ в многоагентных сетях, интерпретировать измеренную информацию с помощью разработанной схемы грануляции, принимать решения на заданном уровне о возможности эксплуатации объекта мониторинга, используя разработанные алгоритмы.

Перспективы дальнейшего практического применения результатов работы связаны с реализацией когнитивных сенсорных сетей и интеллектуальных киберфизических систем в русле стратегии Индустрии 4.0, созданием и обустройством «умных» технических объектов (Smart Objects) и искусственных сооружений на базе встроенных в них средств мониторинга, в частности, с разработкой «умных мостов» (Smart Bridges), способных отслеживать свое состояние и планировать мероприятия по управлению своим жизненным циклом, продлению сроков эксплуатации путем надлежащего технического обслуживания.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК, и в изданиях, входящих в международную базу данных Scopus:*

1. Тарасов, В.Б. Интеллектуальные системы SCADA: истоки и перспективы / В.Б. Тарасов, М.Н. Святкина // Наука и образование. – 2011 г. – №10. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/224479.html>.

2. Коробейников, А.Г. Применение интеллектуальных агентов магнитных измерений для мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры / А.Г. Коробейников, А.Ю. Гришенцев, М.Н. Святкина // ИВ: Кибернетика и программирование. – 2013. – № 3. – С.9-20. – DOI: 10.7256/2306-4196.2013.3.8737.

3. Святкина, М.Н. Когнитивные измерения в интеллектуальных системах мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры / М.Н. Святкина, В.Б. Тарасов // Вестник РГУПС. – 2013. – № 4. – С. 106-114.

4. Tarassov, V.B. Cognitive Measurements: the Future of Intelligent Systems / V.B. Tarassov, M.N. Svyatkina // Программные продукты и системы. – 2013. – № 4. – С. 74-82.

5. Tarassov, V.B. On Soft Measurements and Data Mining Based on Granular Pragmatics, Multi-

- Valued and Fuzzy Logics / V.B. Tarassov, M.N. Svyatkina // Proceedings of the 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting/ Ed. by Witold Pedrycz, Marek Z. Reformat. (IFSA/NAFIPS 2013, Edmonton, Canada, June 24- 28, 2013). – IEEE, 2013. – P. 968-973.
6. Tarassov, V.B. Using Zadeh’s Granulation Concept: Granular Logics and Their Application to Sensor Data Analysis / V.B. Tarassov, M.N. Svyatkina // Recent Developments and New Directions in Soft Computing. Part VII. Studies in Fuzziness and Soft Computing. – Switzerland: Springer, 2014. – P. 453-466. DOI: 10.1007/978-3-319-06323-2\_29
7. Tarassov, V.B. Cognitive measurements for new generation knowledge acquisition systems / V.B. Tarassov, M.N. Svyatkina, B.S. Karabekov // 9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT 2015, 14-16 October 2015, Rostov-on-Don, Russia). – IEEE, 2015. – P. 122-127.
8. Svyatkina, M.N. Logical-Algebraic Methods in Constructing Cognitive Sensors for Railway Infrastructure Intelligent Monitoring System / M.N. Svyatkina, V.B. Tarassov, A.I. Dolgiy // Proceedings of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI’16, 16-21 May 2016, Sochi, Russia). – Springer International Publishing, 2016. – Vol.1. – P. 191-206.
9. Kovalev, S.M. Towards Intelligent Measurement in Railcar On-Line Monitoring: from Measurement Ontologies to Hybrid Information Granulation System / S.M. Kovalev, V.B. Tarassov, A.I. Dolgiy, I.D. Dolgiy, M.N. Koroleva, A.E. Khatlamadzhyan // Advances in Intelligent Systems and Computing (2nd International Conference on Intelligent Information Technologies for Industry, ITI 2017; Varna; Bulgaria; 14 September 2017). – Springer Verlag, 2018. – Vol. 679. – P. 169-181.

*Прочие статьи, доклады и тезисы докладов на конференциях:*

10. Тарасов, В.Б. Гранулярные, нечеткие и лингвистические онтологии для обеспечения взаимопонимания между когнитивными агентами / В.Б. Тарасов, А.П. Калуцкая, М.Н. Святкина // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Материалы II-й международной научно-технической конференции (Минск, 16-18 февраля 2012 г.). – Минск: БГУИР, 2012. – С. 267-278.
11. Святкина, М.Н. Беспроводные сенсорные сети – основа построения интеллектуальной среды для мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры / М.Н. Святкина // Интеллектуальные системы на транспорте. Сборник материалов 2-й международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, ПГУПС, 28-31 марта 2012 г.). – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2012. – С. 393-401.
12. Тарасов, В.Б. Интеллектуальная среда: когнитивно-регулятивный мета-агент на основе сенсорных сетей / В.Б. Тарасов, А.П. Калуцкая, М.Н. Святкина // Интеллектуальный анализ информации. Сборник трудов XII-й международной научной конференции им. Т.А.Таран (ИАИ-2012, Киев, 16-18 мая 2012 г.). – Киев: Просвіта, 2012. – С. 203-214.
13. Святкина, М.Н. Логика сенсорных сетей / М.Н. Святкина, В.Б. Тарасов // «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика»: материалы 1-го международного симпозиума (ГИСИС’2012, Светлогорск, 29 июня – 2 июля 2012 г.). – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012. – С. 314-325.
14. Тарасов, В.Б. Логическая прагматика и анализ сенсорных данных: белнаповские сенсоры и их взаимодействия / В.Б. Тарасов, М.Н. Святкина // Интеллектуальные системы’12. Интеллектуальные САПР-2012. Труды международного конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям (IS-IT’12, Дивноморское, Россия, 2-9 сентября 2012 г.). – М.: Физматлит, 2012. – Т.1. – С. 458-467.
15. Святкина, М.Н. Применение многозначных логик и абстрактного алгебраического подхода при решении задачи интерпретации сенсорных данных / М.Н. Святкина // Современные проблемы математики: тезисы Международной (44-й Всероссийской) молодежной школы-конференции (Екатеринбург, 27 января – 2 февраля 2013 г.). – Екатеринбург: Институт математики и механики УрО РАН, 2013. – С. 370-373.
16. Svyatkina, M.N. On Granules and Granular Semantics for Multi-Valued Logics / M.N. Svyatkina, V.B. Tarassov // Handbook of the 4th World Congress and School on Universal Logic/

- Ed. by Jean-Yves Beziau, Arthur Buchsbaum, Alexandre Costa-Leite. (UNILOG'2013, Rio de Janeiro, Brazil, March 29 – April 07, 2013). – Editora Kelps, Goiania, 2013. – P. 297-300.
17. Tarassov, V.B. Cognitive Measurements for Intelligent Systems / V.B. Tarassov, M.N. Svyatkina // Proceedings of the 7th International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control (ICSCCW'2013, Izmir, Turkey, September 2-3, 2013) / Ed. by R.A. Aliev, K.W. Bonfig, M. Jamshidi, I.B. Turksen. – Kaufering: b-Quadrat Verlag, 2013. – P. 189-202.
18. Святкина, М.Н. Мониторинг объектов железнодорожной инфраструктуры с использованием когнитивных измерений / М.Н. Святкина, В.Б. Тарасов // Труды четвертой международной научно-практической конференции «Интеллектуальные системы на транспорте» (Санкт-Петербург, ПГУПС, 3-4 апреля 2014 г.). – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2014. – С. 107-114.
19. Тарасов, В.Б. Логическая прагматика в когнитивных измерениях / В.Б. Тарасов, М.Н. Святкина // Нечеткие системы и мягкие вычисления (НСМВ-2014): труды Шестой всероссийской научной-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 27–29 июня, 2014 г.). В 2 т. – СПб.: Политехника-сервис, 2014. – Т. 1. – С. 155-168.
20. Святкина, М.Н. Системы приобретения знаний третьего поколения на основе когнитивных измерений / М.Н. Святкина, В.Б. Тарасов // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24-27 сентября 2014 г., г. Казань, Россия): Труды конференции. – Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. – Т.3. – С. 58-67.
21. Tarassov, V.B. Monitoring Railway Infrastructure Objects with Using Cognitive Measurements / V.B. Tarassov, M.N. Svyatkina // Proceedings of the VIIIth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation / Ed. by N. Yusupbekov, R. Aliev, J. Kacprzyk, K. Bonfig (WCIS-2014, Tashkent, Uzbekistan, November 25-27, 2014). – Kaufering: b-Quadrat Verlag, 2014. – P. 194-204.
22. Ефремова, А.П. Онтологический инжиниринг когнитивных измерений / А.П. Ефремова, М.Н. Святкина // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VIII-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. – М.: Физматлит, 2015. – Т.1. – С. 287-295.
23. Svyatkina, M.N. Toward Logical Models of Understanding: Axiology, Logical Pragmatics, Pragmatic Logics, What Else? / M.N. Svyatkina, V.B. Tarassov // Handbook of the 5th World Congress and School on Universal Logic/ Ed. by Jean-Yves Beziau, Şafak Ural, Arthur Buchsbaum, İskender Taşdelen, Vedat Kamer. (UNILOG'2015, Istanbul, Turkey, June 20-30, 2015). – İstanbul University, 2015. – P. 260-262.
24. Святкина, М.Н. Интеллектуальные системы на основе грануляции сенсорных данных / М.Н. Святкина // Интеллектуальные системы и технологии: современное состояние и перспективы. Сборник научных трудов III-ей Международной летней школы-семинара по искусственному интеллекту для студентов, аспирантов и молодых ученых (Тверь – Протасово, 1-5 июля 2015 г.). – Тверь: Изд-во Тверского государственного технического университета, 2015. – С. 63-72.
25. Святкина, М.Н. Логико-алгебраические методы построения когнитивных сенсоров / М.Н. Святкина, В.Б. Тарасов // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Материалы VI-й международной научно-технической конференции (Минск, 18-20 февраля 2016 г.). – Минск: БГУИР, 2016. – С. 331-348.
26. Святкина, М.Н. Нисходящее проектирование онтологических систем: онтологии измерений, связанных с решением проблемы мониторинга сложного объекта / М.Н. Святкина, В.Б. Тарасов // Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2016): сборник научных трудов XIX научно-практической конференции. 26– 27 апреля 2016 г. / под науч. ред. Ю.Ф. Тельнова. – М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2016. – С. 300-310.
27. Колтунов, С.С. Разработка модуля нечетких рассуждений для системы мониторинга безопасности движения транспорта по искусственным сооружениям / С.С. Колтунов, М.Н.

- Королева // Интеллектуальные системы и технологии: современное состояние и перспективы. Сборник научных трудов IV-ой Международной летней школы-семинара по искусственному интеллекту для студентов, аспирантов и молодых ученых (Санкт-Петербург, 30 июня – 3 июля 2017 г.). – Санкт-Петербург: Изд-во СПИИРАН, 2017. – С. 105-114.
28. Королева, М.Н. О системе онтологий измерений / М.Н. Королева // XXI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018). Сборник докладов в 2-х томах. – СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – Т. 2. – С. 155-158.
29. Королева, М.Н. Логико-алгебраические гранулярные модели как ядро когнитивных измерений / М.Н. Королева, В.Б. Тарасов // Мягкие измерения и вычисления. – 2018. – № 3. – С. 45-55.
30. Koroleva, M.N. On Ontological Modeling of Measurements in a Complex Monitoring System of Technical Object / M.N. Koroleva, G.B. Burdo // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. – 2019. – Issue 3. – P. 243-246.