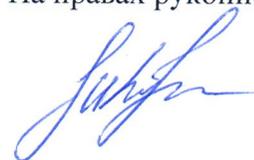


**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель –
кандидат технических наук, доцент
Тарасов Валерий Борисович

Научный консультант –
доктор технических наук, профессор
Бурдо Георгий Борисович

Москва

2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ	7
ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1. РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ И БАЗОВЫХ КОМПОНЕНТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СЛОЖНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА (НА ПРИМЕРЕ МОСТА).....	19
1.1. Проблемы развития мостостроения: необходимость массовой реконструкции старых и ускоренного возведения новых технических объектов (на примере мостов)	19
1.2. Системный анализ мостовых сооружений	21
1.3. Определение и задачи мониторинга моста	26
1.4. Пример автоматизированной системы мониторинга моста	28
1.5. Информационно-управляющие средства для комплексной проблемы мониторинга: SCADA-системы и беспроводные сенсорные сети.....	32
1.5.1. Структура и функции классической SCADA-системы.....	32
1.5.2. Современное развитие SCADA-систем: интеграция и интеллектуализация.....	34
1.5.3. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений.....	35
1.5.4. Интеллектуальные системы SCADA	36
1.5.5. Беспроводные сенсорные сети и их применение в SCADA- системах	39
1.6. Интеллектуальные среды	44
1.7. Распределенное познание в интеллектуальной среде	48
1.7.1. Цикл инженерии знаний.....	48
1.7.2. О терминологии в области систем получения знаний	51
1.7.3. Классификация методов приобретения знаний	53

1.7.4. Эволюция систем приобретения знаний. Гибридная система 3-го поколения.....	54
1.8. Выводы по главе 1.....	57
ГЛАВА 2. ОТ КЛАССИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ И КОГНИТИВНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ.....	58
2.1. Основные понятия классической теории измерений	58
2.2. Ограничения классической теории измерений.....	60
2.3. Онтологии и онтологический подход к описанию измерений для систем приобретения знаний	62
2.3.1. Классические определения и формальные модели онтологий ...	62
2.3.2. Восходящее и нисходящее проектирование онтологий	65
2.4. Грануляция информации и гранулярные метаонтологии.....	67
2.4.1. Понятие гранулы и грануляция информации	67
2.4.2. Гранулярная метаонтология и онтология верхнего уровня	70
2.5. Иерархическая система онтологий измерений	71
2.6. Неопределенность измерений.....	74
2.6.1. Классификация видов неопределенности	76
2.6.2. Формальные методы работы с неопределенностями типа А и Б	79
2.7. Измерения, оценки и нормы	81
2.8. Нетрадиционные концепции измерений	83
2.8.1. Интеллектуальные измерения	84
2.8.2. Измерение как познавательный процесс	85
2.9. О когнитивных измерениях	87
2.9.1. Принцип открытости измерения как познавательного процесса	87

2.9.2. Принцип единства измерений, оценок и рассуждений.....	88
2.9.3. Принцип синтеза теорий истины при интерпретации результатов измерения.....	88
2.9.4. Принцип грануляции измерительной информации	90
2.9.5. Результаты измерений как нечеткие гранулы.....	91
2.10. Выводы по главе 2.....	92
ГЛАВА 3. ЛОГИКО-АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ПОСТРОЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ...	93
3.1. Понятие когнитивного информационно-измерительного устройства	93
3.2. Проблема понимания в искусственном интеллекте и пути ее решения ...	94
3.3. Многозначные логики и логические прагматики в построении КИИУ ..	100
3.3.1. Типы логических предложений.....	102
3.3.2. Логическая семантика и нестандартные представления истины	105
3.3.3. Варианты построения и интерпретации истинностных значений.....	107
3.3.4. Логические миры и пространства	110
3.3.5. От логической семантики к логической прагматике	111
3.3.6. Когнитивная графика для наглядного представления прагматики измерений	114
3.3.7. Логические матрицы – инструмент алгебраического анализа логической прагматики	116
3.4. Трехзначные логические прагматики Васильева и его последователей.	118
3.4.1. Трехзначная логика Асеньо A_3	122
3.4.2. Трехзначная логика Приста Pr_3	122
3.4.3. Трехзначная логика осмысленности В.К. Финна F_3	122

3.5. Трехзначные логические прагматики Клини	123
3.6. Четырехзначные логические прагматики Данна-Белнапа.....	125
3.7. Когнитивные информационно-измерительные устройства Васильева, Клини и Белнапа.....	127
3.8. Интерпретации мультисенсорных данных.....	128
3.9. Бирешеточные прагматики в интерпретации результатов совместных измерений.....	129
3.9.1. От биупорядоченного множества к бирешетке	130
3.9.2. Примеры девятизначных бирешеток для интерпретации бисенсорных данных	131
3.9.3. Построение бирешетки «14» для интерпретации данных от двух белнаповских КИИУ	133
3.10. Метод логико-алгебраического синтеза КИИУ	135
3.11. Выводы по главе 3.....	135
ГЛАВА 4. МОДЕЛЬ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МОСТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ	138
4.1. Исследование влияния метеорологических факторов на безопасность движения по мосту и состояние опор моста	138
4.2. Задача обеспечения безопасности движения транспорта по мостовым переходам.....	139
4.2.1. Базовые характеристики: ветровая нагрузка, сила и скорость ветра	140
4.2.2. Базовые характеристики: Форма и количество осадков.....	144
4.2.3. Базовая характеристика: сцепление с дорогой	144
4.2.4. Система нечетких рассуждений в задаче мониторинга.....	145
4.2.5. Алгоритмы вывода.....	148

4.2.6. Реализация модели в системе Matlab с помощью алгоритма Мамдани.....	149
4.2.7. Реализация гибридной нейро-нечеткой модели в системе ANFIS	153
4.2.8. Система нечетких продукционных правил и реализация нейро-нечеткого вывода	159
4.3. Разработка нечеткой системы поддержки принятия решений по техническому обслуживанию моста во время ледохода	166
4.3.1. Описание фактора ледохода при мониторинге мостовых сооружений.....	166
4.3.2. Лингвистическая переменная «Густота ледохода».....	170
4.3.3. Система нечетких рассуждения по обслуживанию моста в условиях ледохода	171
4.4. Выводы по главе 4.....	174
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	176
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	177
ПРИЛОЖЕНИЕ А	196
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	202
ПРИЛОЖЕНИЕ В	208
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	211
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	212
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	214
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	216

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АРМ – автоматизированное рабочее место

АСУДД – автоматизированная система управления дорожным движением

АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом

БСС – беспроводных сенсорных сетей

ИАД – интеллектуальный анализ данных

ИСППР – интеллектуальные системы поддержки принятия решений

КИИУ – когнитивное информационно-измерительное устройство

КСБ – комплексная система безопасности

ЛП – лингвистическая переменная

ПАКСМ – программно-аппаратный комплекс системы мониторинга

СЛП – составная лингвистическая переменная

СМСКМ – подсистема мониторинга состояния конструкций моста

СПЗ – система получения знаний

СППР – система поддержки принятия решений

ЦУМ – центр управления мониторингом

CS – Communication System

FFD – Fully Function Device

GPS – Global Positioning System

MTU – Mater Terminal Unit

RFD – Reduced Function Device

RTU – Remote Terminal Unit

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

QUDT – Quantities, Units, Dimensions and Data Types Ontologies

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Интеллектуализация автоматизированных комплексов на производстве и транспорте, в частности, при решении задач мониторинга, предполагает построение и широкое использование методов и систем, основанных на знаниях. Знания представляют собой метаданные или, иначе данные, рассматриваемые вместе со способами их анализа и обработки. Разработка интеллектуальной системы подразумевает построение *цикла инженерии знаний*, который включает этапы *приобретения*, представления, пополнения, передачи знаний. При этом ключевым является начальный этап приобретения знаний из различных источников: извлечение знаний из экспертов, получение знаний из текстовых или графических источников, обнаружение знаний в результате анализа сенсорных данных.

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 и, конечно, онтологическое моделирование.

Таким образом, актуальность работы заключается в необходимости разработки 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 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. Среди предложенных в диссертации новых подходов и методов следует отметить методы получения и обработки измерительной информации на базе гранулярных вычислений и измерений, а также логико-алгебраические методы синтеза когнитивных информационно-измерительных устройств и обработки мультисенсорной информации с использованием логических матриц, решеток и произведений решеток.

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 у 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:

- Модель системы мониторинга сложного технического объекта как интеллектуальной среды.
- Схема гибридной системы получения знаний третьего поколения на основе грануляции информации, иерархии онтологий и когнитивных измерений.
- Структурная схема и алгоритм синтеза когнитивного информационно-измерительного устройства (КИИУ) как средства грануляции и интерпретации измерительной информации.
- Метод и алгоритм интерпретации данных от различных КИИУ на базе аппарата бирешеток.

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. Она подтверждается актами внедрения полученных результатов (см. приложения Д, Е, Ж).

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 и апробация 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.

Материалы диссертационной работы использовались при выполнении НИР кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана, поддержанными грантами РФФИ (проекты №№ 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), в работе по государственному заданию № 2.7918.2017 «Автоматизация мониторинга технических систем и технологических процессов в рамках концепции цифрового производства».

Основные результаты работы внедрены в учебный процесс кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана и 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 представительных научных конференциях и семинарах, таких как: 1-й Международный симпозиум «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика» (Светлогорск, 2012); Международный конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям (Дивноморское, 2012); XII-я научная конференция им Т.А. Таран «Интеллектуальный анализ информации» (Киев, 2012); II и IV

Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные системы на транспорте» (Санкт-Петербург, 2012, 2014); VII-я и VIII-я Международная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» (Коломна, 2013 и 2015); II-я Международная научно-техническая конференция «Интеллектуальные системы и компьютерно-интегрированные производства» (Москва, 2014); XVII и XXI Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (Санкт-Петербург, 2014, 2018); VI-я Всероссийская научно-практическая конференция «Нечеткие системы и мягкие вычисления–2014» (Санкт-Петербург, 2014); XIV-я Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (Казань, 2014); VI-я и IX-я международная научно-техническая конференция «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (Минск, 2016, 2019); XIX-я научно-практическая конференция «Инжиниринг предприятий и управление знаниями» (Москва, 2016); II-я Всемирная конференция по мягким вычислениям (the IInd World Conference on Soft Computing, Baku, Azerbaijan, 2012); X-я Международная конференция по применению нечетких систем и мягких вычислений (the Xth International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, Lisbon, Portugal, 2012); IV-й Всемирный конгресс по универсальной логике (the IVth World Congress on Universal Logic, Rio de Janeiro, Brazil, 2013); VII-я Международная конференция по мягким вычислениям, вычислениям со словами и перцепциями в системном анализе, принятии решений и управлении (the VIIth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control, Izmir, Turkey, 2013); VIII-я Всемирная конференция по интеллектуальным системам для промышленной автоматизации (the VIIIth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, Tashkent, Uzbekistan, 2014); IX Международная конференция по использованию информационно-коммуникационных технологий (the 9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies, Rostov-on-Don, Russia, 2015), I-я и II-я 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).

Они также прошли обсуждение на Общемосковском научном семинаре РАИИ «Проблемы искусственного интеллекта» (Москва, 2016); Междисциплинарном научном семинаре «Экобионика» (Москва, 2014); I–IV Международной летней школе-семинаре по искусственному интеллекту для студентов, аспирантов и молодых ученых (Тверь, 2011, 2013, 2015; Санкт-Петербург, 2017); Международной молодежной школе-конференции «Современные проблемы математики» (Екатеринбург, 2013); ежегодных «Научных сессиях МИФИ» (Москва, 2013-2015).

Публикации. Результаты диссертации представлены в 30 публикациях, в том числе: 4 в журналах, рекомендованных ВАК, 5 в изданиях, индексируемых в базе Scopus.

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

Содержание работы. В *первой главе* рассмотрены вопросы построения гибридных систем получения знаний (СПЗ) для решения комплексной задачи мониторинга и разработки интеллектуальной среды. Предварительно проведен системный анализ комплексной проблемы мониторинга сложных технических объектов и системный анализ мостовых переходов как объектов мониторинга. Обоснована целесообразность построения интеллектуальной системы мониторинга на основе концепции интеллектуальной среды (Ambient Intelligence) и рассмотрены её основные компоненты. Рассмотрены особенности инженерии знаний в интеллектуальной среде. Сделан обзор известных систем приобретения знаний, на основе которого выявлено, что практически все эти системы используют только экспертные знания. Показана необходимость включения в состав СПЗ знаний, полученных на основе измерений, и разработки гибридной

подсистемы приобретения знаний, объединяющие измерения, экспертные оценки и онтологии, для интеллектуальной системы мониторинга. Предложена структурная схема СПЗ 3-го поколения.

Вторая глава посвящена разработке понятия, модели и методики организации **когнитивных измерений** для гибридной СПЗ. Вначале приведены основные понятия теории измерений, показаны основные различия между процессами измерения и оценивания, описаны элементы формальной теории измерений, описаны понятие шкалы и основные типы шкал в классической теории измерений. В интересах разработки СПЗ нового поколения предложены онтологические модели измерений. Центральное место в главе 2 занимает анализ различных факторов неопределенности измерений. Показано, что использование одних статистических моделей не охватывает многие факторы неопределенности и являются недостаточными. Построен фрагмент онтологии 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 – распределенных, интеллектуальных, мягких измерений.

На основе анализа измерений как процесса познания введена новая трактовка понятия когнитивных измерений, предложено их представление в виде модели двухуровневой грануляции информации, связанной с переходом от мелкозернистой (числовой) к крупнозернистой (логико-лингвистической) информации. Выделены системные принципы организации когнитивных измерений.

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

(набор датчиков) с процессором интеллектуального анализа данных и модулем интерпретации информации, способный не только измерять значения некоторого параметра объекта мониторинга, но и «понимать» полученную информацию. Таким образом, оно представляет собой не только информационно-измерительное, но и информационно-интерпретирующее устройство, снабженное логико-лингвистической прагматикой, т.е. способное представлять результат измерения в терминах ограниченного естественного языка. В связи с этим в третьей главе первоначально рассмотрена проблема понимания в искусственном интеллекте и варианты ее решения. 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, а также подходов когнитивной графики. Здесь для многозначных и нечетких логик рассмотрена «метафора цвета». В русле идей Ч.С. Пирса автором использовано понятие логической прагматики и предложены варианты наглядного (цветного и узорчатого) представления логических прагматик измерений («светофорная прагматика» и «орнаментная прагматика»). Соответственно, введены и формализованы понятия КИИУ Васильева, КИИУ Клини, КИИУ Белнапа и их нечеткие аналоги. В заключительной части главы предложен подход к построению когнитивных сенсорных сетей на основе произведений решеток (расширенных логических матриц) и аппарата мультирешеток. Построены примеры интерпретации результатов измерений для бисенсорных структур на основе девятизначных и четырнадцатизначных прагматик. В результате разработан метод системного логико-алгебраического синтеза КИИУ для мониторинга технических объектов, приведена схема алгоритма синтеза.

Следует отметить, что в данной главе собраны формализмы и приемы логико-алгебраического подхода к построению КИИУ, включая формальные определения и примеры логических миров и пространств, гранулярные значения истинности, расширенные логические матрицы, произведения логических прагматик, цветные диаграммы Хассе с выделенными и антивыведенными

значениями, двойные диаграммы Хассе для наглядного представления в бирешетках логических порядков и связей между ними.

В *четвертой главе* в рамках осуществления 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) введен набор **лингвистических переменных** (ЛП) как трехуровневых формальных структур. Введены входные ЛП **«Скорость ветра»**, **«Изменение скорости ветра»**, **«Состояние дороги»**, **«Густота ледохода»**, **«Скорость ледохода»** и выходные переменные с деонтическими значениями **«Движение по мосту»** {разрешено, ограничено с разными градациями, запрещено} и списком возможных **«Мероприятий»** по укреплению опор или противодействию ледоходу. Также введена составная лингвистическая переменная осадки, разделяющаяся на атомарные ЛП **«Форма»** и **«Количество осадков»**.

В русле реализации принципа единства измерений, оценок, расчетов и рассуждений при анализе влияния комплекса метеорологических характеристик на эффективность эксплуатации моста систематизированы и экспериментально апробированы соответствующие датчики, проведены расчеты ветровой нагрузки и сцепления с дорогой, значения силы трения скольжения в зависимости от состояния дорожного покрытия, массы и габаритов автомобиля.

Разработан и программно реализован в системе Matlab модуль нечетких рассуждений для задачи мониторинга безопасности движения транспорта по мостовым переходам. Построен пример вывода формально обоснованных рекомендаций по возможности эксплуатации моста при сочетании разных метеорологических условий. Построены и реализованы модели как нечеткого, так и нейро-нечеткого вывода. Построена и программно реализована система нечетких рассуждений по обслуживанию моста в условиях ледохода.

В *заключении* приводятся основные 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.

На защиту выносятся:

1. Модель гибридной системы получения знаний на основе онтологий, экспертных оценок и когнитивных измерений.
2. Иерархическая система онтологий измерений. Схема когнитивных измерений как двухуровневая структура грануляции информации.
3. Наглядное представление прагматики когнитивных измерений с помощью цветных диаграмм Хассе. Логико-алгебраический метод построения когнитивных информационно-измерительных устройств.
4. Алгоритм интерпретации сенсорных данных и построения нечетких продукционных правил о возможности эксплуатации объекта мониторинга.

ГЛАВА 1. РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ И БАЗОВЫХ КОМПОНЕНТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СЛОЖНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА (НА ПРИМЕРЕ МОСТА)

1.1. Проблемы развития мостостроения: необходимость массовой реконструкции старых и ускоренного возведения новых технических объектов (на примере мостов)

Развитие современного высокоскоростного железнодорожного и автомобильного транспорта предъявляет новые требования к состоянию объектов инфраструктуры, в особенности, таких важнейших искусственных сооружений как мосты, тоннели, проезды и т.п. Актуальной проблемой является необходимость значительного роста общего объема строительства. Так в Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года (раздел «Реконструкция и строительство новых искусственных сооружений») отмечено, что существенные ограничения пропускной способности отечественной железнодорожной сети связаны с уменьшенной скоростью поездов при движении по мостам или в тоннелях. Это обусловлено значительным превышением нормативных сроков службы искусственных сооружений и их высокой дефектностью. В частности, мосты с металлическими пролетными строениями, построенные на рубеже XIX-XX веков и превысившие нормативный срок службы (80 лет) в 1,5 раза, не обеспечивают пропуск поездов с существующими осевыми нагрузками без ограничения скорости движения. Более того, пропуск по ним высокоскоростных поездов с осевой нагрузкой 25-30 тонно-сил/ось будет вообще невозможен.

Ввод в эксплуатацию поездов с повышенными осевыми нагрузками вызовет рост напряжений в элементах пролетных строений мостов в 1,5-1,8 раза по сравнению с существующими. Это может привести к росту усталостных повреждений в пролетных строениях, рассчитанных по нормам 1907, 1925 и 1931 годов, и значительному сокращению срока их эксплуатации.

Пропуск подвижного состава с осевыми нагрузками до 30 тонно-сил/ось без ограничения скорости возможен только по исправным пролетным строениям, построенным под нагрузку Н8 и выше. В связи с этим все пролетные строения классом нагрузки ниже Н8 нуждаются в усилении или замене. В первую очередь это относится к мостам с металлическими пролетными строениями старых лет постройки и к тоннелям. Столь же трудное положение сложилось и с автодорожными мостами.

Таким образом, очевидной становится необходимость коренной реконструкции старых и возведения новых мостовых сооружений, а также создания передовых систем их мониторинга, обеспечивающих безопасность пассажирских и грузовых перевозок.

Наиболее яркими примерами стратегических мостовых сооружений в нашей стране являются Русский мост, построенный в 2012 г. во Владивостоке, и Крымский мост (рис. 1.1), который связал между собой Кавказ и Крым. Русский мост представляет собой уникальный вантовый мост через пролив Босфор Восточный, соединяющий центральную часть Владивостока с островом Русский (его высота составляет 324 м, а пролёт длиной 1104 м является самым большим в мире).



Рис. 1.1. Крымский мост

Крымский мост – это транспортный переход через Керченский пролив, который состоит из двух расположенных рядом мостов – уже функционирующего

с 15 мая 2018 г. автомобильного и строящегося железнодорожного моста (его ввод в эксплуатацию ожидается в декабре 2019 г.). Общая длина автомобильного моста составляет 16,9 км, а протяженность железнодорожного моста составит 18,1 км.

Тем не менее, пока инвестиции в российскую мостостроительную промышленность сравнительно невелики, и она не может удовлетворить современные запросы отечественной транспортной отрасли.

1.2. Системный анализ мостовых сооружений

Для определения основных требований к современной системе мониторинга искусственного сооружения как сложного технического объекта рассмотрим в качестве конкретного примера мостовой переход.

В соответствии с ГОСТ 33178-2014, *мостовое сооружение* – это инженерное дорожное сооружение (мост, путепровод, эстакада и др.), устраиваемое при пересечении транспортного пути с естественными или искусственными препятствиями. Этот термин часто заменяется обобщенным названием «*мост*», под которым обычно понимается мостовое сооружение через реки, озера и другие водные препятствия. Мост вместе с подходами, укрепительными сооружениями и подмостовым руслом реки составляет *мостовой переход*.

Путепроводом называется мостовое сооружение для пропуска одной транспортной магистрали над другой в разных уровнях, *виадук* перекрывает суходол или узкую долину, а *эстакадой* является многопролетное сооружение с относительно небольшими пролетами, которое перекрывает суходол, пойму реки, проходит по застроенным территориям или заменяет насыпь на подходе к мосту.

Разновидностью системного подхода является функционально-структурный подход, в рамках которого система рассматривается как совокупность структур, обеспечивающих выполнение определенных функций. Назначение или главная функция мостов состоит в обеспечении безопасного преодоления водных преград.

Структура – это наиболее консервативная характеристика моста как сложного технического объекта [64]. Хотя состояние моста изменяется, структура его сохраняется практически неизменной на протяжении всего его жизненного цикла. Структурный анализ моста начинается с его представления в виде составных частей [18].

Основными структурными элементами мостов, которые кодируются числами от 01 до 05, являются *пролетные строения* 01, *опоры* (крайние 02 и промежуточные 03), *мостовое полотно* 04, *техническое обустройство* 05. Береговые опоры моста называют *устоями*, а промежуточные опоры – *быками*. Опоры, разделяющие мост на пролеты, бывают монолитными или сборными. Они состоят из фундамента и видимой части моста (тела). Фундаменты опор сооружаются при неглубоком расположении прочных грунтов на естественном основании, а при слабых грунтах – на сваях. Общая структурная схема мостового сооружения приведена на рис. 1.2.

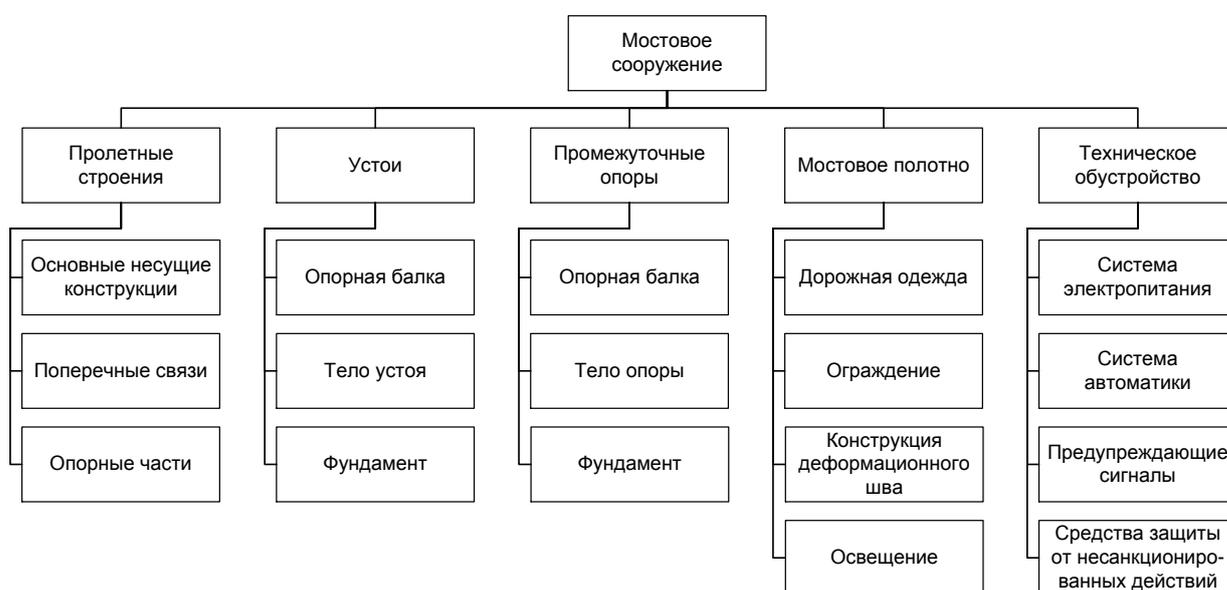


Рис. 1.2. Структурная схема мостового сооружения

Главными функциональными (потребительскими) свойствами мостов являются пропускная способность, грузоподъемность, безопасность движения, долговечность [14, 17]. Так грузоподъемность моста есть наибольшая нагрузка, которую он может выдержать при условии обеспечения безопасности движения.

Она оценивается несущей способностью наиболее слабого элемента конструкции моста.

Основными нормируемыми параметрами, которые определяют потребительские свойства мостов, являются сроки службы, габариты и нагрузки от транспортных средств. Ключевыми габаритными характеристиками моста являются его длина и высота. Длиной моста называется расстояние между задними гранями его устоев, а высотой – расстояние от мостового полотна до горизонта низких вод. Эти и другие базовые характеристики мостов определяются шириной водной преграды, колебаниями уровня воды, заданной нормой массы транспортных средств.

В процессе эксплуатации со временем мосты в большей или меньшей степени утрачивают свои потребительские свойства вследствие физического и морального износа [91]. При выходе из строя отдельных элементов моста (части пролетного строения или отдельных опор), его работоспособность утрачивается полностью, так как в системном плане он имеет линейную структуру.

Функции работоспособности разных классов элементов могут характеризоваться разными параметрами (рис. 1.3). В определенный момент времени состояние функции (и соответственно структуры конструкции), оцененное по какому-либо параметру, может принимать значения:

- «безопасное», т.е. контролируемый параметр находится в безопасном диапазоне, не выходя в предупредительный диапазон; соответственно функция выполняется, и структура находится в безопасном состоянии;
- «предупредительное» – контролируемый параметр находится в предупредительном диапазоне;
- «опасное» – контролируемый параметр вышел из предельного диапазона.

В процессе классификации изучаемые объекты группируются в классы (классификационные таксоны) с помощью выбранных признаков-оснований классификации [134]. Для классификации мостов существуют такие признаки как расположение мостового сооружения k_1 , его функциональное назначение k_2 и вид k_3 , материал k_4 , длина k_5 , статическая схема k_6 , расположение в плане k_7 . Класс

моста описывается набором из семи кодов, полностью описывающих его принадлежность: $KM = \{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7\}$.

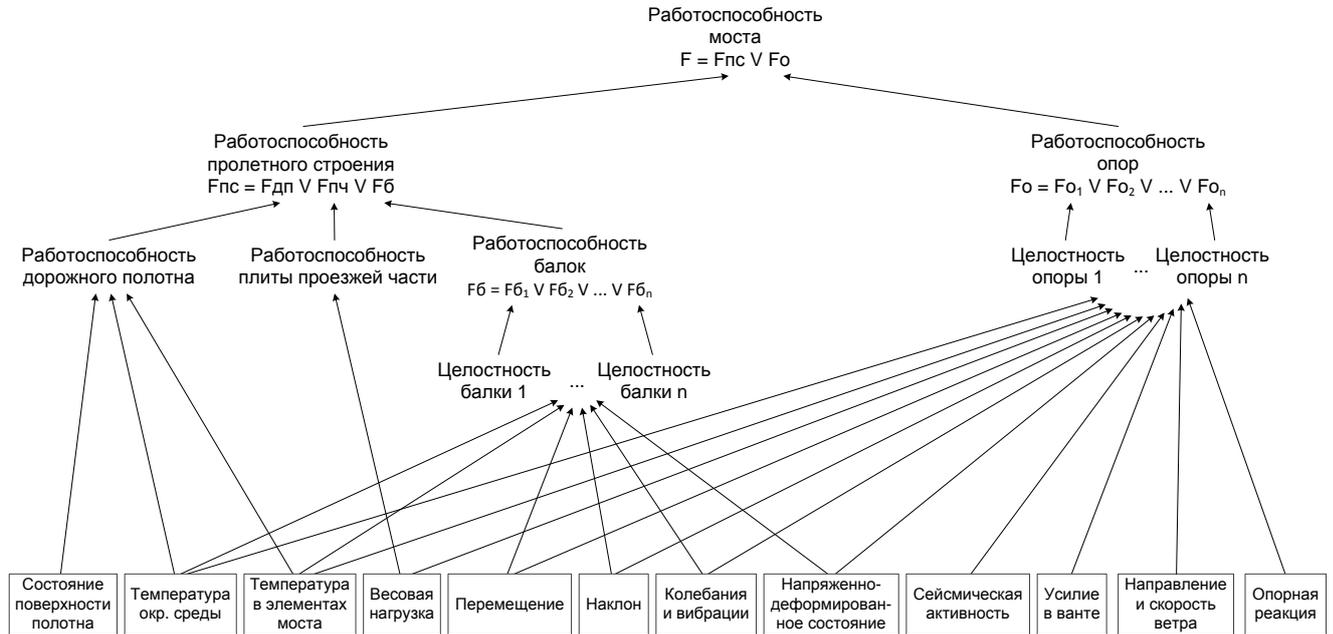


Рис. 1.3. Декомпозиция функции «работоспособность моста» с зависимостью от измеряемых параметров

Так по признаку k_1 мост может располагаться на автомагистрали, скоростной дороге, дороге обычного типа. По функциональному назначению k_2 выделяют автодорожные и городские, совмещенные (предназначенные для движения автомобильного и рельсового транспорта), пешеходные, и пр. По виду мостового сооружения k_3 различают мосты, путепроводы, эстакады, виадуки, и др. По материалу наибольшего пролетного строения k_4 выделяют железобетонные, стальные, деревянные, каменные, алюминиевые мосты, а также смешанные сталежелезобетонные мосты и мосты из композиционных материалов. В последние годы в плане долговечности существенно возрос интерес к алюминиевым мостам. По признаку k_5 мосты делятся на: малые (длиной до 25 м), средние (длиной от 25 до 100 м), большие (длиной более 100 м), внеклассные (содержащие пролеты 200 м и более) [73].

В соответствии со статической схемой k_6 , мосты бывают балочные, ферменные, вантовые, висячие, арочные, рамные, комбинированные. У балочных мостов пролетные строения представляют собой изгибаемую балку со сплошной

стенкой. Балочные пролетные строения могут быть выполнены из ферм. Они также могут представлять собой арки.

Балочные мосты реализуют две важные функции (рис. 1.4):

1) функцию передачи усилий (подсистемы пролетного строения), которая обеспечивает восприятие нагрузок от объектов, находящихся на сооружении, действия внешних сил (ветра, осадков, давления воды, сейсмических ускорений и т.д.), силы тяжести обеих подсистем и передачу всех этих усилий на подсистему опор;

2) функция восприятия усилий (подсистемы опор), которая связана с передачей всех усилий от сооружения на основание и устойчивое положение сооружения.

В случае протяженных вантовых мостов дополнительно возникает:

3) функция защиты (ограждения), которая – обеспечивает защиту объектов от воздействий ветра.

Вантовый мост – это современный тип висячего моста, состоящий из одного или более пилонов, соединенных с дорожным полотном посредством стальных тросов – вантов. В отличие от обычных висячих мостов, где дорожное полотно поддерживается вертикальными тросами, прикрепленными к протянутым по всей длине моста основным несущим тросам, у вантовых мостов ванты соединяются непосредственно с пилоном.

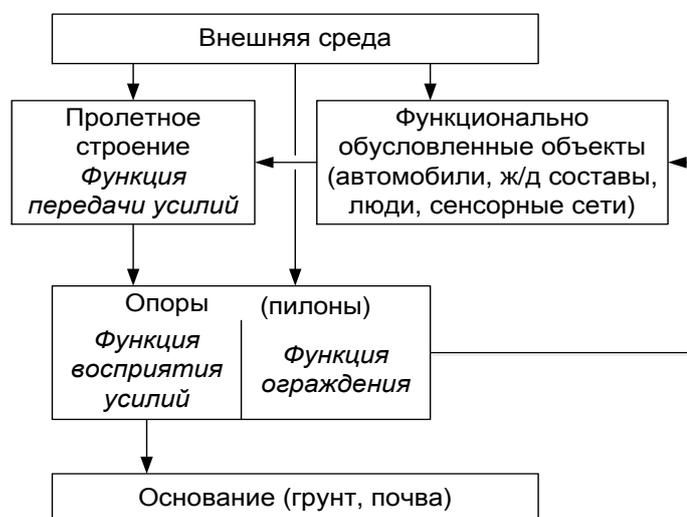


Рис. 1.4. Функциональная структура моста

Преимуществом вантовых мостов перед висячими является меньшая подвижность дорожного полотна, что делает их пригодными для использования в качестве железнодорожных переправ.

Классификацию железнодорожных мостов можно проводить еще по: количеству пролетов (одно-, двух- и трехпролетные), числу главных путей: (одно-, двух- и многопутные).

Наконец, по признаку k_7 расположение моста в плане может быть прямым, косым, криволинейным, сложным.

В соответствии с [32], состояние моста как сложной системы характеризуется упорядоченной совокупностью значений внутренних и внешних параметров, определяющих процессы, происходящие в системе. Важными параметрами, характеризующими состояние моста, являются:

- прогиб пролетных строений моста;
- отклонения элементов конструкций моста от вертикальной оси под действием транспорта и ветровых нагрузок;
- метеорологические показатели (направление и скорость ветра, количество и качество осадков, влажность, сейсмичность);
- амплитудные и частотные характеристики собственных и вынужденных колебаний конструкций моста под нагрузкой и в фазе затухания колебаний (максимальная амплитуда, огибающая, затухание, эксцесс; частотные пики, характеризующие собственные и вынужденные колебания элементов конструкции);
- механические напряжения в бетонных и металлических конструкциях;
- относительные перемещения элементов конструкций в плане и профиле;
- линейные размеры трещин (если таковые имеются).

1.3. Определение и задачи мониторинга моста

Согласно Отраслевому дорожному методическому документу ОДМ 218.4.002-2008 «Руководство по проведению мониторинга состояния

эксплуатируемых мостовых сооружений», мониторинг состояния моста – это систематическое наблюдение за работой моста в эксплуатационных условиях в течение заданного промежутка времени с применением специальных технических средств, размещаемых на конструкциях моста. Мониторинг является видом работ в системе наблюдения за эксплуатируемым мостовым сооружением наряду с диагностикой, обследованиями и испытаниями. Согласно положениям этого документа, мониторинг состояния конструкций моста по назначению является контрольно-исследовательским, а по форме представления информации в течение времени – непрерывным. Поскольку многие составляющие системы мониторинга устанавливаются в процессе строительства (датчики в бетоне пилона и железобетонных частях балки жесткости, сваях, метеостанции и др.), их использование не несет дополнительных затрат, но дает больший контроль и понимание состояния конструкции моста на всех этапах его жизненного цикла.

При мониторинге выполняется экспериментальная оценка количественных параметров (измерение) и качественных признаков, характеризующих техническое состояние моста, к которым относятся геометрические параметры; напряженно-деформированное состояние; температура элементов сооружения; динамические характеристики; дефекты; нагрузки и воздействия, атмосферные и другие условия эксплуатации; жесткостные, прочностные и прочие свойства конструкций и материалов. Оцениваться могут как действующие значения параметров, так и их изменение в процессе мониторинга.

Инструментальные измерения при мониторинге могут проводиться на непрерывной основе с помощью приборов с регистрацией данных непрерывно или с минимальной периодичностью, а также на основе периодических инструментальных измерений по установленным в конструкции маркам, по датчикам или приборам.

Следует отметить, что ОДМ 218.4.002-2008 носит рекомендательный характер.

В диссертации принимается более широкая трактовка комплексной проблемы мониторинга, включающая в себя следующие задачи: определение

ключевых характеристик состояния моста (напряженно-деформированного состояния, неравномерных осадок, вибраций), измерение метеорологических показателей (в первую очередь, направления и скорости ветра), а также интерпретация результатов измерений; анализ протекания процессов в конструкции моста и диагностика его текущего состояния; прогнозирование дальнейшего развития состояния конструкций моста; принятие решения, связанного с возможностью и безопасностью эксплуатации (рис. 1.5).

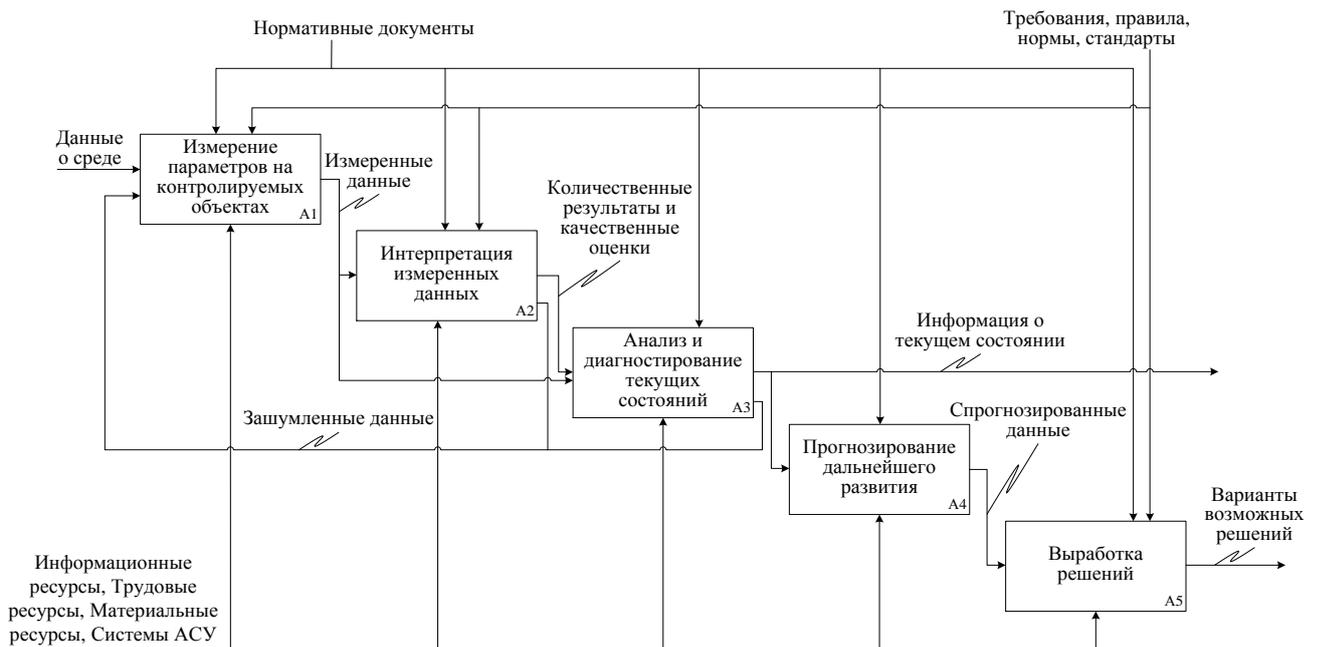


Рис. 1.5. Представление комплексной проблемы мониторинга объекта инфраструктуры

1.4. Пример автоматизированной системы мониторинга моста

Примером практически реализованной автоматизированной системы мониторинга является система мониторинга моста на остров Русский (рис. 1.6) [104]. Она представляет собой совокупность следующих подсистем (рис. 1.7): программно-аппаратный комплекс системы мониторинга (ПАКСМ), подсистема мониторинга состояния конструкций моста (СМСКМ), автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД), комплексная система безопасности (КСБ).

Здесь ПАКСМ обеспечивает интерфейс системы мониторинга с внешним миром: предоставляет общие ресурсы, находящиеся в центре управления мониторингом (ЦУМ); поддерживает связь между системами, доступ к данным о состоянии моста и состоянии программно-аппаратных средств по сети интернет; формирует отчеты; обеспечивает речевое оповещение персонала при возникновении нештатной ситуации.



Рис. 1.6. Структура системы мониторинга моста на остров Русский [104]

Задачами СМСКМ являются контроль состояния моста и накопление данных о его работе. В функции АСУДД входят обеспечение выполнения требований к пропускной способности моста, транспортно-эксплуатационному состоянию мостового перехода, качеству пассажирских и грузовых перевозок, безопасности дорожного движения. КСБ обеспечивает защиту всей инфраструктуры моста от внешнего воздействия, которое может привести к выводу из строя его элементов или возникновению чрезвычайных ситуаций.

Для снижения стоимости системы мониторинга предусмотрены общие ресурсы, допускающие их совместное использование в разных системах, например, средства передачи информации и электропитания на мосту, часы единого времени системы мониторинга, входящие в состав ПАКСМ и используемые в СМСКМ, АСУДД и КСБ. К общим ресурсам предъявляются требования автономности и повышенной надежности.

Из текста статьи [104] и рис. 1.7 видно, что в данной системе мониторинга слабо представлены сетевые технологии получения информации о состоянии моста и не применяются интеллектуальные технологии.

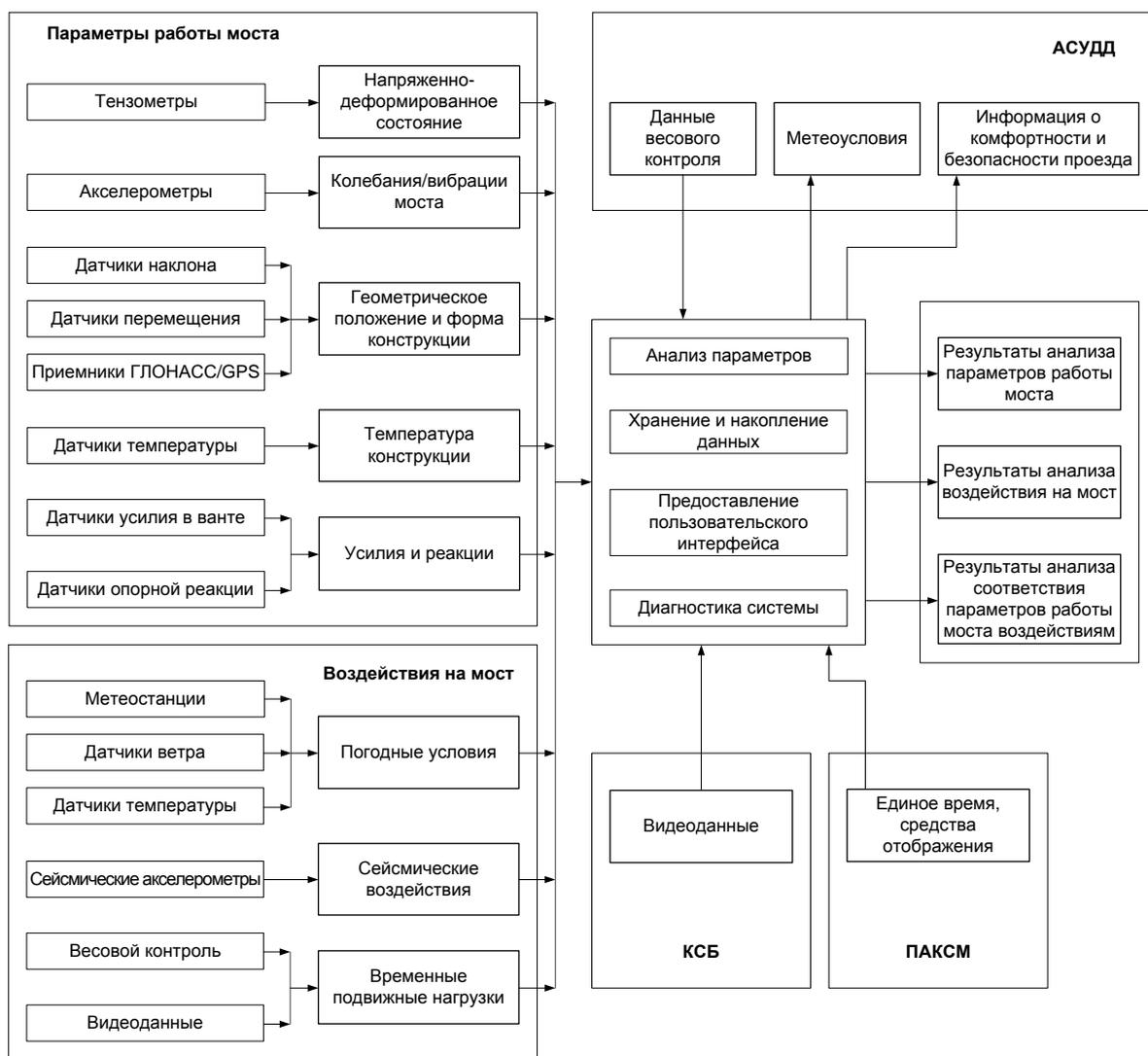


Рис. 1.7. Функциональная схема системы мониторинга моста на остров Русский [104]

В настоящей диссертации главное внимание уделяется первым двум задачам комплексной проблемы мониторинга, а именно измерению основных характеристик состояния моста, а также прагматической интерпретации результатов измерений. За основу для интерпретации скорости ветра взята шкала Бофорта (см. главу 4). Помимо ветровой обстановки опасными факторами внешней среды могут быть сейсмические колебания, высокая влажность, ледяные дожди (хотя обледенение моста может произойти и без них).

В настоящее время существуют три основных подхода к организации мониторинга искусственных сооружений: систематический визуальный надзор,

спутниковый мониторинг, использование SCADA-систем и сенсорных сетей [130].

Так в железнодорожной отрасли визуальный надзор за искусственными сооружениями включает осмотры, осуществляемые обходчиками железнодорожных путей и искусственных сооружений: текущие осмотры, периодические осмотры; обследования и испытания; специальные наблюдения и другие осмотры, осуществляемые в порядке, установленном Инструкцией по содержанию искусственных сооружений №ЦП-628 [40]. В частности, при периодическом обследовании и испытаниях мостов проводятся работы, основными недостатками которых являются: низкий уровень автоматизации, невысокая оперативность и «человеческий фактор».

В отличие от вышеупомянутого надзора спутниковые системы являются современным и высокотехнологичным средством мониторинга. Они подразделяются на две группы: системы глобального позиционирования и многоспектральные системы спутникового наблюдения [88].

Системы глобального позиционирования GPS и ГЛОНАС недавно стали использоваться для мониторинга деформаций искусственных сооружений (мостов). Их эффективное применение предполагает выполнение ряда специальных условий. Так, для достижения высокой точности измерений требуется уменьшение орбитальных ошибок, ошибок пространственной корреляции, вызываемых атмосферой, а также вычисление разности фаз передаваемого сигнала от спутника к приемнику.

С практической точки зрения, применение спутниковых систем навигации, референсных станций и спутниковых геодезических реперов для контроля относительного положения статических объектов неудобно из-за высокой потребляемой мощности элементов сети; необходимости прокладки кабеля в точки мониторинга; высокой стоимости системы.

Поэтому ниже уделяется особое внимание другому перспективному классу технологий мониторинга сложных технических объектов, основанных на использовании SCADA-систем и сенсорных сетей.

1.5. Информационно-управляющие средства для комплексной проблемы мониторинга: SCADA-системы и беспроводные сенсорные сети

1.5.1. Структура и функции классической SCADA-системы

В настоящее время системы диспетчерского управления и сбора данных класса SCADA являются эффективной технологией автоматизированного управления во многих отраслях. Сам термин SCADA охватывает процессы сбора информации реального времени с удаленных объектов для обработки, анализа и возможного управления этими объектами.

Практически все современные SCADA-системы включают три основных структурных компонента [2] (рис. 1.8): удаленный терминал RTU (Remote Terminal Unit), диспетчерский пункт MTU (Master Terminal Unit) и коммуникационную систему CS.

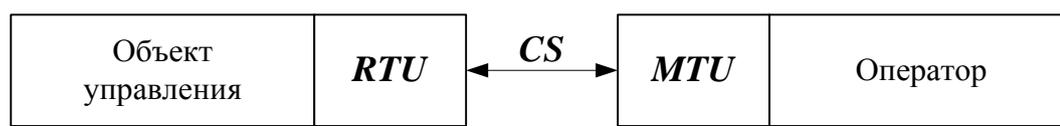


Рис. 1.8. Основные структурные компоненты SCADA-системы

Удаленный терминал RTU осуществляет обработку задачи в режиме реального времени. Уровень реализации RTU определяется конкретной областью применения.

В свою очередь, диспетчерский пункт управления MTU осуществляет обработку данных и управление высокого уровня, как правило, в режиме мягкого реального времени. Одна из его основных функций – построение интерфейса между человеком-оператором и SCADA-системой.

Наконец, коммуникационная система CS представляет собой набор каналов связи, необходимых для передачи данных с удаленных объектов на центральный интерфейс оператора-диспетчера, и обратной передачи сигналов управления на RTU.

Таким образом, автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУТП) можно представить в виде трехуровневой структуры (рис.1.9).

Первый (нижний) полевой уровень системы автоматизации включает контрольно-измерительные приборы, а также исполнительные устройства управления.

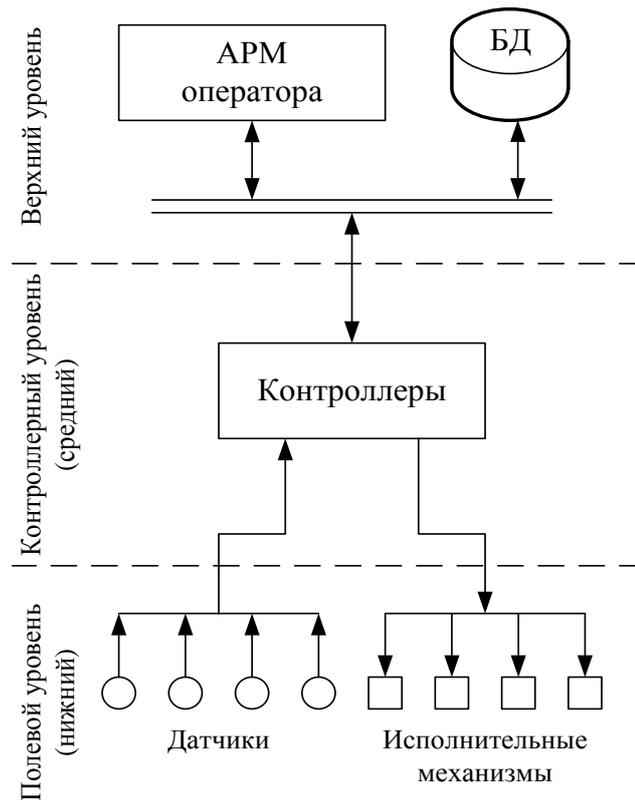


Рис. 1.9. Трехуровневая система АСУТП

На втором (среднем) уровне для связи с технологическими объектами предусмотрены программируемые логические контроллеры. Они обеспечивают: сбор информации с полевого оборудования, входящего в АСУТП; обработку и передачу информации о состоянии объектов на верхний уровень системы; прием информации с верхнего уровня управления и формирование управляющих воздействий на исполнительные механизмы; автоматическое регулирование и управление технологическим оборудованием и контроль его работы.

Третий (верхний) уровень включает автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов на базе персональных компьютеров со SCADA-системой

операторского управления, а также сервер баз данных, если используется автоматизированная система оперативного или коммерческого учета [2].

Диспетчер в многоуровневой АСУТП получает информацию с монитора компьютера и воздействует на объекты, находящиеся от него на значительном расстоянии, с помощью телекоммуникационных систем, контроллеров, интеллектуальных исполнительных механизмов.

Необходимым условием эффективной реализации диспетчерского управления, имеющего ярко выраженный динамический характер, становится работа с информацией, т.е. процесс сбора, передачи, обработки, отображения и представления информации.

Можно выделить пять функций человека-оператора в системе диспетчерского управления и сбора данных:

- 1) планирование (человек-оператор планирует, какие следующие действия необходимо выполнить);
- 2) обучение технической части (человек-оператор обучает компьютерную систему последующим действиям);
- 3) отслеживание результатов работы системы;
- 4) вмешательство в процесс при возникновении критических ситуаций;
- 5) обучение человека-оператора в процессе работы.

В настоящее время, в связи с достаточно быстрым развитием информационных систем, от оператора требуется не только профессиональное знание технологического процесса, основ управления, но и опыт работы в этих информационных системах, умение принимать решение (в диалоге с компьютером) в нестандартных и аварийных ситуациях и пр.

1.5.2. Современное развитие SCADA-систем: интеграция и интеллектуализация

В последние годы развитие SCADA-систем идет по пути расширения их функциональных возможностей, что обусловлено возрастанием сложности управляемых объектов и процессов с одновременным сокращением времени,

отводимого лицам оперативно-диспетчерского персонала на решение их задач [116]. В то же время большинство таких систем ограничивается исключительно информационными функциями, а обобщающие оценки возникающих ситуаций и принятие решений по-прежнему остаются уделом оперативного персонала.

Все эти задачи решаются в условиях неопределенности и жесткого дефицита времени. Здесь основные перспективы видятся в использовании распределенных структур – беспроводных сенсорных сетей [19, 145] для повышения автономности и надежности SCADA, интеграции средств SCADA с системами поддержки принятия решений (СППР) [5, 10, 12] и разработке стратегий, методов и средств интеллектуализации SCADA.

1.5.3. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений

Создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР) предполагает использование технологий и средств инженерии знаний, таких как базы знаний, средства приобретения и накопления знаний, подсистемы рассуждений, модели объяснения и обоснования решений, и т.п. Указанные модели и средства должны быть ориентированы на специфику предметной области и обеспечивать возможность представления и пополнения знаний о событиях, фактах, действиях, процессах, происходящих на сложном техническом объекте.

На рис. 1.10 представлена базовая структура ИСППР [4, 12], включающая следующие подсистемы: база данных и база знаний, база моделей, блок поиска решений, блок анализа ситуации, средства интеллектуального интерфейса. Крайне важными компонентами ИСППР являются также блоки, предназначенные для обобщения информации: блоки приобретения и накопления знаний, обучения, адаптации, модификации. В основе функционирования этих подсистем лежат модели и методы индуктивного формирования понятий.



Рис. 1.10. Базовая структура ИСПП

1.5.4. Интеллектуальные системы SCADA

Необходимость в дальнейшем развитии SCADA-систем при управлении сложными техническими объектами и процессами обусловлено: непрерывным возрастанием сложности управляемых объектов и процессов; сокращением времени на анализ проблемной ситуации, прогнозирование ситуаций, оценку последствий принимаемых решений, выдачу команд на отработку необходимых управляющих воздействий.

Различные стратегии интеллектуализации SCADA-систем направлены на реализацию интеллектуальной информационной поддержки человека-оператора, использующего средства SCADA. Такую поддержку можно реализовать путем построения нечетких лингвистических баз данных/знаний вместе с подсистемами нечеткого вывода, причем информация для принятия решений может выводиться на АРМ [5]. Общая схема сбора и обработки данных и управление процессами в интеллектуальной SCADA-системе приведена на рис. 1.11.

Опираясь на работы [5, 167], приведем список основных интеллектуальных компонентов перспективной SCADA-системы. К их числу относятся: логико-лингвистическая модель ситуации; нечеткая продукционная модель диагностирования; нечеткая продукционная модель прогнозирования действий диспетчера – «Что будет – если?», а также нечеткая модель прогнозирования последствий аномальных ситуаций; когнитивно-графическая модель поддержки

образного представления ситуации; вопросно-ответная диалоговая модель; модель поиска управляющих действий.



Рис. 1.11. Схема обработки данных и управления процессами в интеллектуальной SCADA-системе [167]

Отечественным прототипом интеллектуальной SCADA-системы является система Спринт-РВ, разработанная под руководством А.А. Башлыкова [5]. На рис.1.12 представлена общая архитектура интеллектуальной информационной системы управления, а на рис.1.13 показана реализованная в ней технология информационной поддержки человека-оператора.

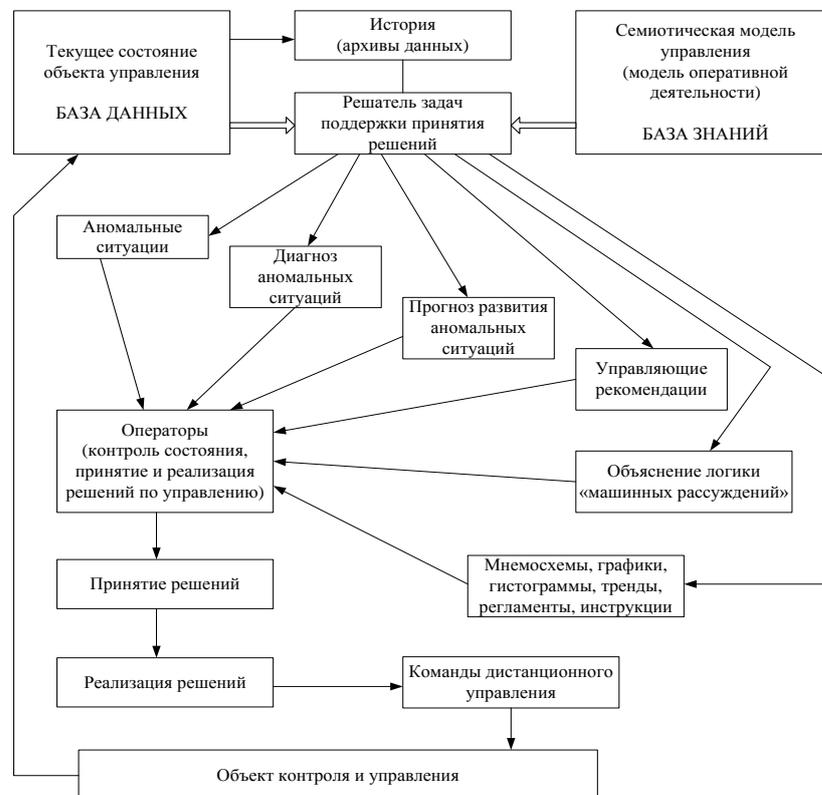


Рис. 1.12. Архитектура интеллектуальной информационной системы управления [5]

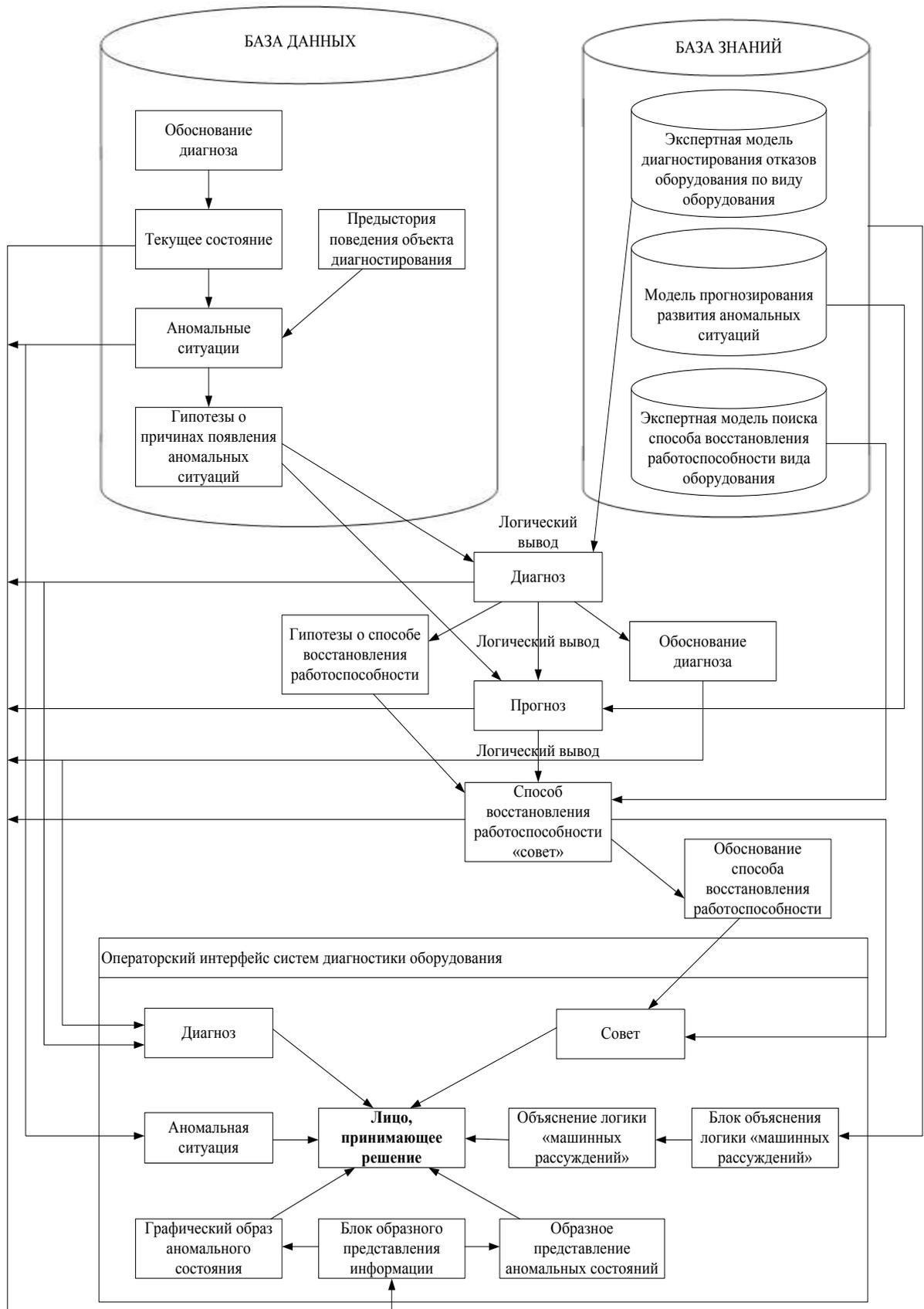


Рис. 1.13. Технология интеллектуальной информационной поддержки принятия решений человеком-оператором [5]

Таким образом, функции интеллектуальных SCADA-систем включают в себя все функции традиционных систем SCADA, а также: ситуационный анализ состояний объектов контроля и управления; логический анализ событий, аномальных ситуаций; диагностику состояния технологического оборудования; прогноз поведения технологического процесса во времени; оперативный поиск действий персонала при возникновении нештатных ситуаций; работу прикладной системы с наборами параметров, рассматриваемых как «единое целое» (грануляцию информации).

Главными средствами интеллектуализации SCADA-систем являются: экспертные системы, онтологии, многоагентные системы, состоящие из интеллектуальных агентов, средства нечеткой логики и когнитивной графики, интеллектуальные среды.

Современный подход к повышению автономности и надежности SCADA-систем состоит в использовании беспроводных сенсорных сетей и построении интеллектуальных сред.

1.5.5. Беспроводные сенсорные сети и их применение в SCADA-системах

В последние годы значительно возрос интерес к технологиям беспроводных сенсорных сетей (БСС) и вариантам их развития с использованием нечетких регуляторов и агентно-ориентированного подхода (см., например, [139, 130]).

Сенсорная сеть – это множество неоднородных, распределенных сенсоров, покрывающих значительную территорию, которые взаимодействуют между собой с целью извлечения и комплексирования информации из отдельных, локальных, «сырых» данных. Недостатком классической сенсорной сети является необходимость дорогостоящего объединения датчиков кабельными каналами связи.

Создание распределенных систем технического восприятия с использованием БСС является одним из приоритетных направлений развития информационных систем и интеллектуальных технологий [56, 130, 145, 19, 163]. Речь идет о гибких, автономных, самоорганизующихся сетях, в которые

включены множества различных неоднородных датчиков и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала. Такая сеть, часто строящаяся как ad-hoc network (сеть без предварительно заданной структуры), рассматривается как альтернатива традиционным технологиям сбора, обработки и передачи информации, которые обычно сводятся к статическим датчикам, принимающим и обрабатывающим потоки однородных данных.

Беспроводные сенсорные сети обладают рядом важных достоинств:

- сравнительная дешевизна;
- быстрая установка аппаратуры на объекте;
- высокая живучесть системы;
- мобильность технологии;
- возможность расположения в труднодоступных местах, куда сложно и дорого тянуть обыкновенные проводные решения;
- оперативность и удобство развертывания и обслуживания системы;
- надежность сети в целом – в случае выхода из строя одного из сенсоров, информация передается через соседние элементы;
- возможность добавления или исключения любого количества устройств из сети;
- высокий уровень проникновения сквозь препятствия (стены, потолки) и стойкость к электромагнитным помехам (благодаря высокой частоте работы системы – 2,4 ГГц).

Каждый узел БСС может содержать различные датчики для контроля внешней среды, микрокомпьютер и радиоприемопередатчик (рис. 1.14) [29]. Это позволяет устройству проводить измерения, самостоятельно осуществлять начальную обработку данных и поддерживать связь с внешней информационной системой.

Технология ретранслируемой ближней радиосвязи IEEE 802.15.4/ZigBee (она же БСС), является одним из современных направлений развития самоорганизующихся отказоустойчивых распределенных систем наблюдения и

управления ресурсами и процессами. Принятый стандарт IEEE 802.15.4 описывает контроль доступа к беспроводному каналу и физический уровень для низкоскоростных беспроводных персональных сетей, т.е. два нижних уровня согласно сетевой модели OSI.

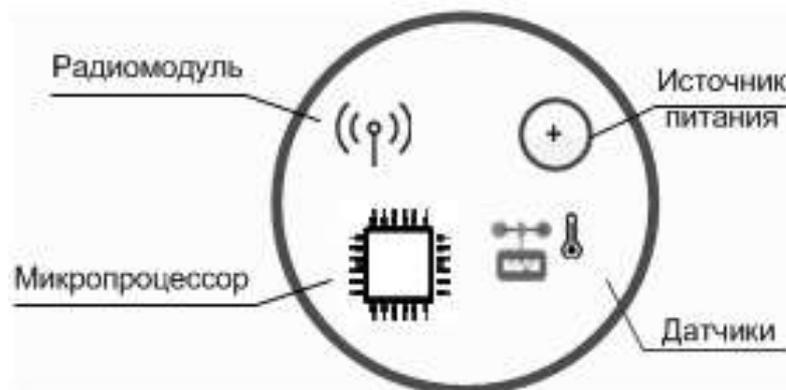


Рис. 1.14. Примеры организации узла сенсорной сети

Сенсорная сеть состоит из десятков или даже сотен беспроводных узлов, оснащенных датчиками. Классическая архитектура сенсорной сети основана на типовом узле, который может быть представлен тремя типами устройств [29] (рис. 1.15):

1. Сетевой координатор, осуществляющий глобальную координацию, организацию и установку параметров сети.
2. Устройство с полным набором функций (FFD — Fully Function Device); его функции – это: а) поддержка протокола 802.15.4; б) выполнение роли координатора сети; в) поддержка всех типов топологий («одноранговая», «звезда», «дерево», «ячеистая сеть»); г) способность обращаться к другим устройствам в сети.
3. Устройство с ограниченным набором функций (RFD — Reduced Function Device), которое выполняет ограниченный набор функций стандарта 802.15.4 и поддерживает топологии одноранговой структуры типа «почти полный граф» или «звезда»; обращается к координатору сети и маршрутизатору.

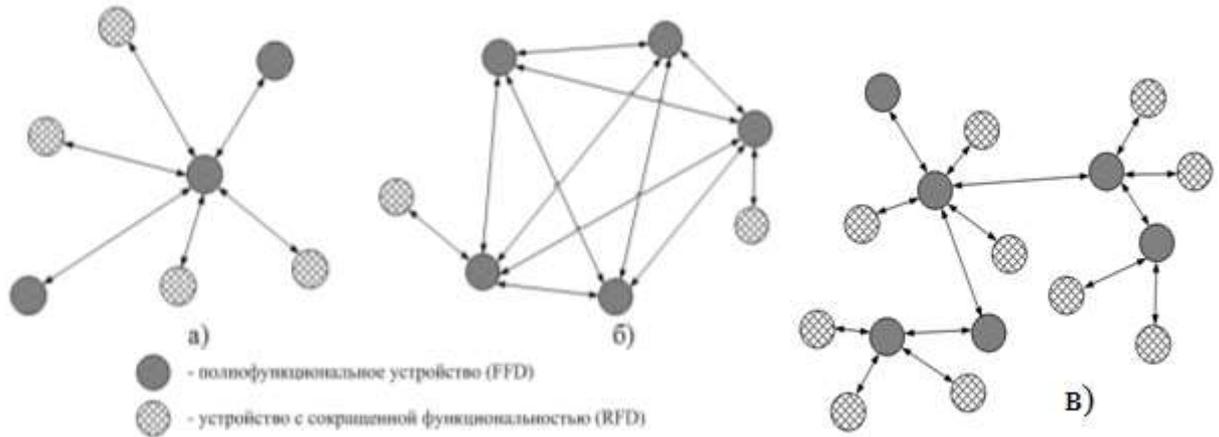


Рис. 1.15. Варианты топологии беспроводных сенсорных сетей (по стандарту ZigBee): а) «звезда», б) «почти полный граф», в) «кластерное дерево»

В основе архитектуры сети лежит трехуровневая иерархия узлов (рис. 1.16) [130]. На нижнем уровне располагаются сенсорные узлы БСС, обеспечивающие сбор локальной информации о контролируемом процессе. Данные узлы могут: а) передавать собранные данные узлам второго уровня иерархии; б) накапливать данные о собственных ресурсах и при необходимости сообщать их узлам второго уровня; в) при наличии соответствующего запроса отслеживать те или иные события, сигнализируя об их появлении; г) принимать метаданные от узлов второго уровня.

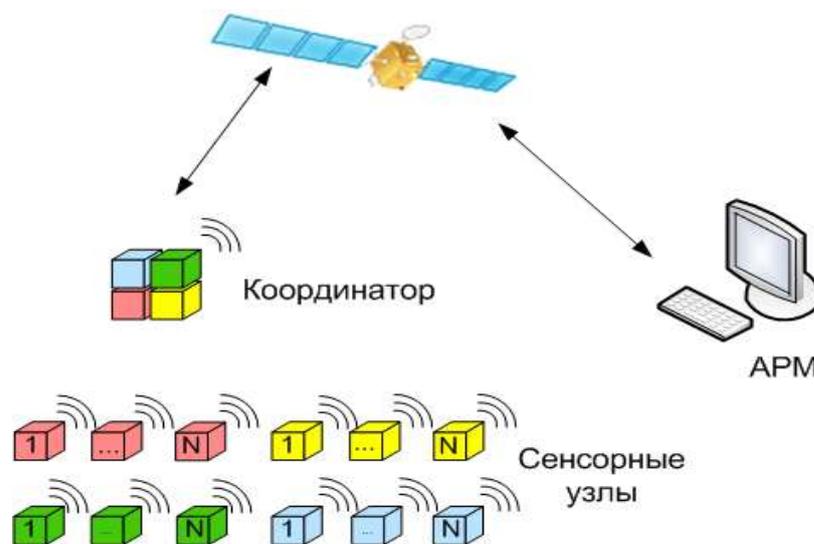


Рис. 1.16. Трехуровневая иерархия узлов беспроводной сенсорной сети

Второй уровень иерархии представлен координатором сети. В его структуру входят приемопередатчики, способные работать в одном из частотных каналов открытого ISM-диапазона, регламентированных стандартом IEEE 802.15.4/ZigBee. Каждый приемопередатчик является координатором подсети, состоящей из сенсорных узлов.

Устройства третьего уровня решают задачи, связанные с интерпретацией данных и принятием *диагностических решений*.

Системы мониторинга, организованные на основе сенсорных сетей, способны работать в режиме реального времени. При этом создание распределенных систем технического восприятия с использованием БСС является одним из приоритетных направлений развития информационных систем и интеллектуальных технологий [19, 92, 130, 145, 163].

Результаты сравнительного анализа традиционных SCADA-систем и беспроводных сенсорных сетей приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Сравнительный анализ SCADA-систем и БСС

Системы	Архитектуры	Хранение информации и управление	Гибкость узлов	Стоимость	Концентрация (плотность, компактность) узлов	Скорость передачи данных	Сетевые протоколы
SCADA	Централизованные	Центральный узел	Жесткие	Дорогие	Низкая	Низкая	Собственные
БСС	Децентрализованные	Локальные сенсорные узлы	Гибкие	Сравнительно дешевые	Высокая	Высокая	Различные

Для повышения эффективности процесса мониторинга технических объектов требуется сочетание централизованной архитектуры диспетчерского управления и сбор данных и децентрализованных систем сетевого мониторинга, т.е. интеграция систем класса SCADA и БСС. В ближайшей перспективе ожидается прогресс автономных сенсоров, интегрированных в распределенные системы с интеллектуальными сигнальными процессорами и интеллектуальным регулированием исполнительных механизмов при минимальном потреблении энергии.

В диссертации предлагается концепция интеллектуальной системы мониторинга на базе интеллектуальной среды с распределенной системой восприятия (получения и интерпретация данных) и приобретения знаний.

1.6. Интеллектуальные среды

Понятие «интеллектуальная среда» («интеллектуальное пространство», «интеллектуальное окружение»), введенное в обиход специалистами компании Филипс в 1998 г. [136], характеризуется английскими словосочетаниями Ambient Intelligence (дословно: «окружающий интеллект») и Smart Environments (дословно: «умные среды»), причем родовым термином является Ambient Intelligence (AmI), а под Smart Environments понимают, в первую очередь, технические устройства (сенсоры, исполнительные устройства, компьютерные сети), поддерживающие процессы создания и функционирования этой среды [158, 160].

Сам термин «интеллектуальная среда» служит для обозначения искусственных сред, чувствительных к присутствию людей и реагирующих на это присутствие. При этом различные технические устройства должны естественным образом выполнять функции поддержки людей в их повседневной деятельности благодаря использованию информационных и интеллектуальных технологий, «защитых» в сеть, соединяющие все эти устройства («интернет вещей»). По мере миниатюризации этих устройств, все большей их интегрированности в физическую среду, используемые технологии начинают «растворяться» в этой среде так, что люди будут воспринимать лишь пользовательский интерфейс со средой.

Формирование механизмов управления поведением окружающей микросреды предполагает решение задач распознавания ее индивидуальных и коллективных пользователей, понимания их предпочтений и контекста, прогнозирования поведения.

В искусственной интеллектуальной среде группы различных технических устройств (сенсоры, приводы), «защитые» в сети, которые соединяют все эти

устройства, должны взаимодействовать на основе интеллектуальных технологий. Основные компоненты представлены в виде И-графа на рис. 1.17 [92].

В контексте задач мониторинга объектов инфраструктуры речь идет о расширенной физико-технической среде, в которую встроены гибкие технические устройства, обеспечивающие измерение критических параметров объекта инфраструктуры и характеристик природной среды, интерпретацию результатов измерений и выработку диагностических и прогностических правил, поддержку принятия решений и управления в нештатных ситуациях.

Системное ядро интеллектуальной среды (ЯИС) выражается в виде: ЯИС = распределенная система восприятия параметров физико-технической среды + интеллектуальная система + распределенная система воздействия на физико-техническую среду [109, 110].

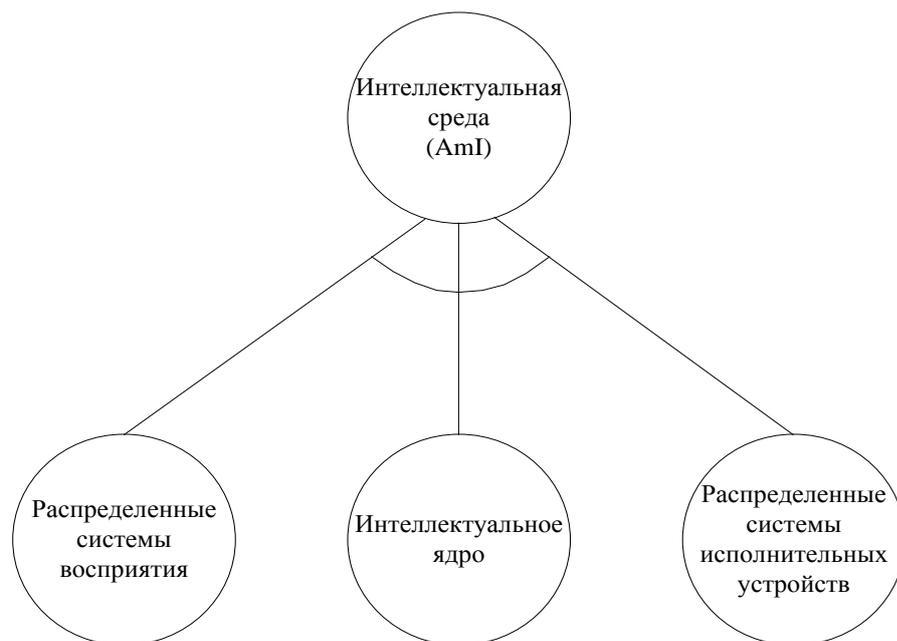


Рис. 1.17. Представление интеллектуальной среды в виде И-графа

Главные технологические средства интеллектуальной среды показаны на рис. 1.18.

Интеллектуальную среду можно представить как когнитивно-регулятивного мета-агента [115]. Здесь под искусственным мета-агентом понимается программный агент метауровня, организующий процессы распределённого восприятия параметров внешней физико-технической среды, обеспечивающий

интеграцию поступающей информации и вырабатывающий решения о способах и средствах воздействия на эту среду.

Вариант архитектуры интеллектуальной среды мониторинга с управляющим мета-агентом представлен на рис. 1.19.

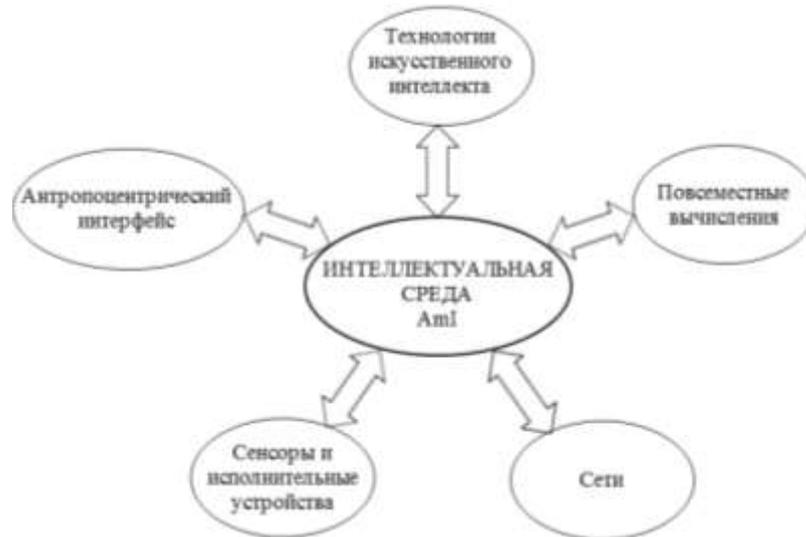


Рис. 1.18. Технологии создания интеллектуальной среды

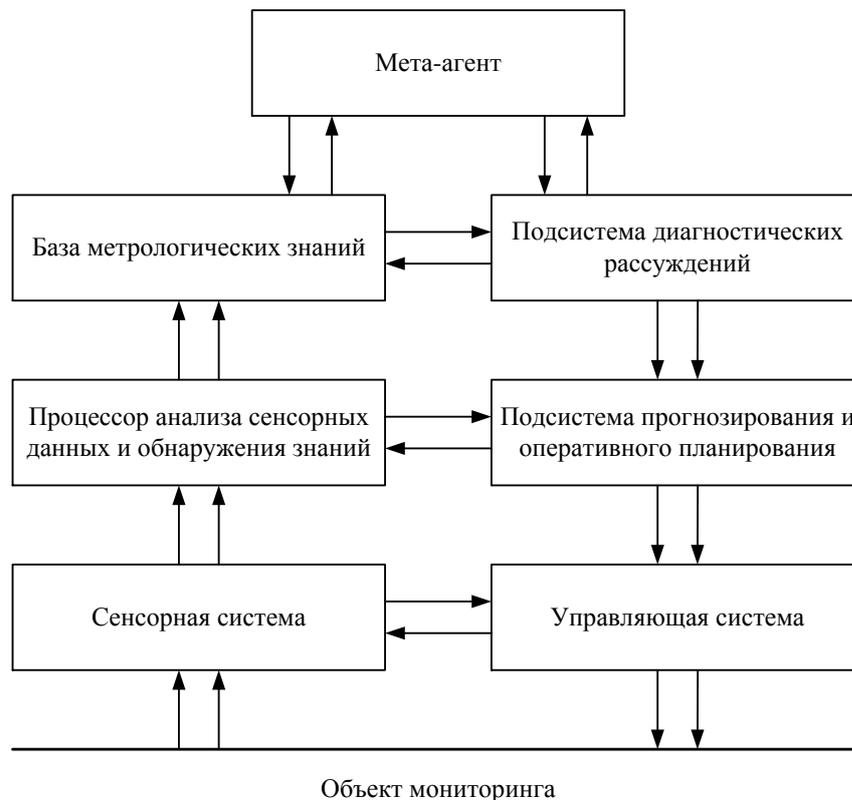


Рис. 1.19. Вариант архитектуры интеллектуальной среды как искусственного мета-агента

В работе предлагается представление интеллектуальной среды для мониторинга сложных технических объектов, изображенное на рис. 1.20.

Ниже приведем цикл инженерии знаний для интеллектуальной среды.

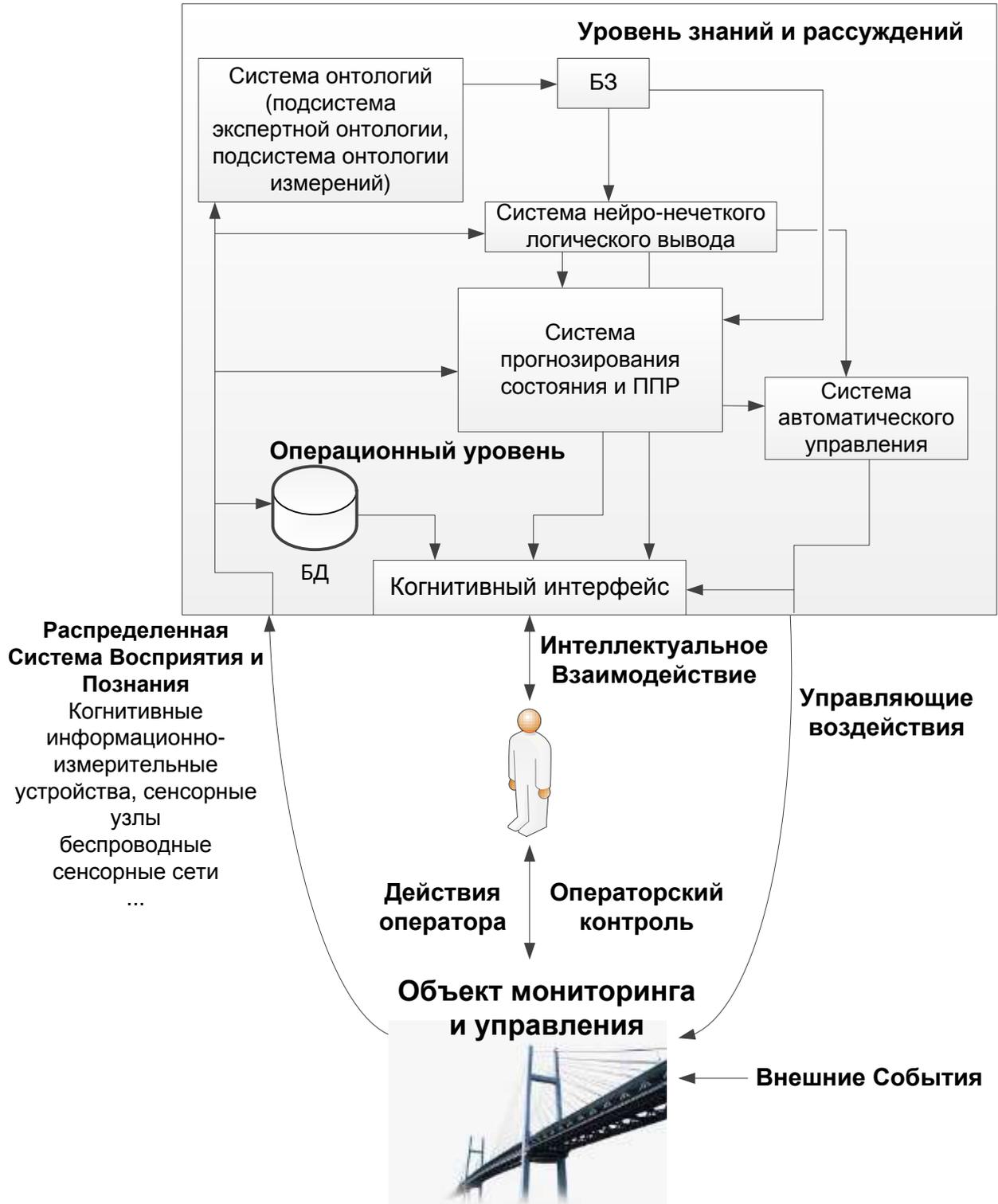


Рис. 1.20. Модель мониторинга технического объекта на основе архитектуры интеллектуальной среды

1.7. Распределенное познание в интеллектуальной среде

1.7.1. Цикл инженерии знаний

В рамках классического символического направления в искусственном интеллекте *интеллектуальной системой* называется *система*, основанная на *знаниях*. Соответственно, разработка любой интеллектуальной системы называется *инженерией знаний* [147, 39, 22]. Цикл инженерии знаний для прикладных интеллектуальных систем включает следующие этапы: 1) приобретение знаний, 2) представление знаний, 3) пополнение знаний, 4) поддержка знаний, 5) передача или использование знаний (рис. 1.21).

Процесс получения знаний от эксперта (или от каких-то других источников знаний) и передачи их экспертной системе называется *приобретением знаний* [66, 74]. Приобретение знаний охватывает извлечение и структурирование, формализацию разнородных знаний, поступающих из различных источников. В общем случае, речь идет о различных способах автоматизированного построения базы знаний на основе диалога двух типов специалистов – эксперта и инженера по знаниям.

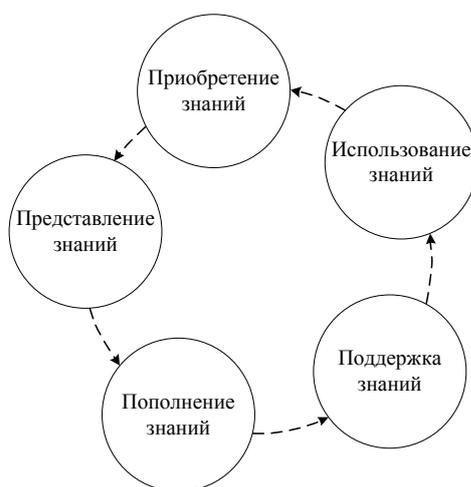


Рис. 1.21. Цикл инженерии знаний для интеллектуальной среды

В качестве источников знаний для построения баз знаний обычно выступают специалисты предметных областей, протоколы рассуждений экспертов, протоколы диагностических игр, руководства и справочники, примеры и прецеденты решения задач, базы данных [23].

На этапе представления знаний решаются задачи, связанные с формализацией и организацией знаний в памяти компьютера. Для этого выделяются различные типы знаний (например, ЧТО-знания, КАК-знания, ПОЧЕМУ-знания), разрабатываются и используются различные модели представления знаний и языки представления знаний. Формализация знаний означает разработку базы знаний на специальном языке представления знаний, который, с одной стороны, соответствует структуре поля знаний [105], а с другой стороны, позволяет реализовать прототип интеллектуальной системы.

Основными классами моделей представления знаний являются сетевые, логические, алгебраические, лингвистические модели знаний. Примерами наглядных сетевых моделей служат семантические сети и карты (ментальные, когнитивные, дорожные и пр.), а также фреймовые системы. Среди логических моделей знаний можно выделить продукционные системы, опирающиеся на логику хорновских дизъюнктов, модели, использующие логику предикатов первого порядка, модели на основе модальных, многозначных, немонотонных логик [11]. Алгебраические модели основаны на алгебраической системе А.И. Мальцева, частными случаями которой являются абстрактные алгебры и реляционные системы. Примерами лингвистических моделей являются модели типа универсального семантического кода В.В. Мартынова и формализмы на базе лингвистических переменных Л. Заде [34].

Пополнение знаний в интеллектуальных системах, связанное с модификацией базы знаний, осуществляется с помощью автоматических процедур логического вывода и аргументации. Логический вывод означает последовательность рассуждений, приводящих от посылок к заключению с использованием аксиом и правил вывода. В случае вывода (рассуждения) на знаниях в качестве посылок используются выражения, хранящиеся в базе знаний. Вывод на знаниях может быть: достоверным, если выражения являются достоверными; правдоподобным, если они снабжены оценками степени истинности или правдоподобия; приближенным (нечетким), если рассуждения содержат приближенные или нечеткие посылки, а также нечеткие правила.

Существуют дедуктивные, индуктивные рассуждения и абдуктивные рассуждения, рассуждения по прецедентам и по аналогии. Дедукцией называется переход от посылок к заключению, опирающийся на логический закон (из истинных посылок всегда следует истинное заключение), тогда как индукция – это метод перехода от частных наблюдений к общим закономерностям (правдоподобный вывод), который не гарантирует истинности заключения. В случае индуктивного вывода, даже если все посылки являются истинными, заключение может быть ложным.

Примеры дедуктивного вывода:

Все вантовые мосты имеют большие пролеты.

Русский мост во Владивостоке – вантовый.

Следовательно, Русский мост имеет большие пролеты.

Все поезда ходят по расписанию.

«Сапсан» есть поезд.

Следовательно, «Сапсан» ходит по расписанию.

Примеры индуктивного вывода:

Русский мост во Владивостоке – вантовый.

Русский мост имеет большие пролеты.

Значит, все вантовые мосты имеют большие пролеты.

«Сапсан» есть поезд.

«Сапсан» ходит по расписанию.

Значит, все поезда ходят по расписанию.

Абдуктивный вывод также является правдоподобным. По сути, речь идёт о познавательной процедуре выдвижения гипотез. Здесь из посылки, и заключения вытекает вторая посылка.

Примеры абдуктивного вывода:

Вантовые мосты имеют большие пролеты.

Русский мост во Владивостоке имеет большие пролеты.

Значит, Русский мост – вантовый.

*Поезда ходят по расписанию.
«Сапсан» ходит по расписанию».
Значит, «Сапсан» есть поезд.*

Рассуждения по аналогии предполагают перенос заключений, полученных на основе ряда посылок, на другую совокупность посылок, которая по некоторому критерию считается схожей с первой (или эквивалентной ей).

Примеры вывода по аналогии:

Октябрьский мост в Череповце – вантовый, как и Русский мост во Владивостоке.

*Русский мост во Владивостоке имеет большие пролеты.
Значит, и Октябрьский мост в Череповце имеет большие пролеты.*

«Ласточка» – высокоскоростной поезд, как и «Сапсан».

«Сапсан» ходит по расписанию».

Значит, «Ласточка ходит по расписанию».

В последние два десятилетия наблюдается устойчивая тенденция интеграции различных моделей знаний (например, фреймово-продукционные или логико-алгебраические модели), а также типов рассуждений. Так в работах В.К. Финна, посвященных ДСМ-методу автоматического порождения гипотез (см., например, [126]), развивается концепция синтеза познавательных процедур, где использована эвристика, состоящая из цепочек рассуждений вида «индукция – аналогия – абдукция».

В диссертационной работе основное внимание уделяется проблеме приобретения знаний для создания интеллектуальной системы мониторинга на основе распределенной архитектуры интеллектуальной среды.

1.7.2. О терминологии в области систем получения знаний

В настоящем подразделе уточним основные термины, связанные с получением знаний из некоторых внешних источников (экспертов) или в результате работы с корпоративной базой данных.

Следуя Г.С. Осипову [66, 67], будем различать термины «извлечение знаний» (Knowledge Elicitation) и «приобретение знаний» (Knowledge Acquisition). *Извлечение знаний* означает выделение в сообщениях, полученных от источника знаний, фрагментов модели мира. Примерами служат выделение каузальных структур в тексте на естественном языке или выделение процедур принятия решений в протоколах «мыслей вслух».

Более общим является термин «*приобретение знаний*», который подразумевает две фазы: 1) выявление знаний из источника; 2) перенос их в компьютерную систему.

Эти два термина, характеризуют экстенсивную форму получения знаний для прикладной интеллектуальной системы, когда знание считается уже существующим и подлежит «горизонтальному переносу» от эксперта к инженеру по знаниям.

Однако, возможна и другая, интенсивная форма получения знаний, когда его добывают в процессе интеллектуального анализа данных (Data Mining), в результате которого происходит выявление скрытых закономерностей, т.е. *обнаружение знаний* (Knowledge Discovery). Задачи интеллектуального анализа данных можно разделить по типу извлекаемой информации: классификация, кластеризация, выявление ассоциаций, выявление последовательностей, прогнозирование.

Сам процесс Data Mining может состоять из двух-трех стадий: свободный поиск и интерпретация данных, прогностическое моделирование, анализ исключений. На стадии свободного поиска осуществляется исследование набора данных с целью поиска скрытых закономерностей.

Вторая стадия Data Mining – прогностическое моделирование – использует результаты работы на первой стадии. Здесь обнаруженные закономерности используются непосредственно для прогнозирования.

На третьей стадии Data Mining анализируются исключения или аномалии, выявленные в найденных закономерностях.

Одним из новых подходов в области Data Mining является Sensor Data Mining – интеллектуальный анализ сенсорных данных, предполагающий формирование общей интерпретации текущих данных, получаемых от системы датчиков, а также синтез суждений и рассуждений, опирающихся на измерения.

1.7.3. Классификация методов приобретения знаний

В книге [22] приведена базовая классификация методов получения знаний, которая затем была расширена в [90] (рис. 1.22).



Рис. 1.22. Общая классификация методов получения знаний

В основе классификации лежат следующие признаки: источники знаний, роли участников процесса извлечения знаний, характер экспертизы, специфика обработки полученных результатов, стратегия навигации по проблемно-ориентированному естественно-языковому тексту.

По источнику знаний выделяют коммуникативные и текстологические методы, а также методы получения знаний из баз данных. Коммуникативные методы охватывают процедуры взаимодействия инженера по знаниям с экспертом. Различают прямые и непрямые, активные и пассивные методы.

К прямым методам приобретения знаний относят такие методы, которые обеспечивают непосредственный перенос знаний в компьютерную систему в процессе диалога с носителем знаний. Среди косвенных методов можно отметить методы анализа репертуарных решеток, многомерного шкалирования, иерархической кластеризации, и пр.

В случае пассивных методов ведущая роль в процессе извлечения знаний принадлежит самому эксперту, а инженер по знаниям наблюдает за его работой, протоколирует рассуждения эксперта во время работы, записывает все то, что эксперт считает нужным ему рассказать.

Напротив, при использовании активных методов инициатива полностью находится в руках инженера по знаниям, который проводит анкетирование, берет интервью, организует диагностические игры. Активные методы подразделяются на индивидуальные и групповые процедуры. К числу групповых методов относят методы мозгового штурма, «круглого стола», синектики, и пр.

Текстологические методы включают методы извлечения знаний из документов (методик, пособий, руководств) и специальной литературы (учебников, справочников, монографий, статей).

Методы получения знаний из баз данных опираются на различные алгоритмы интеллектуального анализа данных и обнаружения знаний [26].

Сделанный в разделах 1.7.2-1.7.3 краткий обзор, в частности, проведенный анализ известных вариантов классификации методов приобретения знаний, показывает, что среди процедур приобретения знаний в рамках разработки интеллектуальных систем практически отсутствуют измерения (основной источник знаний в системах мониторинга [98, 183]).

1.7.4. Эволюция систем приобретения знаний. Гибридная система 3-го поколения

В работе предлагается вариант трехэтапного и трехуровневого представления развития концепций и систем получения знаний на первой стадии инженерии знаний (рис. 1.23). Общая тенденция заключается в переходе от

индивидуальной к коллективной экспертизе, использовании в процессе приобретения знаний как экспертных оценок, так и интерпретаций результатов измерений, разработке гибридных систем приобретения / обнаружения знаний.

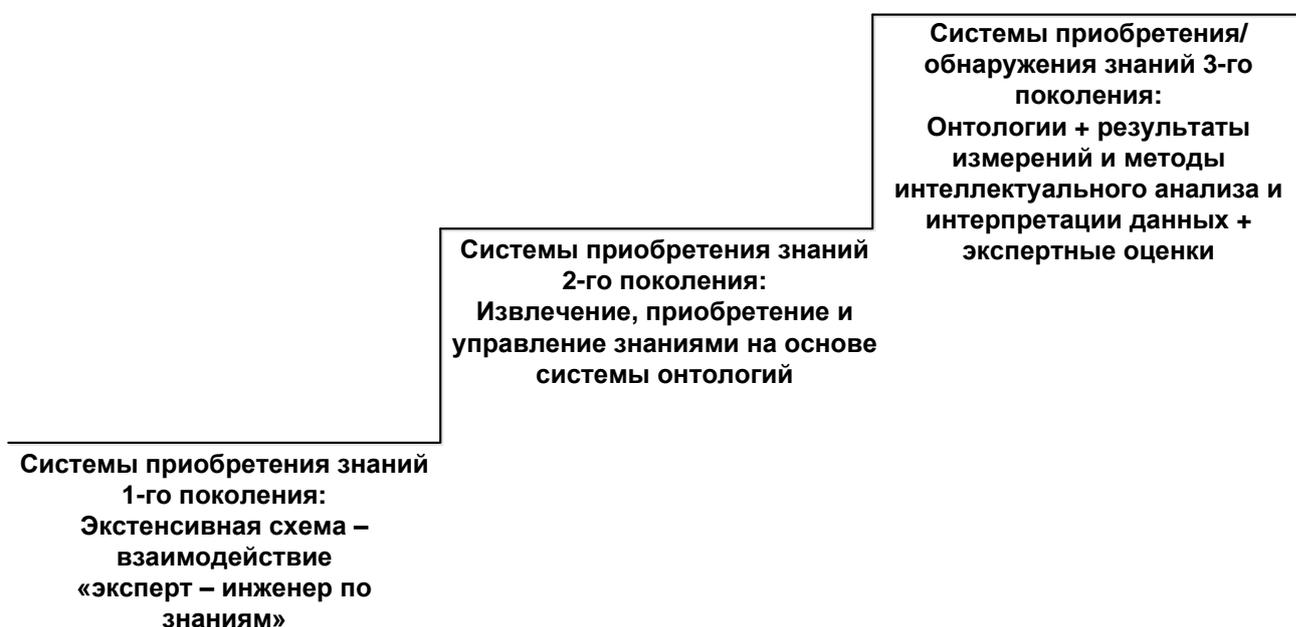


Рис. 1.23. Поколения систем приобретения знаний

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. Наконец, в интегрированных системах приобретения / обнаружения знаний 3-го поколения (рис. 1.24) наряду с онтологиями предлагается широкое использование средств получения сенсорных данных и их последующей обработки с помощью специального процессора интеллектуального анализа данных, а также интерпретации соответствующей информации.

Пусть ONT – онтология и FB – база фактов. Следуя [72], базу знаний будем формально записывать в виде

$$KB = ONT \cup FB. \quad (1.1)$$

В базе знаний KB онтология ONT является стабильной компонентой, а база фактов FB , как правило, переменной. Базу фактов и, соответственно, базу знаний можно зафиксировать с помощью параметра γ , называемого точкой соотнесения

$$KB_{\gamma} = ONT \cup FB_{\gamma}. \quad (1.2)$$

Этим параметром может выступать время, ситуация, контекст, и пр.

Как видно из рис. 1.24, система получения знаний 3-го поколения является гибридной, поскольку она сочетает *экстенсивную форму приобретения* знаний от эксперта с *интенсивной формой* обнаружения знаний путем анализа сенсорных данных и интерпретации полученной информации. В общем случае в формуле (1.1) следует рассматривать систему разнородных онтологий, включающую как онтологию экспертного оценивания, так и онтологии измерений.

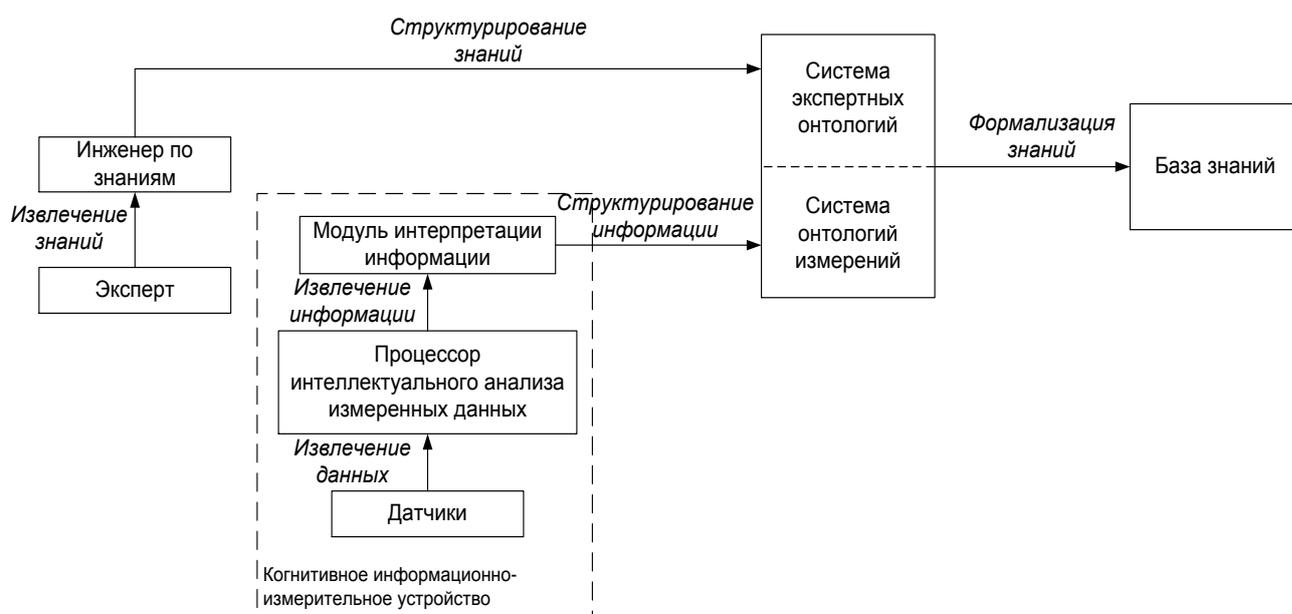


Рис. 1.24. Схема системы приобретения знаний 3-го поколения

В интересах разработки методов и процедур получения знаний с помощью измерений в начале второй главы диссертации изложены основные понятия классической теории измерений и предложена система онтологий измерений, рассматриваемая в контексте интеллектуализации измерений при решении задачи мониторинга мостовых переходов.

1.8. Выводы по главе 1

1. Рассмотрена проблема мониторинга сложных технических объектов, в частности, искусственных сооружений (на примере железнодорожных и автомобильных мостов). Проведен системный анализ мостовых переходов как объектов мониторинга.

2. 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.

3. 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, БСС, и фактическое игнорирование интеллектуальных технологий.

4. В этой связи сделан краткий обзор данных технологий, а именно, SCADA-систем и БСС, а также отечественных интеллектуальных систем мониторинга и поддержки принятия решений.

5. Предложена концепция интеллектуальной системы мониторинга на базе интеллектуальной среды с распределенной системой восприятия (получения и интерпретации данных) и сочетанием как экстенсивных, так и интенсивных методов приобретения и обнаружения знаний.

6. Построена схема цикла инженерии знаний для интеллектуальной среды. Исходя из классификации методов приобретения знаний в интеллектуальных системах, сделан вывод о том, что к настоящему времени практически отсутствуют методы и алгоритмы получения знаний с помощью процедур измерений. Предложена схема СПЗ 3-го поколения.

ГЛАВА 2. ОТ КЛАССИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ И КОГНИТИВНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

2.1. Основные понятия классической теории измерений

В интеллектуальных системах мониторинга измерения являются одним из главных источников знаний, но методы автоматизированного приобретения знаний на основе измерений все еще остаются мало разработанными, поэтому в первых разделах второй главы будут изложены элементы классической теории измерений и рассмотрены ее ограничения.

Под измерением в классическом смысле понимается нахождение значения измеряемой величины опытным путем с помощью специальных технических средств [131]. Это определение содержит следующие главные признаки классических измерений: 1) измерять можно только физические величины (т.е. свойства материальных объектов или процессов реального мира); 2) измерение – это всегда эксперимент, проводимый в условиях неполной определенности; 3) измерение осуществляется с помощью средств измерений – носителей размеров единиц или шкал, причем главную роль играет эталон – средство (или комплекс средств) измерения, обеспечивающее хранение и воспроизведение единицы измерения.

Общие идеи и положения классической теории измерений были разработаны еще в XIX-м века К.Ф. Гауссом (он, в частности, ввел понятие погрешности измерений). Основы формальной теории измерений были заложены в середине XX-го века Д. Крантцем, Р. Льюсом, П. Суппесом, Дж. Зинесом и др. в русле математической психологии (см. [82, 84]). Эта теория опирается на алгебраический подход к измерениям на основе таких понятий как множество, отношение, отображение, морфизм, шкала, эмпирическая и числовая системы с отношениями, и т.п.

В основе математической теории измерений (см. [82, 84]) лежит понятие системы с отношениями в смысле А. Тарского, т.е. берется непустое множество X с определенными на нем отношениями R_1, \dots, R_n

$$(X, R_1, \dots, R_n). \quad (2.1)$$

Классическое понятие шкалы в теории измерений определяется как гомоморфизм (т.е. однозначное отображение, сохраняющее порядок) из эмпирической системы с отношениями (Y, P_1, \dots, P_n) в числовую систему с отношениями (Z, Q_1, \dots, Q_n) :

$$\varphi: (Y, P_1, \dots, P_n) \rightarrow (Z, Q_1, \dots, Q_n), \quad (2.2)$$

где $Z = \mathfrak{R}$. Таким образом, каждому отношению в исходной, плохо структурированной системе соответствует его аналог в другой, хорошо структурированной системе.

Первая основная проблема теории измерений заключается в установлении формальных свойств эмпирических соотношений и операций и доказательстве их изоморфизма соответствующим образом выбранным отношениям и операциям над числами. Вторая основная проблема связана с определением типа шкалы, с помощью которой проводятся измерения [82, с. 9-110].

Тип шкалы определяется свойствами единственности отображения φ . Например, шкала отношений является единственной с точностью до преобразования подобия, т.е. $\varphi(y) = ay, a > 0$. В теории измерений важное место занимает также проблема адекватности, понимаемой как устойчивость относительно допустимых преобразований.

По сути, любая шкала представляет собой отображение с определенными ограничениями (разрешениями и запретами на операции). Например, при отображении порядковой шкалы в числовую шкалу запрещены арифметические операции.

В классической теории измерений введены шесть основных типов шкал (по возрастанию силы): шкала наименований, шкала порядка, шкала разностей, шкала отношений, шкала интервалов, абсолютная шкала (соответствующие свойства отображения φ приведены в таблице 2.1).

Наиболее слабым типом шкал являются шкалы наименований (классификации), в которых числа используются просто как имена объектов.

Шкала наименований опирается на простейшую эмпирическую систему (Y, \sim) , где \sim есть отношение эквивалентности, т.е. $\varphi: (Y, \sim) \rightarrow (\mathfrak{R}, =)$.

В свою очередь, шкала порядка определяется монотонным непрерывным отображением

$$\varphi: (Y, =, <) \rightarrow (\mathfrak{R}, =, <). \quad (2.3)$$

Остальные классические шкалы являются единственными с точностью до групп линейных преобразований.

Таблица 2.1 – Основные типы шкал

Тип шкалы	Вид допустимого преобразования φ
Шкала наименований	$\varphi(y)$ есть любое преобразование
Шкала порядка	$\varphi(y)$ есть любое монотонное преобразование
Шкала интервалов	$\varphi(y) = ay + b, a > 0, b \in \mathfrak{R}$ (линейное преобразование)
Шкала разностей	$\varphi(y) = y + b, b \in \mathfrak{R}$ (преобразование сдвига)
Шкала отношений	$\varphi(y) = ay, a > 0$ (преобразование подобия)
Абсолютная шкала	$\varphi(y) = y$ (тождественное преобразование)

В теории измерений выделяются первичные и производные измерения. Первичные измерения непосредственно связаны с эмпирической системой (Y, P_1, \dots, P_n) , тогда как производные измерения прямо не зависят от эмпирической системы, а соотносятся с другими числовыми представлениями.

2.2. Ограничения классической теории измерений

Любое измерение предполагает определение измеряемой величины, метода измерения и соответствующей процедуры. Данное представление многократно подвергалось обоснованной критике. В частности, оно не отражает связи измерения с моделью объекта измерения; поэтому открытой остается интерпретация результата измерения. Кроме того, часто измерение рассматривается как изолированный процесс, игнорируя вопрос, зачем оно производится. В рамках расширенной трактовки мониторинга состояния мостового перехода измерение производится в интересах формирования

диагностических и прогностических правил, а также принятия решений о возможности или режиме эксплуатации объекта мониторинга.

Измерение – это процесс сопоставления свойств одного объекта (образца или эталона) с аналогичными свойствами другого, измеряемого объекта в определенном пространстве с мерой. По традиции, идущей еще от Гаусса, Льюса и Галантера [82], теория измерений развивалась на стыке с теорией вероятностей и математической статистикой. Поэтому измерение предполагало определение классического пространства с вероятностной (аддитивной) мерой. Условие аддитивности меры полагается обязательным требованием для любого количества измерений. Однако, во многих реальных случаях классическая мера не работает, поскольку требование аддитивности не выполняется. Поэтому более адекватным аппаратом здесь видится одна из теорий, расширяющих вероятностные меры, например, теория свидетельств Демпстера-Шейфера, теория псевдомер на основе треугольных конорм, и т.п. Например, в теории Демпстера-Шейфера вводятся неаддитивные псевдомеры – функции уверенности и правдоподобия, которые являются двойственными. Примеры применения теории свидетельств для решения задач технической диагностики и управления эксплуатационной надежностью рассмотрены в работах Б.В. Палюха [69, 70].

Во многих реальных ситуациях, условие гомоморфизма оказывается излишне жестким, и мы имеем дело с нечеткими отображениями, когда некоторому объекту $y \in Y$ ставится в соответствие (с разными степенями истинности) нечеткое множество объектов $B \subset Z$, описываемое функцией принадлежности μ_B . Примером подобных неклассических определений шкалы как отношения полиморфизма [106] (т.е. одно-многозначного и много-многозначного отношениями) служит нечеткая шкала Д.А. Пospelова [79], где каждой точке шкалы с различной степенью соответствуют несколько объектов (значений). В главе 4 настоящей работы введена нечеткая шкала Бофорта.

Кроме того, измерения различных параметров объекта мониторинга и воздействий среды различаются по степени точности. Некоторые параметры, например, температуру, скорость ветра, можно определить с большей точностью,

а другие (состояние поверхности дорожного полотна, степень обледенения) – с меньшей. Множество факторов, связанных с организацией мониторинга, приводят к постоянным изменениям условий измерения и самого процесса измерения.

Главными ограничениями классической теории измерений, связанными с использованием чисто вероятностного аппарата обработки результатов, являются необоснованность представления неопределенности измерений как случайной погрешности, неоправданность предположения о нормальном законе распределения погрешностей, жесткое задание доверительного интервала, а также неучет априорной информации об объекте измерения [103, 173].

В интересах систематизации идей и методов классической теории измерений и перехода к неклассическим моделям измерений ниже построим систему онтологий измерений.

2.3. Онтологии и онтологический подход к описанию измерений для систем приобретения знаний

2.3.1. Классические определения и формальные модели онтологий

При использовании онтологического подхода к исследованию измерений [100] будем опираться на два классических определения онтологии, предложенные Т. Грубером [154] и Н. Гуарино [155]. Согласно Т. Груберу, под онтологией понимается явная формальная спецификация разделяемой концептуализации, принятой в некотором сообществе [154, 161]. Здесь ключевыми словами являются: «*концептуализация*» – построение абстрактной концептуальной модели явлений внешнего мира путем идентификации ключевых понятий, связанных с этими явлениями, и отношений между ними; «*формальная*» – концептуализация реализуется в машиночитаемом формате, понятном для компьютерных систем; «*явная*» – все элементы и единицы онтологии заданы строго, в явном виде; «*разделяемая*» – принимаемая группой (сообществом) в интересах взаимопонимания и совместной деятельности (коммуникативный аспект онтологий).

Необходимо подчеркнуть, что концептуализация означает обобщенное рассмотрение структуры реального мира, независимо от конкретной ситуации. Так, например, если взять предметную область «Опоры моста», то концептуализацией является полный набор возможных видов опор, а не конкретный вид опор, рассматриваемый в текущий момент времени.

В соответствии с определением Т. Грубера построение онтологии сводится к: 1) выделению базовых понятий предметной области; 2) установлению связей между понятиями; 3) сравнению построенной онтологии с другими онтологиями. Таким образом, формальная модель онтологии представляет собой реляционную систему

$$ONT_1 = \langle C, R \rangle, \quad (2.4)$$

где C – множество понятий, а R – множество отношений на C . Наглядное представление онтологии осуществляется с помощью графа онтологии.

Здесь система (2.4) служит в качестве канонического представления «легкой» онтологии (тезауруса). Наличие в (2.4) нечетких отношений приводит к формированию простейшей нечеткой онтологии [144, 114], изображаемой нечетким графом.

Когда в онтологии присутствуют аксиоматика, функции интерпретации, логические методы и средства выполнения запросов, она становится «весомой» онтологией. Весомые онтологии используют для проведения рассуждений об объектах и задачах предметной области. Для формализации весомых онтологий используют логику предикатов первого порядка, фреймовые модели, дескриптивную логику. Формальное представление «весомой» онтологии предполагает, по меньшей мере, добавление к паре (2.4) множества аксиом AX , т.е.

$$ONT_{1*} = \langle C, R, AX \rangle. \quad (2.5)$$

По Н. Гуарино, онтология – это логическая теория, которая задает в явном виде концептуализацию [155]. Иными словами, онтологию следует строить как логическую модель, которая состоит из словаря терминов, образующих

таксономию, их определений и атрибутов, а также связанных с ними аксиом и правил вывода.

При этом в процессе концептуализации важное место занимает переход к интенциональным (концептуальным) отношениям [156]. В отличие от обычных отношений, определяемых на множестве C , концептуальные отношения задаются в пространстве $\langle C, W \rangle$, где W – множество возможных миров. Определим n -арное концептуальное отношение в $\langle C, W \rangle$ с помощью функции из W во множество всех n -арных отношений на C

$$f^n: W \rightarrow 2^{C^n}. \quad (2.6)$$

Тогда формальная модель онтологии по Н. Гуарино есть тройка

$$ONT_2 = \langle C, W, F \rangle, \quad (2.7)$$

где C – множество понятий, W – множество возможных миров, а F – множество функций, задающих концептуальные связи в пространстве $\langle C, W \rangle$.

В последнее время все большую популярность приобретает коллективная разработка онтологий, подтверждением чего служат методология NeOn разработки онтологических сетей [177], метамодель C-ODO для OWL, отечественный проект КОМЕТ [21], а также появление на рынке таких программных средств как Co-Protégé, Web Protégé, OntoEdit и др. В этом ракурсе важную роль играют различные операции управления онтологиями (Ontology Management), такие как соединение, слияние, выравнивание и пр. По сути, они сводятся к различным вариантам пересечения, объединения, отображения графов онтологий.

Поэтому в диссертации развивается формальное представление легкой онтологии в виде алгебраической системы [114]

$$ONT = \langle C, R, O \rangle, \quad (2.8)$$

где C – множество понятий (объектов онтологии), R – множество отношений между понятиями, O – множество операций над понятиями и/или отношениями. В частном случае, имеем двухосновное алгебраическое представление

$$ONT^* = \langle C, AT, R, O \rangle, \quad (2.8^*)$$

когда в систему (2.8) добавляется множество атрибутов (свойств) AT .

2.3.2. Восходящее и нисходящее проектирование онтологий

В теории систем проводят различие между однородными элементами и неоднородными единицами системы. Элементом называется простейшая неделимая часть системы, тогда как единицей считается минимальная часть системы, сохраняющая ее свойства как целого. Среди элементов онтологий можно указать классы, экземпляры, атрибуты, отношения, аксиомы, роли, ограничения и пр. В то же время онтологическими единицами являются отношения «сущность – связь», «понятия – роли» (в дескриптивной логике), «субъект – предикат – объект» (в языке RDF), «объект – атрибут – значение», «объект – атрибут – значение – уверенность» и т.п.

Чаще всего построение единственной, непротиворечивой и согласованной онтологии предметной области оказывается невозможным. Для упрощения процессов разработки, интеграции и повторного использования онтологий применяется модульный подход и формируется иерархия онтологий. При этом различают восходящее и нисходящее проектирование онтологий [72]. Восходящее проектирование онтологий предполагает предварительное определение наиболее конкретных классов с их последующим объединением в более общие классы и категории [176]. Его практическая реализация в полуавтоматическом режиме связана с выбором некоторого исходного «предонтологического» материала (тезаурусов, концептуальных моделей данных, Excel-таблиц, фреймовых систем и т.п.) и переводом его на соответствующий язык описания, например, OWL. Речь идет о построении онтологических структур на базе элементарных понятий и отношений между ними. Восходящий подход к разработке системы онтологий, изложенный в пионерской работе Н. Гуарино [156], подразумевает создание вначале онтологии предметной области с последующим переходом к онтологиям задач и приложений, а также к онтологиям верхнего уровня (см. [101] и рис. 2.1 а).

Напротив, нисходящий подход к разработке онтологий начинается с определения наиболее общих понятий, инвариантных относительно предметной области, а затем осуществляется их последовательная детализация. Здесь, в первую очередь, определяется метаонтология, задающая свойства как онтологической системы в целом, так и ее отдельных онтологий в частности (рис. 2.1 б).

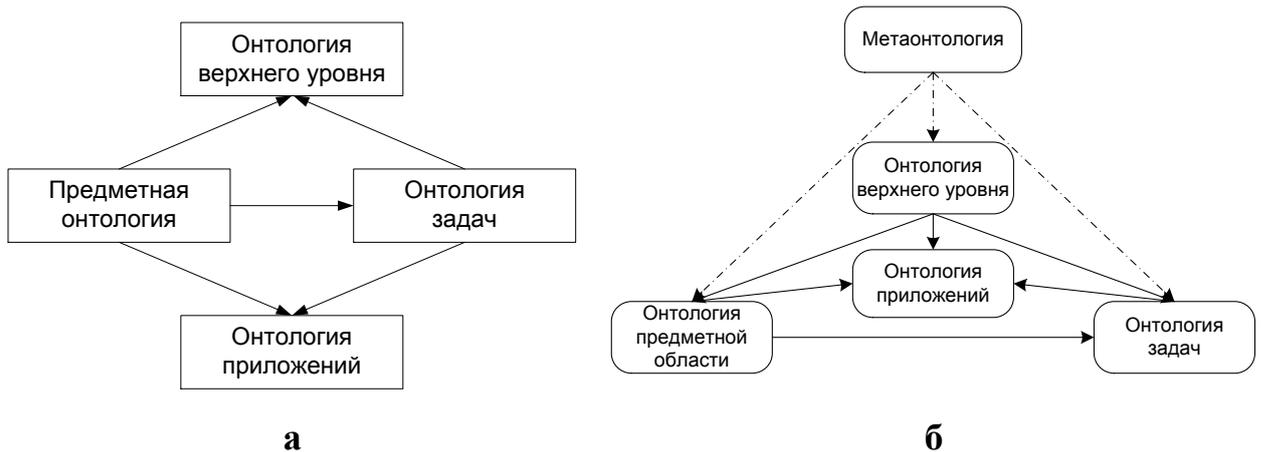


Рис. 2.1. Примеры иерархических систем онтологий: восходящее (а) и нисходящее (б) проектирование

Метаонтология призвана обеспечить как точную, математическую спецификацию онтологий, установление взаимосвязей между ними, так и формальный анализ их свойств. Она определяет методы и формы представления, интеграции и слияния различных онтологий, устанавливая соответствие между характером используемой информации (уровнем неопределенности) и выбираемым языком ее описания. Именно, метаонтология определяет выбор онтологий верхнего и нижнего уровней.

Отсюда видно, что в общем случае метаонтология не сводится к онтологии верхнего уровня, понимаемой как онтология, не зависящая от предметной области и обеспечивающая инвариантные (повторно используемые) концептуально-реляционные конструкции для онтологий нижнего уровня. Далее будем использовать смешанный V-образный подход к разработке иерархической системы онтологий измерений на основе идей гранулярной метаонтологии [41] и

набора гранулярных онтологий верхнего уровня, а также сингулярных онтологий нижнего уровня с последующим восходящим переходом к весомым онтологиям.

2.4. Грануляция информации и гранулярные метаонтологии

2.4.1. Понятие гранулы и грануляция информации

Термин «гранула» происходит от латинского слова *granum*, что означает «зерно» и описывает мелкую частицу реального или идеального мира. Понятие «гранула» и термин «грануляция информации» ввел Л. Заде в 1979 г. [190]. Однако прямым предшественником теории грануляции может по праву считаться основатель мереологии Ст. Лесьневский.

Мереологией (партономией) называется учение о частях целого (теория частей и границ). Первоначально мереология понималась как вариант неклассической теории множеств. Как известно, в классической теории множеств используются два важных постулата – постулат принадлежности и постулат различимости элементов, а также понятие пустого множества. В отличие от этого мереология: 1) делает акцент на целостности множества как «коллективного класса»; 2) основана на единственном отношении «быть частью»; 3) обходится без пустого множества.

В настоящее время мереологию рассматривают, в первую очередь, как прототип «весомой» онтологии, которая опирается на следующие аксиомы:

1. Любой предмет есть часть самого себя (аксиома рефлексивности).
2. Две различные вещи не могут быть частями друг друга: если P – часть предмета Q , то Q не есть часть предмета P (аксиома антисимметричности).
3. Если P есть часть предмета Q , а Q – часть предмета R , то P есть часть предмета R (аксиома транзитивности).

Таким образом, отношение «часть-целое» есть отношение нестрогого порядка. Его построение является одним из главных способов грануляции информации.

Гранула в широком смысле задается подмножеством множества, подинтервалом интервала, подграфом графа [141]. Под *гранулой* (в смысле Л. Заде [190]) понимается группа объектов, объединяемых отношениями неразличимости, эквивалентности, подобия или функциональности, т.е. симметричными, рефлексивными и транзитивными отношениями. В случае нечетких гранул достаточными условиями гранулярности являются свойства симметричности и рефлексивности, которые определяют нечеткие отношения сходства или толерантности.

В частности, информационные гранулы – это сложные единицы информации, которые образуются в процессе сжатия данных и извлечения знаний. Типичные интерпретации гранул – это часть целого, область неопределенности, разбиение, окрестность, обобщенное ограничение (см. рис. 2.2 и 2.3).

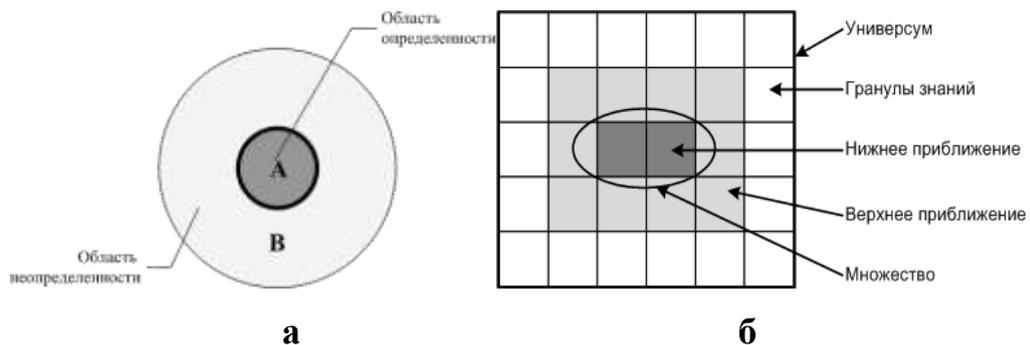


Рис. 2.2. Примеры четких гранул: а) вложенное множество с областями определенности A и неопределенности $B \setminus A$; б) приближенное множество

Отсюда видно, что с помощью понятия «гранула» можно отобразить уровень абстрагирования-конкретизации при развертывании оценочных и информационно-измерительных процессов. В диссертации термин «Грануляция» охватывает как операции абстрагирования (формирование более крупных гранул из мелких гранул), так и операции конкретизации (формирование более мелких гранул из крупных).

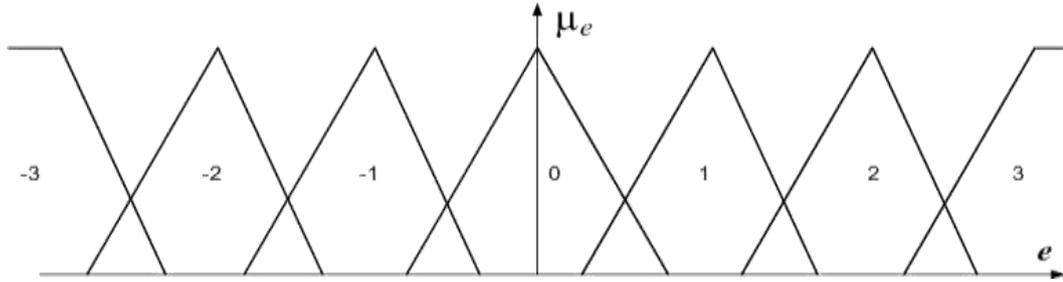


Рис. 2.3. Пример нечетких гранул: терм-множество лингвистической переменной, описанное с помощью треугольных (за исключением крайних термов) функций принадлежности

По Л. Заде общий принцип грануляции информации таков: для эффективной работы с неточной информацией следует выбрать наиболее крупные гранулы (наивысший уровень абстрагирования) в соответствии с допустимым уровнем неточности. Смысл термина «гранулярный» легко пояснить путем его противопоставления слову «сингулярный» (одноэлементный).

Существуют различные классификации гранул: физические и концептуальные гранулы, четкие и нечеткие гранулы, одномерные и многомерные гранулы, гранулы информации и гранулы знаний, временные и пространственные (псевдофизические) гранулы и пр. [114].

Возможны два встречных подхода к построению гранул: нисходящее и восходящее конструирование. В случае нисходящего процесса за основу берется универсальное множество A , которое разбивается на семейство подмножеств: $A=A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4$, где $A_i \cap A_j = \emptyset$, $i, j = 1, \dots, 4$ (рис. 2.4 а), причем каждое подмножество в дальнейшем разделяется на более мелкие подмножества. При восходящем подходе исходное подмножество объектов группируется в гранулу, а затем более мелкие гранулы объединяются в более крупные. Например, первоначальная гранула образуется как окрестность точки $A_\varepsilon = \{x \in X \mid d(x, y) < \varepsilon\}$ (рис. 2.4 б), а затем строится предтопология системы окрестностей (см. [112]). Оба этих подхода отражают иерархическую природу как гранул, так и самого процесса грануляции.

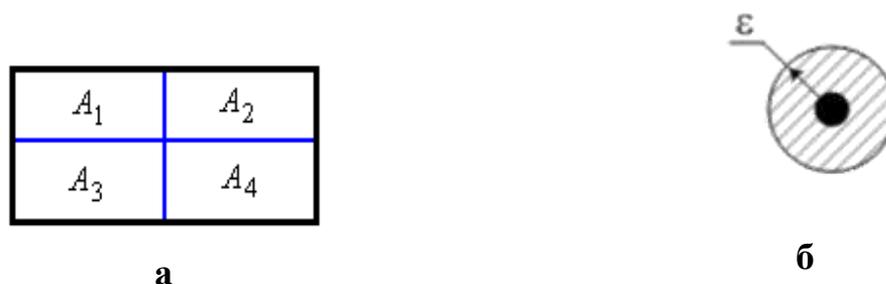


Рис.2.4. Иллюстрация нисходящего и восходящего проектирования гранул:
а) разбиение множества; б) окрестность точки

2.4.2. Гранулярная метаонтология и онтология верхнего уровня

Когда говорят о метаонтологии, речь идет непосредственно о моделях или языках представления онтологий, например, алгебраические или реляционные системы, когнитивные фреймы или дескриптивные логики, унифицированный язык моделирования *UML* или язык веб-онтологий *OWL*, и пр. В общем случае можно выделить *сингулярные* и *гранулярные метаонтологии*.

Сингулярная метаонтология задает либо один язык, либо семейство языков, ориентированных на работу с количественными, однозначными, четкими данными. Например, классические графы или деревья. Напротив, гранулярная метаонтология определяет конкретный набор взаимосвязанных моделей и языков представления информации, среди которых имеются средства, ориентированные на работу с качественной, неточной, неполностью определенной, нечеткой информацией. Прimitивами гранулярных языков могут быть интервалы, покрытия, окрестности.

В зависимости от выбора примитивов имеем два типа моделей онтологий: а) точные, сингулярные модели, где понятия онтологий (явно или неявно) мыслятся как множества точек; б) приближенные, гранулярные модели, в частности, модели, связанные с интервалами и отношениями между ними.

Далее будем строить гранулярные онтологии верхнего уровня на примере онтологий неопределенности измерений с помощью нечетких переменных, в частности, нечетких интервалов.

2.5. Иерархическая система онтологий измерений

Развиваемая в диссертационной работе V-образная методика проектирования системы онтологий измерений предполагает выполнение следующих основных шагов: 1) выбор метаонтологии измерений; 2) формирование на ее основе базовой онтологии (системы онтологий) верхнего уровня; 3) определение состава онтологий нижнего уровня и взаимосвязей между ними; 4) построение конкретных онтологий нижнего уровня; 5) оценка разработанных онтологий;

Здесь онтологиями нижнего уровня являются: онтология измерений как предметной области, онтология измеряемых свойств, онтология средств измерений (сенсорных сетей), онтология приложений измерений к проблеме мониторинга (рис. 2.5) [49].

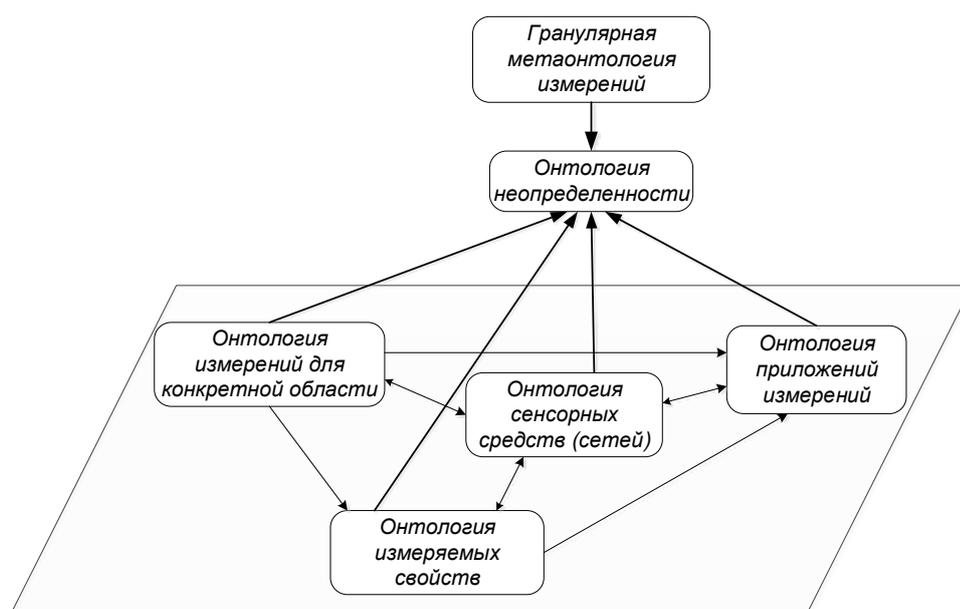


Рис. 2.5. Вариант иерархии онтологий измерений

В основе теории измерений лежат знания о видах, методах, средствах, результатах, условиях проведения измерений. В контексте решения задачи мониторинга главную роль играют прямые, совместные, динамические измерения [100, 164].

Для представления онтологий удобно использовать такое наглядное средство как ментальные карты (Mind Maps). Основная идея ментальных карт

заключается в автоматическом преобразовании фрагментов текста в графическую форму.

Такая карта обладает следующими особенностями: а) ее структура имеет форму куста; б) объект изучения находится в центре изображения (что соответствует фокусу внимания); в) основные темы, связанные с объектом изучения, расходятся от центра в виде ветвей, которые поясняются ключевыми словами; г) вторичные идеи также ветвятся; д) ветви формируют связную узловую структуру. На рис. 2.6 дано представление онтологии сенсорных сетей как средств измерения в виде ментальной карты. Из нее видно, что тематическая область «сенсорные сети» раскрывается через понятия-классы «сенсоры», «сети», «среда» и «цели применения» [164].

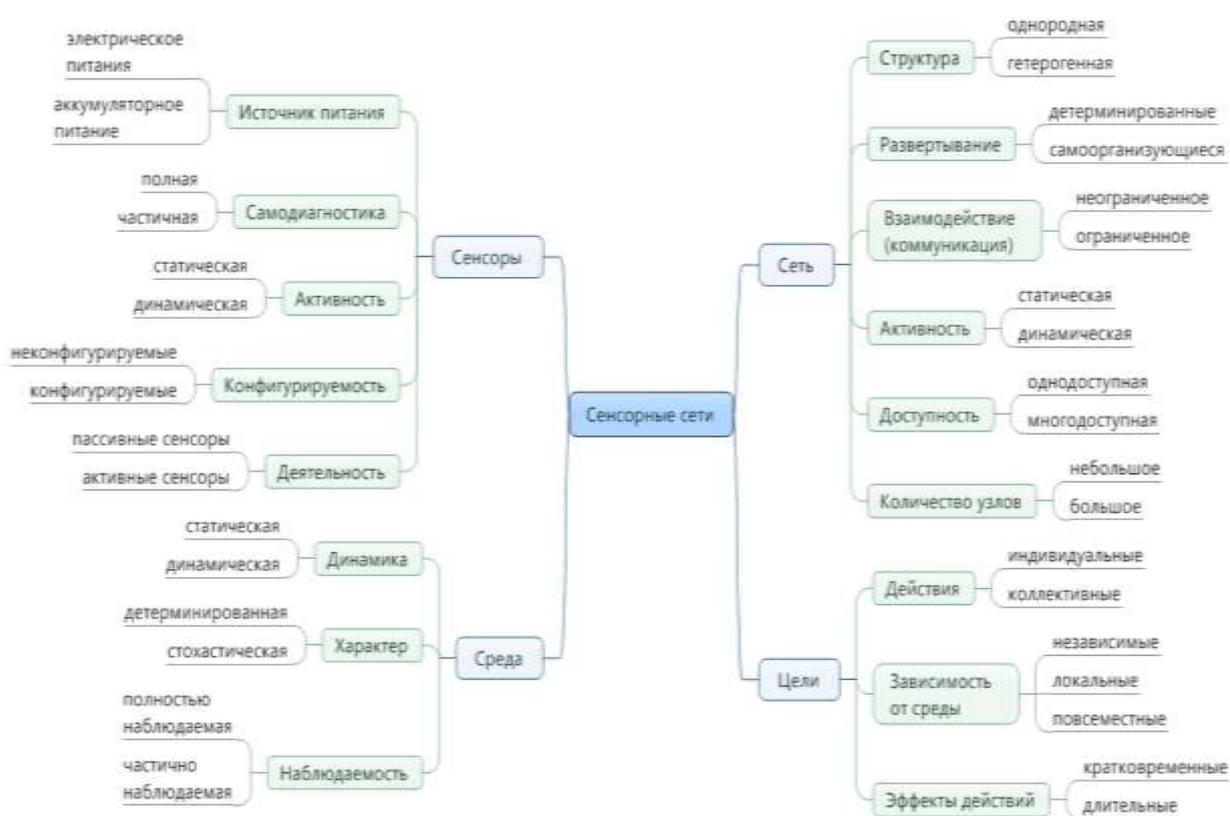


Рис. 2.6. Наглядное представление онтологии сенсорных сетей

В [33] нами построены ментальные карты для двух онтологий нижнего уровня – онтологии измерений (рис. 2.7) и онтологии измеряемых свойств (рис. 2.8).

В качестве онтологий верхнего уровня для измерений можно выбрать онтологическую систему QUDT (Quantities, Units, Dimensions and Data Types Ontologies) [162] и функциональную онтологию наблюдений и измерений В. Куна [166]. Далее главное внимание будет уделено еще одной онтологии верхнего уровня – онтологии неопределенности измерений.



Рис. 2.7. Ментальная карта «онтология измерений»

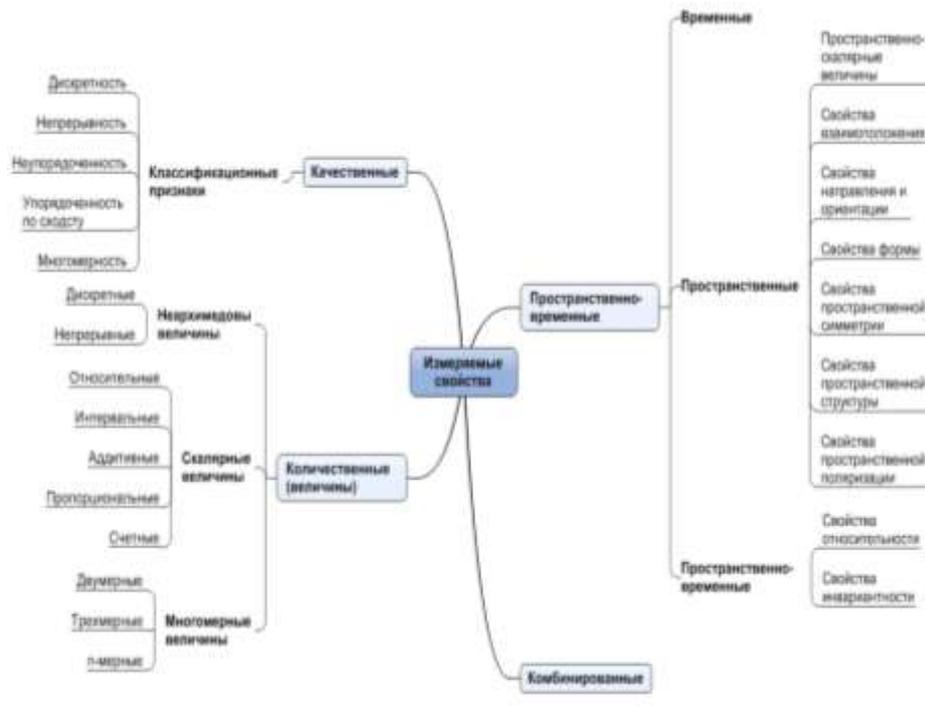


Рис. 2.8. Ментальная карта «онтология измеряемых свойств»

(построена по материалам из [30])

2.6. Неопределенность измерений

Любое измерение – это эксперимент, проводимый в условиях неполной определенности. Поэтому оно всегда имеет некоторую ошибку. Результаты измерения зависят от измерительной системы, методики измерения, квалификации человека-оператора, внешних условий и других факторов. Таким образом, старое представление об измерении, согласно которому результат измерения может иметь точное числовое значение, во многом изжило себя. В международных и отечественных стандартах еще в 1990-е годы термин «точность измерения» или «погрешность измерения» был заменен более общим понятием «неопределенность измерения» (см. [157, 27, 28]). Неопределенность измерения – это общее понятие, связанное с любым измерением. Учет неопределенности измерения позволяет сопоставлять результат измерения с установленными нормативами, проводить диагностику текущего состояния объекта мониторинга и прогнозирование его будущего поведения, принимать практически важные решения и управлять возникающими рисками.

В [51, 129] проведены аналогии между классической теорией измерений и концепцией неопределенности измерений. В таблице 2.2 приведены терминологические отличия концепции неопределенности от классической теории точности измерений.

Однако речь идет не только о чисто терминологических различиях, но о совершенно новом представлении об измерениях. В соответствии с [28, с.2], «абсолютно точных измерений не существует».

В новом ГОСТ Р 54500.3-2011 неопределенность понимается как принципиальное отсутствие точного знания конкретного значения измеряемой величины. Результат измерения есть аппроксимация измеряемой величины. Он не может быть выражен единственным значением и характеризуется распределением на доверительном интервале.

Неопределенность измерения – это ключевой неотрицательный параметр, связанный с результатом измерения, который характеризует разброс значений

измеряемой величины. В общем случае, нельзя установить, насколько точно известно значение измеряемой величины, а можно указать лишь степень уверенности, что оно известно. Напротив, в [157] неопределенность трактуется как «сомнение в достоверности результата измерения».

С одной стороны, при разработке онтологии неопределенности мы стремились опираться на материалы ГОСТ Р 54500.3-2011 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения» (см. также [157]). С другой стороны, в силу вполне очевидных ограничений классической стохастической методологии интерпретации результатов измерений, мы использовали более общий подход к формализации неопределенности в измерениях, связанный с понятиями гранулы и грануляции измерительной информации [190, 173, 111] и основанный на гранулярной метаонтологии измерений [114].

Таблица 2.2 – Отличие концепции неопределенности от классической теории точности измерений

Классическая теория	Концепция неопределенности
Погрешность результата измерения	Неопределенность результата измерения
Случайная погрешность	Неопределенность типа А
Неслучайная погрешность	Неопределенность типа Б
СКО (стандартное квадратичное отклонение) погрешности результата измерения	Стандартная неопределенность результата измерения – неопределенность, выраженная в виде стандартного отклонения.
Доверительные границы результата измерения	Расширенная неопределенность результата измерения – величина, задающая интервал вокруг результата измерения, в пределах которого, как ожидается, находится большая часть распределения значений, которые могут быть приписаны измеряемой величине.
Доверительная вероятность	Вероятность охвата (покрытия) - вероятность, которой, по мнению экспериментатора, соответствует расширенная неопределенность результата измерений. Вероятность охвата выбирается с учетом информации о виде закона распределения неопределенности.
Квантиль (коэффициент) распределения погрешности	Коэффициент охвата (покрытия) -коэффициент, зависящий от вида распределения неопределенности результата измерений и вероятности охвата и численно равный отношению расширенной неопределенности, соответствующей заданной вероятности охвата, к стандартной неопределенности.

В диссертационной работе неопределенность понимается как принципиальное отсутствие точного знания конкретного значения измеряемой величины. Иными словами, результат любого измерения величины x имеет два компонента: измеренное значение x_0 и его неопределенность u_x . В общем случае имеем

$$(x_0 \pm u_x) \text{ тн}, \quad (2.9)$$

где тн – единица измерения.

2.6.1. Классификация видов неопределенности

Для описания различных видов неопределенности измерений воспользуемся известной классификацией видов неопределенности А.Н. Борисова [6], которую модифицируем применительно к датчикам сенсорной сети (рис. 2.9).

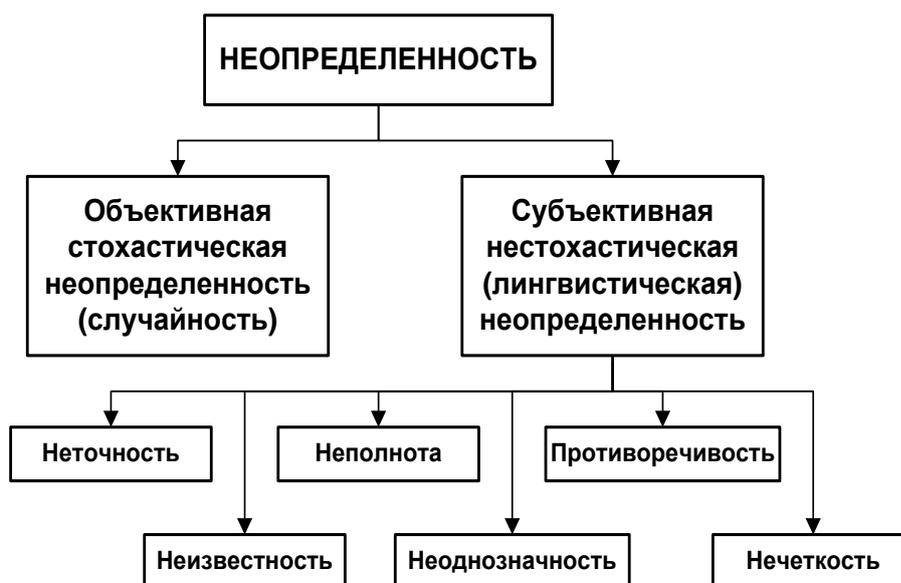


Рис. 2.9. Классификация видов неопределенности в измерениях

Неточное значение есть величина, которая может быть получена с ограниченной точностью, не превышающей некий порог, определяемый природой соответствующего параметра. Так, в любом измерении существуют неустранимые погрешности, зависящие от неточности датчиков. Например, акустический дальномер определяет расстояние до предметов в пределах 0,2-80 м с погрешностью около 2%.

Неизвестное значение предполагает потерю связи с датчиком или неисправность измерительного элемента датчика.

Неполнота поступающей информации предполагает, что в момент переговоров часть датчиков сенсорной сети может быть недоступна.

Неоднозначность предполагает наличие распределения (возможности, вероятности, уверенности, правдоподобия, и пр.). Например, «с вероятностью 0,9 два тензометрических датчика, измеряющие напряжение одной и той же конструкции, смогут обнаружить отказ конструкции».

Противоречивое значение предполагает наличие нескольких однородных датчиков, измеряющих одну и ту же величину. При интерпретации значений сигналов от нескольких датчиков возможно возникновение противоречия, если датчики выдают значения, связанные контрадикторным отношением. Например, два тензометрических датчика, измеряющие напряжение одной и той же конструкции, показывают значения, интерпретируемые по первому датчику как «норма», а по второму датчику как «отказ».

Наконец, *нечеткое* (точнее, *лингвистическое*) значение приписывают термам лингвистических переменных. Например, «состояние конструкций моста *хорошее*».

Отсюда видно, что в процессе измерений с помощью сенсорных сетей имеется значительное число нестохастических факторов неопределенности.

Эта же идея разделения неопределенности на стохастическую и нестохастическую нашла свое отражение в ГОСТ Р 54500.3-2011. В нем различают неопределенность типа *A* (классическая стохастическая неопределенность, которую оценивают по плотности распределения вероятности) и неопределенность типа *B* (нестохастическая неопределенность, которую можно выражать любым невероятностным распределением, например, нечеткой переменной, нечетким интервалом, нечетким числом). Будем учитывать это в онтологии неопределенности [165].

Здесь для простоты будем описывать неопределенность типа *A* классическим термином «погрешность измерения», которая подразделяется на

случайную и систематическую. Систематическая погрешность проявляется в том, что полученное значение измеренной величины содержит сдвиг (вследствие плохой калибровки измерительного прибора). В свою очередь, случайная погрешность характеризует ситуацию, когда при повторном измерении полученное значение измеряемой величины будет отличаться от предыдущего (случайность заключается именно в том, что последующие значения измеряемой величины нельзя получить по предыдущим значениям).

В свою очередь, неопределенность типа *B* (точнее, комплекс видов нестохастической неопределенности измерений – см. рис. 2.10) складывается из таких факторов как: а) неполное или неточное определение измеряемой величины, например, отсутствие обоснования значения неопределенности u_x в формуле 2.9; б) нерепрезентативность выборки; в) открытость, динамика процедуры измерения, ее зависимость от целей, среды, и имеющегося инструментария; г) ограничения по разрешающей способности измерительных приборов; д) неточное и неполное знание условий среды и их влияния на результат измерения.

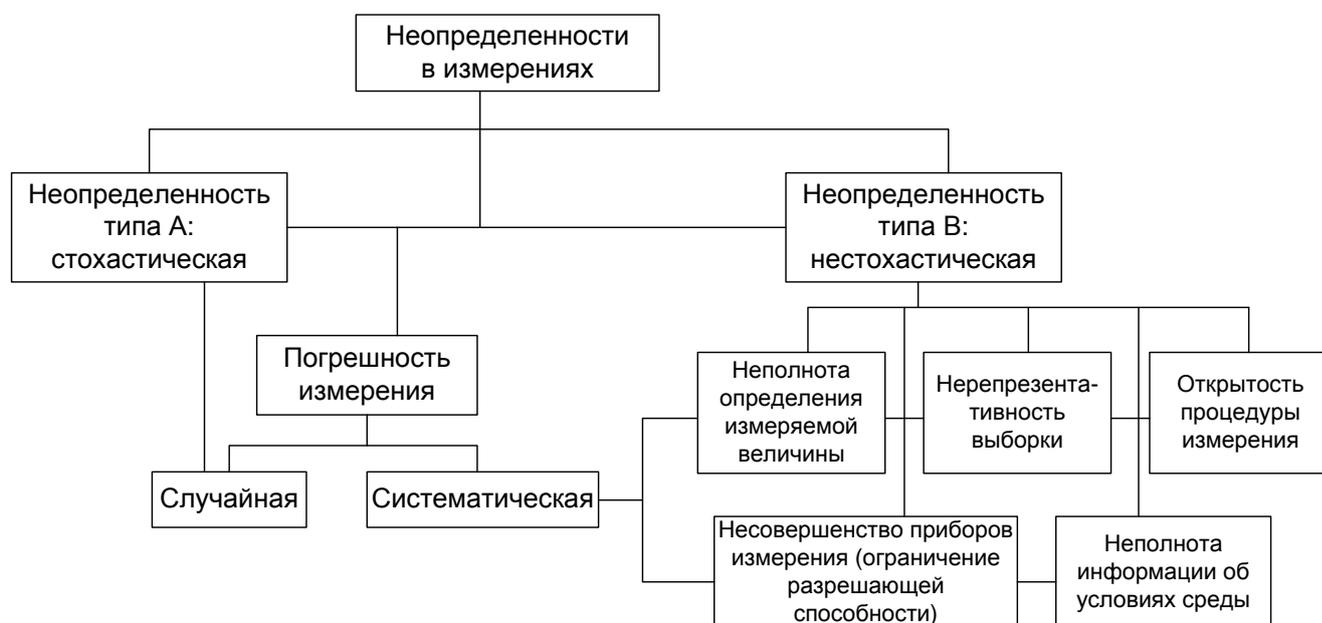


Рис. 2.10. Фрагмент онтологии видов неопределенности в измерениях

В целом, можно говорить о неопределенности всех компонентов информационно-измерительного процесса в рамках проблемы мониторинга: неполноте и неточности экспериментальной информации об объекте и условиях измерения; сложных, многоуровневых и динамических структурах объектов измерения, допущениях и приближениях, относящихся к методике измерения (измерительной процедуре).

2.6.2. Формальные методы работы с неопределенностями типа А и Б

Формальные методы работы с неопределенностями различных видов были разработаны в работах Л. Резника [173] и Г.Н. Солопченко [103]. На рис. 2.11 представлены гранулы в измерениях, а именно, примеры однородных (равномерных), нормальных и треугольных распределений.

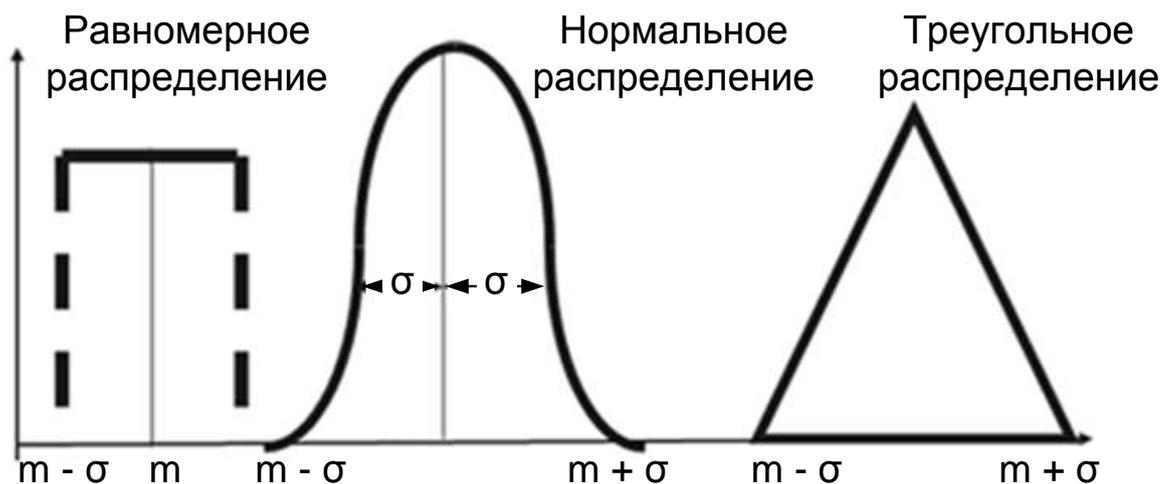


Рис. 2.11. Типы вероятностных распределений

Рассмотрим каноническую вероятностную модель измерения (с неопределенностью типа А) – см. рис. 2.12. Предположим, что входная величина X_i является температурой t и что ее неизвестное распределение является нормальным распределением с ожиданием $\mu_t = 100^\circ\text{C}$ и стандартным отклонением $\sigma = 1,5^\circ\text{C}$. Тогда функция плотности вероятности будет иметь вид

$$p(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu_t}{\sigma} \right)^2 \right].$$

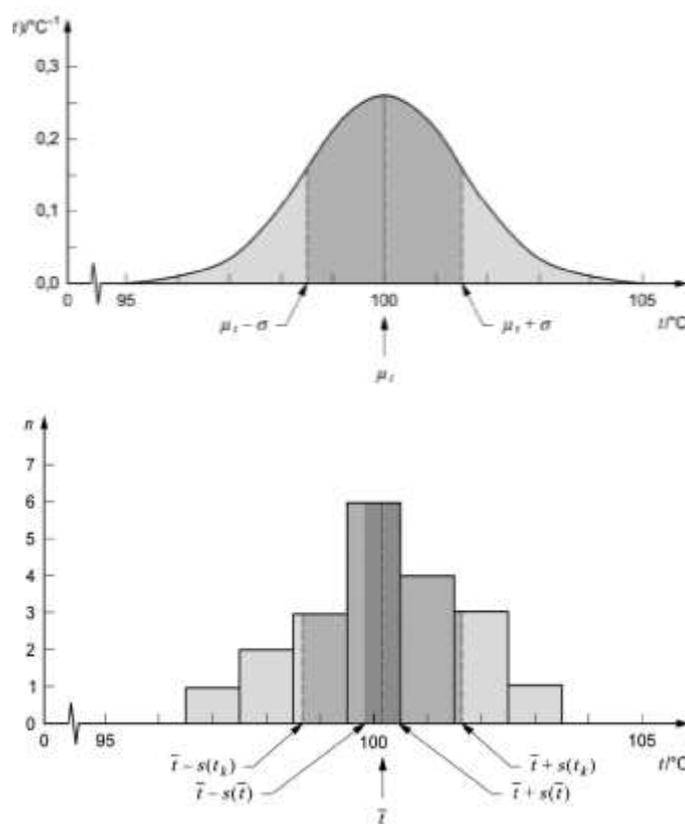


Рис. 2.12. Пример канонической вероятностной модели измерения

Что касается неопределённости типа B , ее представляют с помощью нечеткого интервала с α -срезами (рис. 2.13). Л. Резник и Г.Н. Солопченко предложили определять измеряемую величину с помощью функции принадлежности нечеткого интервала, где каждое значение функции принадлежности есть степень возможности (уверенности). Здесь функция принадлежности может не быть нормальным распределением. Нечеткий интервал можно интерпретировать как вложенную последовательность интервалов.

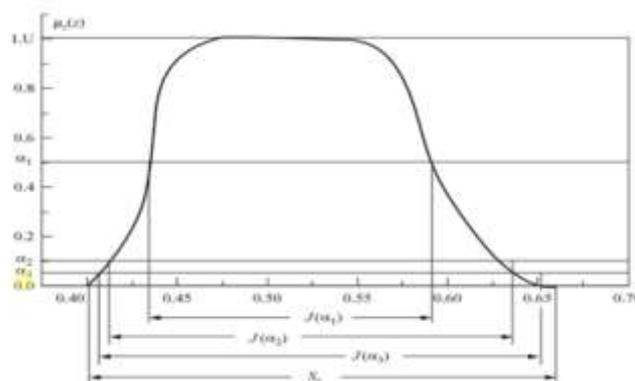


Рис. 2.13. Представление неопределенности типа Б с помощью нечеткого интервала с α -срезами

2.7. Измерения, оценки и нормы

Измерения часто противопоставляются *оценкам*, т.е. экспертным суждениям, устанавливающим абсолютную или относительную (сравнительную) ценность некоторого объекта. В задаче мониторинга состояния моста оценки опираются на результаты измерений, а рассуждения основаны на взаимосвязях между правдоподобными суждениями и оценками, поэтому вместо противопоставления ниже будут рассмотрены варианты сочетания измерений и оценок в сенсорных системах нового типа.

Сходство между процессами измерения и оценивания связано с наличием эталонов. В первом случае эталоны носят характер единицы измерения, а во втором случае выбираются эталонные объекты. В отличие от истинностных суждений, основанных на соответствии между объектом и его описанием (первичен объект и модель является дескриптивной), измерения и оценки формируются на базе эталонов или норм соответственно (первична норма, которую предписывается выполнять объектам). На рис. 2.14 показана взаимодополняемость описаний и предписаний в терминах истины и полезности.



Рис. 2.14. Иллюстрация дихотомии «описание-предписание» в русле противопоставления истины и полезности

Оценки обычно выражаются с помощью *аксиологических* (оценочных) *модальностей*: как абсолютных («хорошо», «плохо», «безразлично»), так и относительных («лучше», «хуже», «равноценно»). По Г. фон Вригту [20], связь между абсолютными и относительными оценками может задаваться следующим образом: q – «хорошо», если q – «лучше, чем его отрицание $\neg q$ ». Например, «разрешенное движение по мосту лучше, чем его запрет. Значит, хорошо, что движение разрешено».

Могут также привлекаться прагматологические модальности: «полезно-вредно», «эффективно-неэффективно», и пр. Прагматическое наполнение термина «Полезность» можно охарактеризовать тройкой

$$\text{ПОЛЕЗНОСТЬ} = \begin{cases} \text{ЦЕННОСТЬ} \\ \text{ЗНАЧИМОСТЬ} \\ \text{СТОИМОСТЬ} \end{cases}$$

где смысл иерархического соподчинения компонентов полезности связан с разными уровнями экспертной деятельности и раскрывается в диадах: «мотив – ценность», «цель – значимость», «задача – стоимость».

Оценки включают следующие компоненты [36]:

- 1) субъект (или агент) оценки, т.е. лицо или группа лиц, приписывающая ценность некоторому объекту;
- 2) предмет оценки, т.е. объект, которым приписывается ценность или объекты, ценности которых сопоставляются;
- 3) характер оценки (например, абсолютная или сравнительная, положительная или отрицательная оценка);
- 4) основание оценки (явление или ситуация, в рамках которой производится оценивание).

Таким образом, любую оценку можно представить в виде фрейма-прототипа: {Оценка, ⟨Кто (субъект оценки),... ⟩, ⟨Что (Кого) (объект оценки),... ⟩, ⟨Какая (тип оценки),... ⟩, ⟨ Почему (основание оценки,...) ⟩}.

Частным случаем оценок являются *нормы*, которые можно рассматривать как социально апробированные и закреплённые оценки. Нормы и стандарты являются основой для выработки *требований* и *предписаний*; они обычно формализуются с помощью *деонтических модальностей*. Примерами деонтических модальностей являются слова «обязательно», «разрешено», «запрещено». Деонтические высказывания также часто выражаются с помощью глаголов «может» и «должен».

Средством, превращающим оценку в норму, является угроза наказания, т.е. стандартизация норм осуществляется с помощью санкций. Так еще К. Менгер

установил прямую связь между предписанием $\Box p$ («обязательно p ») и «если не p , то наказание или ухудшение» (см. [37]). Например, «перед въездом на мост обязательна остановка у поста ГИБДД. Кто не остановится, будет наказан штрафом».

В диссертации предложено представление деонтических характеристик в виде логико-лингвистических значений «в норме», «почти в норме», «не совсем в норме», «не в норме» и пр. Например, «текущее значение деформации опоры моста – почти в норме».

Простые модальные оценки агентов имеют вид: $m(X \text{ есть } F)$, $m(X \text{ не есть } F)$, где F – ограничение на значение переменной X , $m \in M$, $M = \{\Box, \Diamond, \nabla, \lceil \Diamond\}$, \Box – сильная положительная модальность (например, «обязательно»); \Diamond – слабая положительная модальность (например, «разрешено») ∇ – слабая отрицательная модальность (например, «необязательно»), $\lceil \Diamond$ – сильная отрицательная модальность (например, «запрещено»). Пример вывода на основе простой модальной оценки: «плохо, что скорость ветра на мосту значительно выше нормы, значит, движение по мосту следует закрыть».

Важная специфическая особенность теории оценивания заключается в формировании так называемых обобщенных шкал [79]. В отличие от обычных шкал, где с каждой точкой соотносится один-единственный объект, на обобщенных шкалах любой точке может с разными степенями соответствовать множество объектов.

В задачах мониторинга оценки часто опираются на результаты измерений, поэтому вместо противопоставления ниже будут рассмотрены варианты сочетания измерений и оценок в сенсорных системах нового типа.

2.8. Нетрадиционные концепции измерений

В конце XX-го – начале XXI-го века появились и сегодня активно развиваются новые направления неклассических измерений [81]: автономные измерения, распределенные измерения на основе сенсорных сетей,

интеллектуальные [148, 89], мягкие [1], когнитивные [80] измерения и пр. При этом ощущается заметное влияние новых концепций вычислений на методологию измерений. Так в 1994г. Л. Заде опубликовал статью о «мягких вычислениях» (Soft Computing) [189], а три года спустя А.Н. Аверкин и С.В. Прокопчина [1] по аналогии ввели понятие «мягких измерений» (Soft Measurements). В свою очередь, концепция грануляции информации Л. Заде [190] и «гранулярные вычисления» (Granular Computing) Т. Лина [168] дали импульс «гранулярным измерениям» [111].

Вариант классификации нетрадиционных измерений приведен на рис. 2.15.

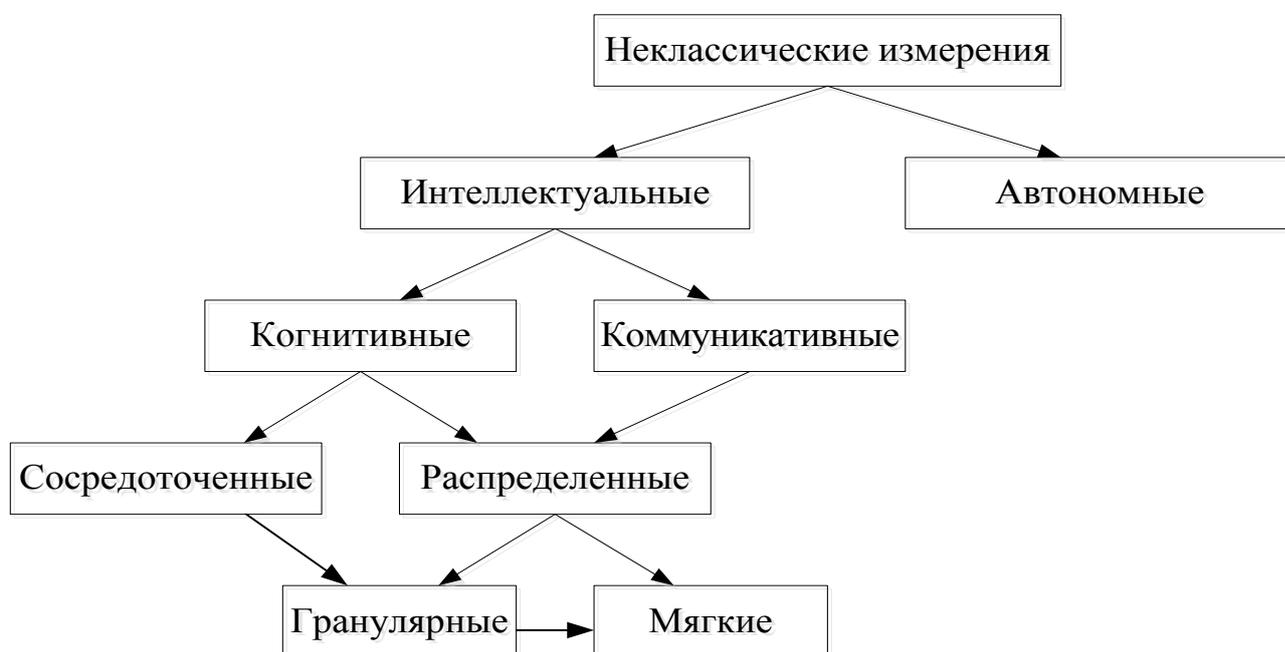


Рис. 2.15. Вариант классификации интеллектуальных измерений

2.8.1. Интеллектуальные измерения

Одним из наиболее перспективных направлений развития измерительной техники является интеллектуализация средств измерений, построение интеллектуальных измерительных систем и измерительно-вычислительных комплексов.

Известны разные пути интеллектуализации измерений. Так в современной метрологии интеллектуализация измерительных систем часто связывается с их адаптивностью [89, 85]. Соответственно, под интеллектуальной измерительной

системой понимается средство измерительной техники, способное изменять всю аппаратную структуру, алгоритмы сбора и обработки измерительной информации в интересах рационального использования имеющихся ресурсов и получения требуемого качества результатов измерений. Важной характеристикой интеллектуальных средств измерений является возможность использования в процессе измерения исходной и текущей информации об объекте измерений.

В общем случае, под *интеллектуальными измерениями* будем понимать измерения, использующие метрологические знания или ключевые интеллектуальные технологии (экспертные системы, интеллектуальные интерфейсы, мягкие вычисления, технологии интеллектуальных агентов измерений) в процессах измерений [89].

Интеллектуализация измерений обычно означает расширение функций информационно-измерительного устройства, создание информационно-диагностической или информационно-управляющей системы. Так в [148] интеллектуализация измерительно-управляющего устройства подразумевает возможность его дистанционного общения с пользователем и способность автономно формировать рассуждения и управляющие действия.

Необходимость интеллектуализации измерений для интегрированных систем мониторинга сложных технических объектов обусловлена: а) требованием формирования и обработки больших массивов измерительной информации; б) многомерным характером измерений; в) необходимостью распознавать ситуацию, складывающуюся вокруг объекта мониторинга; г) потребностью осуществлять разные типы мониторинга на протяжении различных стадий жизненного цикла технического объекта [10].

2.8.2. Измерение как познавательный процесс

В последнее время наблюдается устойчивая тенденция расширения и переосмысления оснований теории измерений [148, 87, 45], привлечения в эту область, помимо традиционных вероятностных подходов, методов интервального анализа и теории нечетких множеств [169, 103], развития интеллектуальных

измерений [148, 61, 89]. Одним из главных катализаторов этой тенденции послужил принятый в 1990-е годы новый стандарт ISO (см. [157, 28]), в котором термин «погрешность измерения» был заменен более широким и многоаспектным понятием «неопределенность измерения», и появилась необходимость обобщенного описания различных аспектов этой неопределенности (см. раздел 2.6).

В этом контексте особый интерес представляет варианты рассмотрения измерений как базовой когнитивной техники [44] и основного инструмента приобретения знаний для интеллектуальных систем новых поколений [111, 50].

Рассмотрение измерений как познавательного процесса имеет давние исторические корни. Одно из наиболее глубоких определений «измерения», данное русским философом П.А. Флоренским, приведено в «Технической энциклопедии» 1931 г. [120]: «...*измерение* – основной познавательный процесс науки и техники, посредством которого неизвестная величина количественно сравнивается с другою, однородной с нею и считаемою известной».

В книге [86] измерение определяется как эксперимент, имеющий целью формирование истинностных суждений об исследуемом объекте. Отсюда следует, что в процессе измерения важнейшее значение имеет этап интерпретации и анализа его результатов, на котором целесообразно использование логических подходов и оценок.

Когнитивные аспекты измерений тесно связаны с операциями сопоставления, интерпретации, классификации, понимания. Когнитивные структуры позволят реализовать автоматизированные переходы «данные-информация-знания-метазнания» [137, 182, 191], обеспечивая единство процессов получения исходных данных в первичных измерениях, выделения полезной информации, формирования оценок, норм, мнений и знаний в интеллектуальных системах [46] (см. раздел 3.2). Взаимосвязи между искусственным интеллектом и когнитивными науками прослежены в работах [25, 52, 113].

2.9. О когнитивных измерениях

Термин «когнитивные измерения» был предложен С.В. Прокопчиной в статье «Когнитивные измерения на основе байесовских интеллектуальных технологий» [80], где речь идет об измерениях, в результате которых с помощью байесовских интеллектуальных технологий извлекаются метрологически аттестованные знания.

В настоящей работе 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 [98, 186]:

- 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.

2.9.1. Принцип открытости измерения как познавательного процесса

Открытость измерений означает их зависимость от целей, среды измерения, инструментария измерений, наконец, включенность в более общие процессы. Так в системе мониторинга моста на базе измерения ряда параметров среды и самого моста осуществляется диагностика его текущего состояния, прогнозирование будущего состояния, принятие управляющих решений [97, 185].

Пусть, например, результат измерения скорости ветра на мосту с помощью анемометра равен 25-26 м/с и наблюдаются значительные колебания его конструкции. Задача состоит не столько в точном измерении скорости самом по себе, сколько в совместной оценке полученных результатов и выдаче заключения, к примеру, «движение по мосту запрещено».

2.9.2. Принцип единства измерений, оценок и рассуждений

С принципом открытости измерений как когнитивного процесса тесно связан принцип единства измерений и оценок, оценок и рассуждений (рис. 2.16).

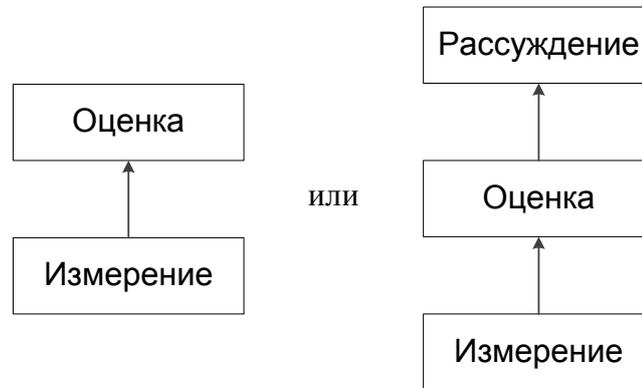


Рис. 2.16. Принцип единства измерений, оценок и рассуждений в задаче мониторинга

Пусть измеряются два параметра – скорость ветра анемометром и величина деформация конструкции моста тензодатчиком. Результатом интерпретации полученных числовых значений являются нечеткие лингвистические оценки «Скорость ветра – довольно сильная» и «Величина деформации – близкая к предельно допустимой».

Тогда можно построить нечеткое продукционное правило типа «ЕСЛИ скорость ветра – довольно сильная И величина деформации моста – близкая к предельно допустимой, ТО ввести ограничения на массу движущихся по мосту поездов в 3500 т».

2.9.3. Принцип синтеза теорий истины при интерпретации результатов измерения

Будем анализировать связи между результатом измерения (как процессом формирования знаний) и пониманием на основе концепций истины. В логике выделяют три базовые теории истины – теорию соответствия Аристотеля-Тарского, теорию когерентности и прагматическую теорию Пирса (см. [75, 124]). Согласно А. Тарскому, реконструировавшему идеи Аристотеля, *истина* есть *соответствие* высказывания (или описания) *фактам* внешнего мира. При этом

первичным является состояние внешнего мира как множество фактов, характеризующих реальное положение дел, а знания о мире должны обеспечивать его адекватное представление. Тогда логическое следование означает передачу истинности.

В рамках *теории когерентности* истина понимается как согласованность высказывания с остальной частью наших знаний. Связность и непротиворечивость знаний считаются главными критериями истины. Здесь мы как бы отвлекаемся от состояния внешнего мира и рассматриваем истину через призму его модели на уровне знаний.

Согласно *прагматической концепции истины* Ч.С. Пирса [71], истина – это полезность (эффективность) знания, т.е. истинным является знание, позволяющее достичь требуемого результата деятельности. Иными словами, истина определяется полезностью знаний при решении конкретных задач. Здесь первичными являются наши знания о мире, воплощенные в виде формальных или неформальных систем предписаний и норм (примерами служат различные своды законов, от библейских заповедей до ГОСТ Р 54500.3-2011), а истина характеризует их полезность и применимость в жизни определенного сообщества.

В основу когнитивных измерений положим принцип синтеза этих трех теорий истины.

Теория соответствия: истина есть соответствие модели (логического предложения) M фактам внешнего мира W , причем первичными являются именно реальные факты $v_1 : W \rightarrow M$.

Теория когерентности: значения истинности высказываний основаны не на соответствии реальности, а на имеющихся знаниях, (высказывание считается истинным, если оно согласуется с остальной частью знания, т.е. связность, непротиворечивость и устойчивость знаний принимаются как основные характеристики истины) $v_2 : M \rightarrow M'$.

Прагматическая теория истины: истинность отождествляется с полезностью знаний при решении конкретных задач $v_3 : M \rightarrow W$ (рис.2.17).

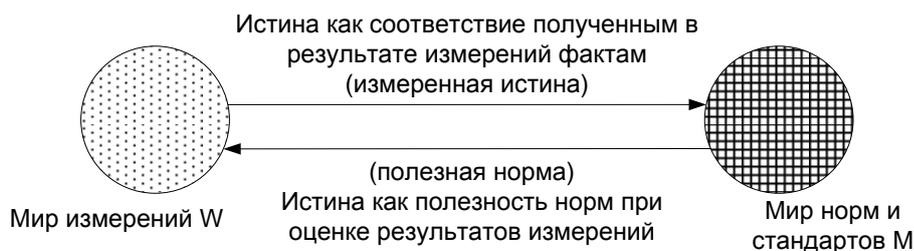


Рис. 2.17. Иллюстрации использования двух концепций истины в когнитивных измерениях

2.9.4. Принцип грануляции измерительной информации

В соответствии с принципом *единства измерений, оценок и рассуждений*, измерение понимается как когнитивный процесс, связанный с построением гранулярной структуры информации в виде двухуровневой иерархии (рис. 2.18) [94, 184]:

- на нижнем уровне с помощью набора датчиков, проводятся обычные измерения, результаты которых обеспечивают *мелкозернистую* информацию,
- на верхнем уровне полученные результаты отображаются на прагматическую шкалу укрупненных оценок – аксиологических или деонтических – выражающих *крупнозернистую* информацию (полученные значения измеряемого параметра находятся «в норме», «почти в норме», «не в норме», и т.п., например, измеренное значение скорости ветра – «почти в норме»).

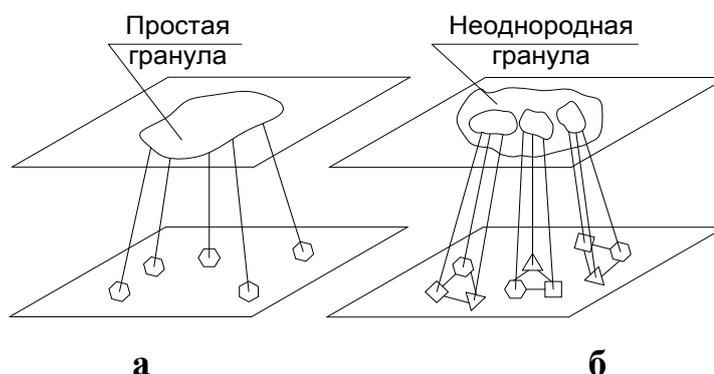


Рис.2.18. Иллюстрация формирования простых и составных гранул:

- а) грануляция информации от однотипных датчиков;**
- б) грануляция информации от разнотипных датчиков**

Единый подход к описанию стохастической и нестохастической неопределенности в измерениях связан с интерпретацией и формализацией результатов измерений как информационных гранул [190, 111]. Гранулярные измерения предполагают, с одной стороны, формирование новых подходов в теории измерений, а с другой стороны, развитие теории грануляции информации.

Здесь как сам процесс измерения с учетом неопределенности, так и интерпретация результатов измерений, связываются с построением гранул информации и знаний. В общем случае можно говорить о гранулярных измерениях с использованием машины (процессора) обнаружения знаний в сенсорных данных.

Следует отметить, что традиционные измерения, направленные только на работу с данными, носят машиноцентрический характер, тогда как гранулярные измерения, будучи ориентированными на преобразования данных в знания, являются антропоцентрическими. Так в задачах мониторинга цель процесса измерения заключается не столько в получении точной числовой информации, сколько в выработке в лингвистической форме практических рекомендаций диагностического, прогностического или управляющего характера. Здесь как сам результат измерения в условиях неопределенности, так и его интерпретация связываются с построением гранул информации и знаний.

Далее будем рассматривать гранулярные измерения [50, 111] как концептуальное ядро мягких и когнитивных измерений и как основной материал для интеллектуального анализа сенсорных данных с обнаружением (выявлением) закономерностей в этих данных. При этом наиболее общий подход к грануляции измерительной информации при наличии как стохастической, так и нестохастической неопределенности связан с построением нечетких множеств типа 2 [188; 62].

2.9.5. Результаты измерений как нечеткие гранулы

Нечеткую грануляцию измерительной информации можно осуществлять путем перехода от обычных нечетких множеств к нечетким множествам типа 2.

Нечеткие множества типа 2 являются обобщением нечетких множеств типа 1, когда каждое значение функции принадлежности может быть неточно определенным, например, выражаться в виде интервала с нечеткими границами. В частном случае, могут использоваться вероятностные нечеткие множества $\mu_{\Omega} : X \times \Omega \rightarrow [0,1]$ К. Хирота, задаваемые рандомизированной функцией принадлежности.

2.10. Выводы по главе 2

1. Рассмотрены основные понятия классической теории измерений и её ограничения.

2. Разработана иерархическая система онтологий измерений в интересах их включения в гибридные системы приобретения знаний. Построены онтологии нижнего уровня (онтология измерений, онтология измеряемых свойств, онтология измеряемых сенсорных средств) и верхнего – онтология неопределённости.

3. Выделены виды неопределенности измерений и измерительной информации.

4. Сделан обзор нетрадиционных подходов и концепций измерений. Дано определение интеллектуальных измерений. Проведен анализ путей интеллектуализации измерений. Изложено понятие когнитивных измерений и введена его новая трактовка.

5. Сформулированы основные системные принципы организации когнитивных измерений.

6. Описана идея грануляции информации в русле системного анализа и синтеза и показана её роль в когнитивных процессах. Разработана двухуровневая иерархическая гранулярная структура когнитивных измерений.

ГЛАВА 3. ЛОГИКО-АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ПОСТРОЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

3.1. Понятие когнитивного информационно-измерительного устройства

В задаче мониторинга сложного объекта измерение не является самоцелью, а служит для диагностики текущего состояния этого объекта, прогнозирования вариантов ее развития и поддержки принятия решений.

Будем определять когнитивное информационно-измерительное устройство как датчик (семейство датчиков) с процессором интеллектуального анализа измеренных данных и интерпретатором, способное не только измерять значения некоторого параметра рассматриваемого объекта, но и «понимать» полученную информацию [179]. Таким образом, оно представляет собой не только информационно-измерительное, но и информационно-интерпретирующее устройство, снабженное логико-лингвистической и/или наглядно-графической (цветовой или узорчатой) прагматикой, т.е. способное представлять результаты измерений в терминах ограниченного естественного языка и/или на базе «светофорной метафоры» («орнаментной метафоры») [99]. При этом происходит грануляция информации: мелкозернистая информация сенсорного уровня превращается в крупнозернистую информацию логико-лингвистического уровня [180].

Для интеллектуального анализа сенсорной информации следует использовать процедуры логико-лингвистического вывода, опирающиеся на лингвистические и нечеткие переменные. С каждым сенсорным узлом свяжем набор значений входных и выходных лингвистических переменных (ограничиваемый физико-техническими характеристиками узла), который образует когнитивный фрейм. Соответствующий сенсорный узел можно назвать нечетким КИИУ: он воспринимает набор лингвистически заданных входных признаков (атрибутов), строит нечеткую продукционную базу знаний и имеет машину нечеткого вывода, с помощью которой происходит вычисление

выходных признаков. Здесь выходные переменные обеспечивают лингвистическую интерпретацию показаний физических датчиков, входящих в состав сенсорного узла. При этом важную роль играет определение нечетких тенденций развития процесса, например, «быстрое нарастание», «медленное убывание» и т.п.

Поскольку в диссертационной работе КИИУ трактуется не только как инструментальное средство познания объекта мониторинга и получения знаний на основе измерений, но и как понимающая искусственная система, в начале данной главы будут рассмотрены основные определения, концепции и модели понимания как важнейшей когнитивной способности человека.

3.2. Проблема понимания в искусственном интеллекте и пути ее решения

Проблема понимания, представляющая собой одну из центральных и наиболее сложных проблем когнитивных наук в целом и искусственного интеллекта в частности, носит междисциплинарный характер. Оно изучается в герменевтике – науке о понимании и интерпретации текстов, дидактике, психологии, лингвистике, логике, семиотике (а с недавних пор, в информатике и робототехнике – «понимающий компьютер», «понимающий робот») [113]. Понимание может рассматриваться и как способность, и как операция, и как процесс, и как результат, и как средство (технология) усвоения знаний.

До недавних пор весьма распространенной оставалась точка зрения, что пониматься может только текст, наделенный определенным смыслом: понять его значит раскрыть смысл, вложенный в текст его автором. Однако объектами понимания могут быть не только тексты, но и сообщения, события, поведение, ситуации, результаты измерений, и пр. Сам термин «понимание» обычно раскрывается с помощью категорий «смысл», «значение», «истина», «ценность», «норма», например, понять мотивы поведения, понять предпосылки возникновения определенной ситуации, установить ценность сведений, найти истину, и пр. Его часто уточняют с помощью диад, например, «познание-понимание», «обучение-понимание» (понимание – это цель обучения),

«объяснение-понимание» (понимание есть способность объяснить что-либо), «понимание-интерпретация» и пр.

Обсудим несколько классических определений понимания.

1. **Понимание** – универсальная операция мышления, которая является **оценкой объекта** с определенных позиций, на основе некоторого **образца, стандарта, нормы, принципа** и т.п. [122]. По сути, это определение опирается на простейшую трактовку понимания как сравнения, сопоставления с образцом.

2. **Понимание** – универсальная операция мышления, связанная с усвоением **нового содержания, включением его в систему устоявшихся идей и представлений** [38]. Здесь понимание предполагает соответствие новых знаний прошлому опыту, подведение под известное понятие.

3. **Понимание** – способность **постичь смысл или значение** чего-либо ради достижения **полезного результата** [83].

4. **Понимание** – процесс нахождения ответов на вопросы, возникающие в ходе познания. При этом взаимосвязи между пониманием и познанием являются двусторонними: понимание сильно зависит от имеющихся знаний, когнитивных возможностей и структуры языка, но сама возможность познания определяется достигнутым уровнем понимания.

5. **Понимание** – процесс постановки и решения задач целенаправленной деятельности.

В диссертации главное внимание уделяется первой трактовке понимания, восходящей к классику герменевтики и основоположнику «психологии понимания» В. Дильтею. Эта трактовка понимания является аксиологической, т.е. опирается на теорию ценностей, которая изучает вопросы, связанные с природой ценностей, их местом в реальной жизни, соотношениями между различными ценностями. Оценка есть способ установления ценности (или вывод из принятых ценностей с использованием общих правил) [36, 38], а ценностями деятельности являются ее результаты. При этом именно потребности и ценности определяют мотивы любой деятельности и ее направленность на достижение определенных целей.

По М.М. Бахтину [3], безоценочное понимание невозможно, поскольку нельзя разделить понимание и оценку: они одновременны и составляют единый целостный акт. Двумя базовыми операциями, делающими понимание возможным, являются поиск и представление стандарта оценки (нормы) и обоснование его приложения в конкретной ситуации.

Таким образом, механизм понимания имеет двойственную описательно-оценочную природу. Пониматься может всё, для чего найден общий образец, а непонимание чаще всего обусловлено необоснованностью, неочевидностью или отсутствием такого образца.

Ниже в контексте формализации понимания будем рассматривать два принципиально различных вида моделей – дескриптивные (описательные) и нормативные (оценочные). Здесь противопоставление «описание – оценка» тесно связано с оппозицией «истина – ценность».

В самом деле, любое утверждение и его объект могут находиться между собой в двух противоположных отношениях: истинностном и ценностном [20, 37; 107]. В первом случае отправным пунктом сопоставления является объект, а во втором суждение, функционирующее как оценка. Истинность в классическом смысле (см. [119]) понимается как соответствие высказываний описываемым ими объектам или ситуациям, а ценность (полезность) – напротив как соответствие самих объектов утверждениям о них.

В этом русле необходимо отметить, что образец как основа понимания принципиально отличается от примера. Пример говорит о том, что имеет место в действительности, а образец – о том, что должно быть. Примеры используются для поддержки описательных высказываний, а ссылки на образцы служат обоснованием предписаний и требований.

Практическому решению проблемы понимания уделяли значительное внимание классики искусственного интеллекта Т. Виноград [187], А. Ньюэлл, Г. Саймон, Э.В. Попов [74], Д.А. Поспелов [77], и др. Так еще в [170] было введено следующее определение понимания: система S понимает знание K, если она использует его всякий раз, когда K уместно. С одной стороны, здесь

понимание относится к знаниям, а не к реальным предметам. С другой стороны, понимание связано с использованием этих знаний для решения задач; соответственно глубину понимания можно охарактеризовать тем классом задач, которые способна решать система. В этой связи Г. Саймон предложил задачно-ориентированное определение понимания: система S понимает задачу T , если она имеет знания и процедуры K , необходимые для выполнения T [175]. Таким образом, понимание выражается тернарным отношением, связывающим S , T и K .

В контексте анализа переходов от сенсорных данных к гранулам информации и знаний, а также установления связей между пониманием и деятельностью несомненный интерес представляет рассмотрение иерархической структуры «данные – информация – знания – метазнания» DIKW (от англ. «Data–Information–Knowledge–Wisdom») (см. [137, 191, 50]). Ранний вариант этой иерархии был предложен К. Боулдингом в виде «сигналы – сообщения – информация – знания». Затем М. Зелены [191] связал ее компоненты с типами знаний: 1) D – «ничто-знания»; 2) I – «что-знания»; 3) K – «как-знания»; 4) W – «почему-знания» (метазнания). Наиболее известное представление модели DIKW в координатах «понимание-деятельность» предложил Р. Акофф [137] (рис. 3.1). В [50] эта модель была рассмотрена как дихотомия «понимание-прагматика» в контексте развития единого подхода к познанию и пониманию.

Реализация переходов в этой схеме раскрывает многоуровневый механизм понимания: а) понимание как выявление связей между объектами или событиями, б) понимание как поиск и обоснование образцов для выработки нормативного или ситуативного поведения; в) понимание как охват и интерпретация ситуации в целом. При этом понимание связей, характеризующее переход от данных к информации, обеспечивает выполнение отдельных операций как элементов действий, понимание как связей, так и правил и образцов, определяющее переход от информации к знаниям, является необходимым условием формирования целенаправленных действий, а понимание общих принципов, означающее переход на уровень метазнаний и служащее для охвата ситуации в целом, необходимо для организации всей деятельности.



Рис. 3.1. Схема переходов «данные – информация – знания – метазнания» в координатах «понимание – деятельность»

Согласно Э.В. Попову, понимание собеседника означает определение тех целей (намерений), которые тот преследовал, формируя некоторый текст [74]. В этом плане «понять» смысл сообщения означает установить его взаимосвязь с целью общения. Если это взаимосвязь не установлена, то следует говорить о непонимании сообщения.

В работе [76] выделено шесть уровней компьютерного понимания текста. На нулевом уровне понимания компьютер способен отвечать на сообщения пользователя безо всякого анализа их сути. На этом уровне понимание как таковое у компьютерной системы отсутствует. В общении людей этому уровню понимания соответствует так называемый фатический диалог, когда разговор идет без анализа сути высказываний собеседника за счет чисто внешних форм поддержки диалога.

На первом уровне понимания система должна быть способной отвечать на все вопросы, ответы на которые есть во введенном в нее тексте. Например, если в компьютер введен текст: «В аэропорту Домодедово в 20 часов приземлился самолет ТУ-204, прилетевший из Сочи. В 20 час 30 мин пассажиры этого рейса получили свой багаж, а в 22 часа этот же самолет улетел в Сочи», то на первом уровне понимания компьютер должен правильно отвечать на вопросы типа: «Откуда прилетел самолет, приземлившийся в 20 часов в аэропорту

Домодедово?» или «В каком аэропорту приземлился в 20 часов ТУ-204, прилетевший из Сочи?»).

На втором уровне понимания используется структура, в которой имеется блок пополнения текста. В его функции входит автоматическое пополнение текста с помощью хранящихся в памяти компьютера процедур пополнения. Примерами подобных процедур могут служить правила вывода псевдофизических логик, к которым относятся логики пространства, времени, действий, причинно-следственных связей и т.п.

Если в память компьютера введен тот же текст с самолетом, который использовался для иллюстрации работы системы с первым уровнем понимания, то на втором уровне система может отвечать на вопросы типа: «Получили ли пассажиры багаж, когда в 22 часа самолет ТУ-204, прилетевший из Сочи, улетел обратно?»).

Для формирования ответа на такой вопрос необходимо, используя правила логики времени, спроецировать события, упомянутые в исходном тексте, на шкалу времени, и тем самым, упорядочить их, а также, используя правила логики пространства, отождествить «обратно» с Сочи.

Отличие третьего уровня понимания от второго заключается в процедурах, реализуемых блоком вывода ответа. Формируя ответы, этот блок использует теперь не только информацию, хранящуюся в базе данных, куда введено расширенное внутреннее представление исходного текста, но и некоторые дополнительные сведения, помещенные в базу знаний. На этом уровне уже возникает дихотомия «знания – понимание». Имеются в виду знания о типовых сценариях развития ситуаций и процессов, характерных для той предметной области, с которой работает система. Наличие сценария позволяет пользователю получить, например, ответ на вопрос: «Когда все пассажиры покинули самолет?». Об этом факте в исходном тексте нет никакой информации.

На четвертом уровне понимания общая структура искусственной понимающей системы остается той же, меняется только процедура реализуемая блоком вывода ответа. Эта процедура обогащается за счет введения в нее

эффективных средств дедуктивного вывода. Таким образом, получаем дихотомию «Рассуждение – Понимание».

На пятом уровне к дедуктивному выводу добавляются средства правдоподобного вывода, а на шестом уровне база знаний становится открытой. Возникает схема «Синтез рассуждений – Понимание».

Разработка и использование логико-семиотического подхода для исследования и моделирования понимания все еще остается открытой проблемой, хотя еще в 1980-е годы Ч. Филлмор высказал важную идею о том, что лингвистическую семантику надо развивать как семантику понимания, а не как семантику истинности [121]. В контексте понимания следует рассматривать не столько условия истинности-ложности, сколько условия осмысленности-бессмысленности [125], или условия неопределенности в зависимости от контекста [59].

В следующем разделе будет развит логико-алгебраический подход к построению моделей понимания на базе оценок и норм.

3.3. Многозначные логики и логические прагматики в построении КИИУ

В настоящем разделе изложены основы логико-алгебраического подхода к автоматизированной интерпретации результатов измерений. В основе предлагаемого подхода лежат многозначные логики и логические прагматики.

Многозначными логиками называются такие формальные логики, в которых для высказываний допускается более двух значений истинности. Здесь к обычным истинностным значениям «истина» и «ложь» добавляются и другие (промежуточные) значения. Примерами таких промежуточных значений являются «возможность» и «случайность» в трехзначной логике Я. Лукасевича, «неопределенность» в трехзначной логике С.К. Клини, «половинчатая истина» в трехзначной логике А. Гейтинга, «бессмыслица» в трехзначной логике Д.А. Бочвара, и пр. [42, 153] В свою очередь, нечеткие логики (в узком смысле) составляют подкласс многозначных логик с градуальными значениями

истинности из интервала $[0,1]$ и расширениями операций конъюнкции и дизъюнкции в виде треугольных норм и конорм [159, 65].

Для иллюстрации перехода от классической логики к многозначным логикам очень полезной является «метафора цвета». Если классическая двузначная логика есть воплощение «черно-белого мира», то многозначная логика отражает столько «цветов радуги», сколько логических значений она содержит, а нечеткая логика демонстрирует непрерывный спектр цветов, включая все оттенки между зеленым и желтым, желтым и красным, красным (пурпурным) и розовым, розовым и голубым, голубым и синим.

В диссертационной работе используется естественная «светофорная» интерпретация значений истинности и нормативных оценок: 1) «истина» («норма», «разрешено») – «зеленый цвет»; 2) «ложь» («не в норме», «запрещено») – «красный цвет»; 3) «противоречие» («и истина, и ложь одновременно», промежуточная область между «в норме» и «не в норме») – «желтый цвет»; 4) «неопределенность» («ни истина и ни ложь» – «синий цвет»). С помощью цветового представления выделенных и антивывделенных логических значений идеи интерактивной (иллюстративной и когнитивной) графики А.А. Зенкина [35] переносятся в прикладную логику.

Еще одним важным теоретическим элементом работы является рассмотрение связей между логикой и семиотикой, направленное на развитие понятия и методов «логической прагматики», которая берется в качестве основы для понимания и интерпретации результатов измерений. Основоположник семиотики Ч.С. Пирс, определяя семиотику как общую теорию знаков, рассматривал ее как логику в самом общем смысле. В контексте аксиологии понимания важное предложение «Отца прагматизма» заключается в представлении логики как нормативной науки и рассмотрении истины как «логического блага». В отличие от классической теории истины прагматическая теория истины трактует истину как ценность (полезность), связанную с достижением нужного результата [71]. Соответственно, прагматизм, допуская наличие не одной, а множества различных логик, утверждает, что выбор между ними не произволен, а определяется различными факторами эффективности.

В отечественном сообществе специалистов по искусственному интеллекту близкую позицию занимает О.П. Кузнецов, считающий, что истина не является единственной логико-семантической категорией, и ее следует дополнить такими логико-прагматическими категориями как «ценность», «устойчивость», и др. Он утверждает, что истинность – это лишь один из видов ценности знания, способствующий его устойчивости [52]. Обыденное рассуждение и быстрое понимание основано не на истине в классическом логическом смысле, а на «хороших» (в смысле гештальт-психологии) структурах.

Прагматику часто характеризуют как исследование значения в некотором контексте. При этом центральными прагматическими структурами являются мнения и оценки. В самом деле, наши мнения и оценки влияют на наши действия, направляют их, указывают на средства, ведущие к достижению цели. Если это влияние обеспечивает эффективность действия и получение полезного результата, то подтверждается истинность исходных мнений и оценок, а в противном случае, они изменяются.

Соответственно, наше изложение логико-алгебраического подхода к пониманию результатов измерений включает следующие этапы:

- анализ типов логических предложений (с акцентом на оценочные и нормативные предложения);
- выбор теории истины или описание варианта взаимодействия разных теорий истины;
- формирование множества логических (истинностных и ценностных) значений и представление их структуры с использованием когнитивной графики;
- разработка системы логических миров и пространств;
- построение логических операций для выбранных логических миров;
- построение итоговой расширенной логической матрицы.

3.3.1. Типы логических предложений

Разработка логических моделей понимания требует определения и формального представления основных логических предложений – суждений,

оценок, норм, образцов, примеров. Далее воспользуемся следующими основными определениями из [36, 38, 7].

Суждением называется любое высказывание в форме повествовательного предложения, которое является истинным или ложным. Правдоподобные суждения могут связываться с промежуточными, градуальными значениями истинности. Они могут выражаться в виде $v(p)$, где $p = X \text{ is } A$ есть высказывание (X – переменная, принимающая свои значения в универсуме U , A – ограничение на X), характеризуемое значением истинности $v \in V$, например, $V=[0,1]$.

Согласно Л. Заде [190], можно определить обобщенное ограничение в виде $p = X \text{ is } rA$, где r – переменная связка, выражающая способ ограничения (равенство, неравенство, распределение вероятности, распределение возможности, и пр.). В русле теории измерений чаще всего рассматриваются вероятностные распределения.

Оценкой (оценочным суждением) называется высказывание, устанавливающее абсолютную или относительную (сравнительную) ценность некоторого объекта (см. раздел 2.7). Оценки обычно выражаются с помощью аксиологических (оценочных) модальностей: как абсолютных («хорошо», «плохо», «безразлично»), так и относительных («лучше», «хуже», «равноценно»).

Согласно принципу Юма, нельзя с помощью одной логики перейти от утверждений со связкой «есть» к утверждениям со связкой «должен». По этому принципу отвергается как выводимость оценок из чистых описаний, так и выводимость чистых описаний из оценок. Тем не менее, между описательными и оценочными высказываниями, несомненно, имеются связи. Так понимание как подведение под общую оценку (сильное понимание) является дедуктивным умозаключением вида:

Всякое A должно быть B

C есть A

Следовательно, C должно быть B

Например,

Всякий неисправный объект должен ремонтироваться.

Мост – неисправен.

Значит, мост должен ремонтироваться.

Здесь одной из посылок дедуктивного умозаключения является общая оценка («должно быть»), а другой – описательное утверждение о начальных условиях. В заключении общее предписание распространяется на частный случай, и тем самым достигается понимание, что надо делать с конкретным объектом.

В диссертации используется представление деонтических характеристик в виде логико-лингвистических значений «в норме», «почти в норме», «не совсем в норме», «не в норме» и пр. Например, «текущее значение скорости ветра на мосту – почти в норме».

Оценки можно выражать парами $\langle m, q \rangle$, где m – некоторая модальность, $m \in M$, а $q = a \text{ does } d, d \in D$ (агент a выполняет действие d из множества действий D). Например, «хорошо (поезд остановился вблизи неисправного переезда)».

Вариантами составных оценочных суждений с модальностями служат m (X есть F и X не есть F) (противоречивое суждение с модальностями), m (X есть F^+ или X есть F^-) (дизъюнктивное оценочное суждение с модальностями на оппозиционной шкале) и т.д.

Для логического описания сравнительных оценок служит исчисление предпочтений. Согласно [20], алфавит исчисления предпочтений образуют: 1) переменные x, y, z, \dots ; 2) логические связки $\neg, \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$; 3) бинарное отношение предпочтения Pr ; с помощью этого отношения строятся как атомарные выражения вида $Pr(x, y)$ (читается « x лучше y »), так и составные выражения предпочтения (например, $Pr(x, y) \vee Pr(x, z)$). В общем случае, полагаем, что отношение нестрогого предпочтения Pr антисимметрично и рефлексивно. Его можно описать с помощью ориентированного графа. При этом обычно предпочтения не являются транзитивными.

Отношение равноценности (безразличия) Ind можно ввести следующим образом: $Ind(x, y) = \neg Pr(x, y) \wedge \neg Pr(y, x)$. Это отношение рефлексивно и симметрично.

Пусть заданы отношения предпочтения $\text{Pr}(x,y)$ и равноценности $\text{Ind}(x,y)$. Приведем аксиомы классической логики предпочтений [37].

1. $\text{Pr}(x,x) \geq \text{Pr}(x,y)$ (ничто не лучше самого себя).

2. $\text{Pr}(x,y) \rightarrow \neg \text{Pr}(y,x)$ (если первое лучше второго, то обратное невозможно).

Иная формулировка: $\neg (\text{Pr}(x,y) \wedge \text{Pr}(y,x))$ (ничто не может быть и лучше, и хуже другого);

3. Если $\text{Pr}(x,y)$ и $\text{Ind}(y,z)$, то $\text{Pr}(x,z)$ (если первое лучше второго, а второе равноценно третьему, то первое лучше третьего)

4. $\text{Pr}(x,y) \vee \text{Pr}(y,x) \vee \text{Ind}(x,y)$ (принцип аксиологической полноты для сравнительных оценок: любые пары объектов таковы, что один из них или лучше другого, или хуже, или они равноценны).

3.3.2. Логическая семантика и нестандартные представления истины

Определение понимания как процесса постижения значения и смысла некоторой вещи предполагает обращение к основам семантики и герменевтики. Эти две научные дисциплины, изучающие структуры языка, близки друг к другу, однако между ними имеются различия [24]: семантика описывает языковую действительность как бы извне, благодаря чему стала возможной классификация используемых при этом знаков, тогда как герменевтика сосредоточена на внутренней стороне работы с этим миром знаков.

В герменевтике имеются различные взгляды по вопросу соотношения между пониманием и интерпретацией. Иногда понимание фактически отождествляется с интерпретацией, трактуемой как корректное истолкование текстового источника. Однако в последние годы понимание берется в качестве необходимого условия, базиса всякой интерпретации. Если понимание предполагает установление прямого, очевидного смысла, то интерпретация подразумевает выявление скрытого смысла или даже придание нового смысла рассматриваемому явлению.

Семантика как раздел семиотики имеет дело с общими аспектами интерпретации знаковых систем любых типов. В логической семантике рассматривают знаковые системы особого рода – логические языки.

Логическая семантика – это раздел логики, в котором изучаются отношения языковых знаков к обозначаемым ими объектам и выражаемому ими содержанию [102]. Она занимается изучением смысла и значений конструкций формализованного языка теории, способами понимания его логических связей и формул. При этом главное внимание уделяется описанию и определению таких понятий, как «истина», «ложь», «неопределенность», «противоречивость» и др.

Современная семантика включает два направления: теория истины и теория значения. Основоположник логической семантики Г. Фреге даже определил логику как науку о наиболее общих законах бытия истины [128].

Помимо классических теорий истины (см. раздел 2.9), следует указать и ряд других, полезных для построения логических моделей понимания интерпретаций истины, предложенных в XX-м веке. Так А. Пуанкаре трактует истину как результат соглашения, договоренности; его подход получил название «конвенциональная теория истины» и представляет особый интерес для логического моделирования процессов взаимопонимания. В свою очередь, П.А. Флоренский разработал учение об истине как противоречии: для рассудка истина есть противоречие, и это противоречие становится явным, как только истина получает словесную формулировку. Тезис и антитезис вместе образуют выражение истины. Другими словами, истина есть антиномия [127].

Это парадоксальное по отношению к традиционным взглядам воззрение находит приложения в паранепротиворечивых логических семантиках. Показательным примером служит использование логического значения В, введенного Дж. Данном и Н. Белнапом (это обозначение происходит от слова Both – и истина, и ложь одновременно), в качестве выделенного (т.е. «подобного истине») значения.

Согласно В.К. Финну, одним из важных принципов конструирования интеллектуальных систем и интеллектуального анализа данных является принцип

синтеза теорий истины [126]. В частности, когнитивный процесс порождения нового знания с помощью ДСМ-метода предполагает построение базы фактов на основе теории соответствия, оценивание гипотез с помощью теории когерентности и оправдание результатов работы в русле прагматической теории истины.

В заключение данного раздела отметим, что в различных приложениях логик могут порождаться другие нестандартные трактовки истины. Так в логике аргументации В.К. Финна [123] появилось понятие «фактической истины» как предельного случая ситуации аргументации, определяемого непустым множеством аргументов и пустым множеством контраргументов. В логических моделях переговоров [108] определена «согласованная истина» как результат соглашения между агентами, причем ее отрицание есть неподвижная точка. Аналогично в случае когнитивных измерений, предполагающих логический анализ, лингвистическую и когнитивно-графическую интерпретацию результатов измерений, вводится понятие «измеренная истина», как нахождение измеренного параметра в норме, в «зеленой зоне» [96]. Подобные трактовки истины, тесно связанные с прагматическими соображениями, лежат в основе логических прагматик.

3.3.3. Варианты построения и интерпретации истинностных значений

Понятие истинностного значения ввел в логику выдающийся философ и логик конца XIX – начала XX веков Г. Фреге в своих статьях “Функция и понятие” и “О смысле и значении” (см. [128]). При этом он отказался от традиционной трактовки истинности как свойства высказываний и предложил идею истинности как первичного логического объекта.

В философии языка Г. Фреге высказывания трактуются как специальный вид имен, денотатами которых являются два истинностных значения: истина или ложь. При этом истинность и ложность не являются свойствами высказываний, а представляют два фундаментальных объекта – «истину» (das Wahre) и «ложь» (das

Falsche). Затем, «с легкой руки» А. Черча, значения истинности стали называть «абстрактными объектами».

Отметим, что в определении Фреге не накладывается никаких ограничений на вид значения истинности, т.е. его представление в форме подмножества (гранулы) не противоречит подходу Фреге.

Классические значения истинности образуют двухэлементную булеву алгебру с операциями пересечения \wedge и объединения \vee . Эта булева алгебра есть решетка с частичным порядком истинности \leq : $F \leq T = F \wedge T = F$.

Взаимосвязь значений истинности с высказываниями обеспечивает функция истинностной оценки, т.е. функция из множества элементарных высказываний P в $V_2 = \{T, F\}$:

$$v^2 : P \rightarrow V_2 \quad (3.1)$$

Здесь для любых p, q из P имеем

$$\begin{aligned} v^2(\sim p) &= \neg v^2(p), & v^2(p \wedge q) &= v^2(p) \wedge v^2(q), \\ v^2(p \vee q) &= v^2(p) \vee v^2(q), & p \models q &\Leftrightarrow \forall v^2, v^2(p) \leq v^2(q). \end{aligned}$$

В плане установления связей между логической семантикой и теорией информации особый интерес представляет эпистемическая трактовка значений истинности, предложенная Дж. Данном [146]. В русле этой трактовки значения истинности соответствуют абстрактным эпистемическим ситуациям. Ее смысл раскрывается в следующих основных положениях:

1. Выбирается эпистемическая (информационная) интерпретация значений истинности.
2. Информация может быть противоречивой и/или неполной.
3. Некоторые высказывания могут быть и истинными, и ложными одновременно, а некоторые другие – ни истинными и ни ложными.

Это приводит к обобщению классических понятий «значение истинности» и «истинностная оценка».

Другие современные интерпретации истинностных значений (см. [174]) приведены ниже:

- абстрактные сущности, рассматриваемые как классы эквивалентности высказываний;
- значения, характеризующие степени (градации) истинности суждений;
- значения, передающие информацию о предложении;
- объекты, выражающие неопределенность или размытость понятий.

Далее мы будем использовать как информационную, так и градуальную трактовку значений истинности, в том числе осуществлять грануляцию информации в интересах формирования гранулярных логических прагматик. Эти прагматики непосредственно определяются построением обобщенных значений истинности [132].

Впервые обобщенные значения истинности, задаваемые не на обычном множестве V , а на множестве всех подмножеств 2^V , были предложены Дж. Данном [146]. В свою очередь, Л. Заде ввел лингвистическую переменную ИСТИННОСТЬ и определил значения истинности на множестве нечетких подмножеств $[0,1]^V$ (см. [34]), а Дж. Гоген расширил это определение, рассмотрев значения истинности в решетке L , т.е. взяв L^V вместо $[0,1]^V$ (см. [152]).

Итак, с одной стороны в современной логике строятся различные варианты обобщения и структуризации истинностных значений. По мнению А.С. Карпенко [42], представление истинностных значений в виде абстрактных структур, например, с помощью различных алгебр, позволяет переосмыслить сам статус логики.

С другой стороны, в [55] Я. Лукасевич определил логику как науку об особом роде объектах, а именно, как науку о логических значениях. Хотя сам Лукасевич отождествлял логические значения с истинностными значениями, здесь и далее мы будем различать два типа взаимосвязанных логических значений – значения истинности, относящиеся к описаниям, и значения ценности (полезности), связанные с оценками.

Предлагаемая ниже логико-алгебраическая методика интерпретации результатов измерений в интересах создания когнитивных сенсоров опирается как на представление истинностных значений в виде алгебраических структур, в

частности, полурешеток, решеток и произведений решеток, так и на определение различных порядков в этих структурах.

3.3.4. Логические миры и пространства

Следуя А.С. Карпенко [42] и Я.В. Шрамко [133], будем называть логическим миром любую непустую совокупность логических (истинностных или ценностных) значений. Тремя основными принципами формирования логического мира являются: 1) принцип различия (объекты логического мира должны отличаться друг от друга); 2) принцип выделенности (некоторые из них должны иметь особый статус, т.е. быть выделенными); 3) принцип структуризации (объекты логического мира должны формировать определенные структуры).

Так для представления простейших логических миров вполне достаточно указать состав и мощность множества значений истинности V и состав, мощность и знак множества выделенных значений истинности D , где $D \subset V$. В многозначных логиках различают собственно выделенные (т.е. подобные истине) значения D^+ и антивывделенные значения D^- .

Ниже будем описывать логический мир как универсум логических значений V_i вместе с множеством выделенных значений D^z_j , понимаемых как абстрактные логические объекты и множеством отношений порядка R , определенных на V_i , т.е. как

$$LW = \langle V_i, R, D^z_j \rangle, \quad (3.2)$$

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 $<_I, \leq_I$.

Тогда классический логический мир Фреге задается в виде $\langle V_2 = \{T, F\} \rangle$, где $D^+ = \{T\}$, $D^- = \{F\}$, причем: 1) $D^+ \cap D^- = \emptyset$, 2) $D^+ \cup D^- = V_2$, а логический мир модализированных истинностей H . Решера определяется как $\langle V_4 = M_2 \times V_2, D^+ \rangle$, где $M_2 = \{L, Q\}$, L – «необходимо», Q – «случайно» (или иначе $M_2^* = \{P, 3\}$, P – «разрешено», 3 – «запрещено») [172].

Логический мир Клини-Лукаевича характеризуется парой $\langle V_3 = \{T, N, F\}, D^+_1 = \{T\} \rangle$, где N – «ни истина, ни ложь» (например, неопределенность у Клини и возможность у Лукаевича), а логический мир Васильева-Приста – в виде $\langle V_3 = \{T, B, F\}, D^+_2 = \{T, B\} \rangle$, где B – «и истина, и ложь одновременно». Для мира Клини-Лукаевича справедливо условие 1) $D^+ \cap D^- = \emptyset$, но не выполняется условие 2). Наконец, логический мир Данна-Белнапа описывается в виде $\langle V_4 = \{T, B, N, F\}, D^+_2 \rangle$.

В соответствии с подходом Данна-Шрамко будем определять логическое пространство как тройку

$$LS = \langle V, 2^V, R \rangle, \quad (3.3)$$

где фиксированное множество значений истинности V рассматривается вместе с множеством своих подмножеств 2^V , а R – множество отношений на V , в частности, отношения порядка истинности $<_v, \leq_v$ и отношения информационного порядка $<_i, \leq_i$.

Естественными обобщениями формулы (3.3) являются: многозначное (n -значное) логическое пространство $\langle V, n^V \rangle$, где n – целое число, $n > 2$; нечеткое логическое пространство Заде $\langle [0,1], [0,1]^V \rangle$, L -нечеткое логическое пространство Гогена $\langle L, L^V \rangle$ и т.п. В общем случае логическое пространство есть гранулярная структура [178]

$$LS^* = \langle \mathbb{A}(V), G^V \rangle, \quad (3.3^*)$$

где $\mathbb{A}(V)$ – алгебраическая структура значений истинности, G^V – гранулярная подструктура значений истинности, соответствующая выбранному базису грануляции G .

3.3.5. От логической семантики к логической прагматике

В свое время Л. Годдард и Р. Раутли [151] высказали важную идею о том, что в естественном языке семантические оценки высказываний зависят от контекста их употребления, и поэтому многозначные логики могут служить в качестве полезной аппроксимации логической структуры языка. В этом плане ими

был введены «логики значения» (Logics of Significance), под которыми понимались трехзначные и четырехзначные логики, истинностные значения которых, отличные от истины и лжи, интерпретируются либо как неполнота информации, либо как ее незначимость. В дальнейшем этот аппарат был развит в работах В.К. Финна и др. (см. [58]), где на основе алгебраического подхода были введены типы истинностных значений и построена классификация логик значения.

В семиотике семантика есть выражение отношений между сообщением и его автором (отправителем), а прагматика характеризует отношения между сообщением (символом) и его пользователем (получателем) – см. рис. 3.2. Прагматика изучает отношение воспринимающего знаковую систему (интерпретатора или адресата) к самой знаковой системе, а именно, каким образом интерпретатор на основе информации, не заложенной в воспринимаемом выражении, выбирает из множества интерпретаций наиболее подходящую для данного случая. Здесь имеется в виду прагматика измерений, связанная с пониманием и полезностью результатов измерений в русле решения задач диагностики, мониторинга, управления и пр.



**Рис. 3.2. Модифицированная схема Шеннона-Уивера:
семантика и прагматика сообщения**

С помощью правил прагматики среди множества смысловых значений, приписываемых символу, выбирают определенное смысловое значение — основное в конкретный момент времени [74]. Иными словами, прагматика учитывает конкретного адресата, а у семантики его нет.

Если логическая прагматика основана на прагматической концепции

истины Ч. Пирса, то гранулярная логическая прагматика опирается на представление гранул как подмножеств и обобщенные значения истинности. В свою очередь, прагматическая логика – это логическая система, основанная на прагматической трактовке значений истинности.

Сам термин «прагматические логики» появился еще в середине 1970-х годов в работах К. Айдукевича [138], Б.Н. Пятницына [9] и др. Если у К. Айдукевича прагматическая логика сводится к логической методологии обучения, то А.А. Ивин, Б.Н. Пятницын и др. предложили широкую трактовку прагматических логик как прикладных логических систем, основанных на аксиологическом определении логических понятий, а также использующих прагматическую модель истинности и принцип эффективности в форме прагматической максимы [36]. Классическими примерами таких логик служат доксистические и деонтические логики, сюда же относятся логики предпочтений и принятия решений, логики общения и осмысления.

Согласно Р. Карнапу, основным средством прагматики, с помощью которого можно уточнить идею «понимания», являются «предложения о мнениях», т.е. высказывания вида $BE_L(a,t,p)$ – агент a в момент времени t считает, что p , где p – предложение естественного языка. Следует отметить, что Карнап использовал двузначную логику при рассмотрении предложений о мнениях, игнорируя случаи противоречия и неопределенности.

Воспользуемся аналогичной конструкцией для определения прагматики измерений. Пусть x – некоторый сенсор, $x \in X$, где X – множество сенсоров; res – результат измерения; sit – ситуация измерения, $sit \in SIT$, где SIT – множество ситуаций. Тогда имеем следующие предикаты: $UND(x, res)$ – сенсор x понимает результат измерения res ; $UND(x, res, sit)$ – сенсор x понимает результат измерения res в ситуации sit .

Варианты использования многозначных логик для моделирования мнений описаны в работах [7, 57].

3.3.6. Когнитивная графика для наглядного представления прагматики измерений

Когнитивная графика – это совокупность методов и приемов образного представления условий задачи, которое позволяет либо сразу понять ее смысл и увидеть решение (инсайт), либо получить подсказку для его нахождения. Речь идет об активизации и стимуляции правополушарных механизмов познания и образного мышления с помощью компьютерных средств [35].

Когнитивная компьютерная графика реализуется в компьютерных системах, способных превращать текстовые описания задач в наглядные, графические представления, и при генерации текстовых описаний картин, возникающих во входных и выходных блоках интеллектуальных систем, т.е. в системах класса «Текст-Рисунок» и «Рисунок-Текст».

В работе [78] Д.А. Пospelов сформулировал три основные задачи когнитивной компьютерной графики:

1) создание обобщенных моделей представления знаний и понимания, в которых была бы возможность совместно представлять как объекты, характерные для логического мышления, так и образы-картины, с которыми оперирует образное мышление;

2) поиск путей перехода от наблюдаемых образов-картин к формулировке некоторой гипотезы о тех механизмах и процессах, которые скрыты за динамикой наблюдаемых картин;

3) визуализация тех человеческих знаний, для которых пока невозможно подобрать текстовые описания.

Примеры наглядного цветного представления различных логических миров даны на рис. 3.3–3.7. Наглядное узорчатое представление приведено в приложении Б.

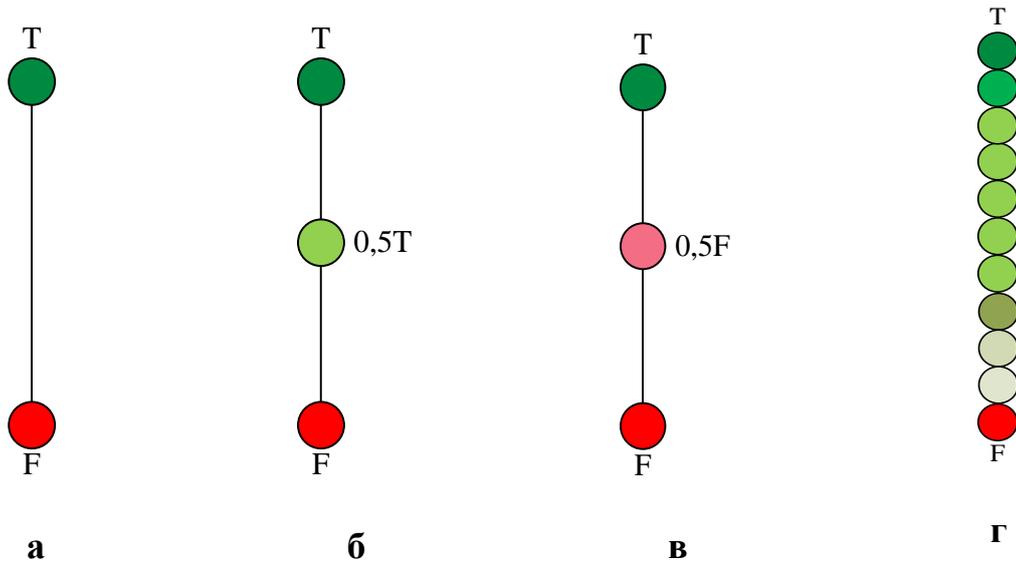


Рис. 3.3. Наглядное представление логических миров цепями с цветными значениями истинности: а) логический мир Фреге; б) логический мир Гейтинга H_3 ; в) логический мир Брауэра B_3 ; г) логический мир Геделя G_∞

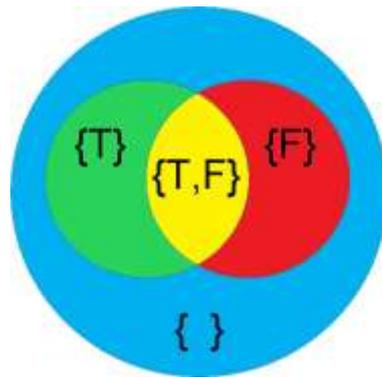


Рис. 3.4. Вариант представления логического мира Данна-Белнапа

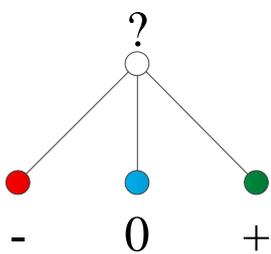


Рис. 3.5. Логический мир Де Клира

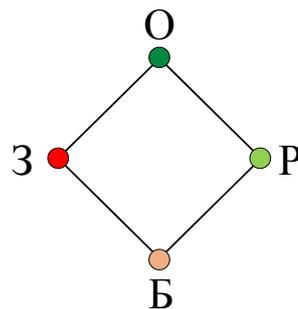


Рис. 3.6. Логический мир деонтических модальностей (норм):

O – обязательно, **P** – разрешено,
Б – безразлично, **З** – запрещено

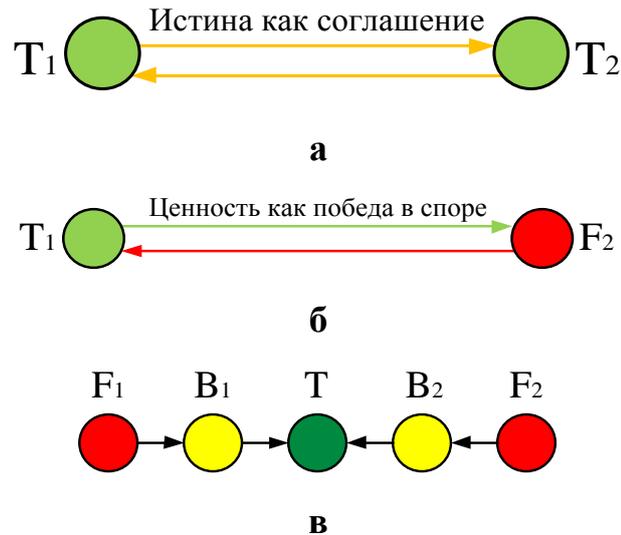


Рис. 3.7. Представление диалогических миров:
а) мир переговоров (согласованная истина);
б) мир спора (ценность как победа в споре);
в) мир Инь-Ян (истина как гармония)

3.3.7. Логические матрицы – инструмент алгебраического анализа логической прагматики

Важнейшим инструментом для единого алгебраического представления и исследования логических систем служат логические матрицы Лукасевича-Тарского. Под логической матрицей понимается тройка

$$\mathbf{LM} = \langle \mathbf{V}, \mathbf{O}, \mathbf{D} \rangle, \quad (3.4)$$

где \mathbf{V} есть непустое множество значений истинности; \mathbf{O} – множество операций над значениями истинности v из \mathbf{V} ; а $\mathbf{D} \subset \mathbf{V}$ – множество выделенных значений истинности. Очевидно, что логическая матрица (3.4) может быть представлена парой

$$\mathbf{LM} = \langle \mathbf{UA}, \mathbf{D} \rangle, \quad (3.4^*)$$

где \mathbf{UA} – универсальная алгебра с сигнатурой \mathbf{O} .

В разделе 3.3.4 уже отмечалось, что в общем случае в матрице используется как множество выделенных значений \mathbf{D}^+ , позволяющих обобщить понятие тавтологии на случай многозначных логик, так и множество антивыведенных

значений, позволяющих обобщить понятие лжи или противоречия, причем нередки случаи, когда

$$D^+ \cap D^- \neq \emptyset, \text{ а } D^+ \cup D^- \neq V.$$

В качестве конкретных примеров можно привести логическую матрицу классической логики $LM_{C2} = \langle \{0,1\}, \{\bar{}, \wedge, \vee, \rightarrow\}, \{1\} \rangle$ или логическую матрицу трехзначной логики Клини $LM_{K3} = \langle \{0, 0.5, 1\}, \{\bar{}, \wedge, \vee, \rightarrow_K\}, \{1\} \rangle$, где промежуточное значение истинности 0.5 суть «неопределенность», а основные логические операции (отрицание, конъюнкция, дизъюнкция, импликация соответственно) задаются с помощью соответствующих таблиц истинности. Еще одним примером служит бесконечнозначная логика Лукасевича $LM_{L\infty} = \langle [0, 1], \{\bar{}, \wedge, \vee, \rightarrow_L\}, \{1\} \rangle$, где промежуточные значения есть градации возможности, и для $\forall v, w \in [0,1], \bar{v} = 1-v, v \wedge w = \min(v, w), v \vee w = \max(v, w), v \rightarrow_L w = \min(1, 1-v+w)$.

Вариантом простого расширения логической матрицы для классической логики LM_{C2} является логическая матрица для модальной логики

$$LM_{ML} = \langle \{0,1\}, \{\bar{}, \wedge, \vee, \rightarrow, \diamond\} \{1\} \rangle, \quad (3.5)$$

где \diamond есть слабый положительный модальный оператор, например, «разрешено». Связь между сильным \square и слабым \diamond положительными модальными операторами задается в виде $\square p = \bar{\diamond} \bar{p}$, т.е. «обязательно p означает, что не разрешено не p».

Примером переосмысления LM_{C2} служит логическая матрица для нечеткой логики, основанной на треугольных нормах T и треугольных конормах S

$$LM_{GFL} = \langle [0, 1], \{n, T, S, I\}, [\alpha, 1] \rangle, \quad (3.6)$$

где n – произвольная операция отрицания, например $n(v) = 1 - v, \forall v \in [0,1], I(v, w) = S(n(v), w), \forall v, w \in [0,1], \alpha$ – некоторый порог истинности, $\alpha \in (0.5, 1)$.

В [107] понятие логической матрицы было расширено на случай ценностей и оценок. Была предложена так называемая псевдологическая матрица

$$PLM = \langle M, O, E \rangle, \quad (3.7)$$

где M есть непустое множество оценок (модальных значений) истинности; O – множество операций над оценками (значениями ценности) m из M; $a \in E \subset M$ – множество выделенных оценок. Здесь также можно рассматривать как эталонные

оценки (положительные образцы) E^+ , так и антиэталонные оценки (отрицательные образцы) E^- .

Отметим, что в матрице Лукасевича-Тарского предполагается возможность получения истинностной оценки высказывания вне зависимости от контекста, от условий оценки.

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 (3.4), записав ее в виде гранулярной матрицы

$$\text{GLM} = \langle \Lambda, V, 2^V O_g, D_g^+, D_g^- \rangle, \quad (3.8)$$

где Λ – 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 антивывделенных гранул.

Развитие аппарата логических матриц в плане построения гранулярных логических структур может опираться на обобщенную матрицу Вуйцицкого GLM_w

$$\text{GLM}_w = \langle \mathbb{A}, \mathbb{C} \rangle, \quad (3.9)$$

где \mathbb{A} – алгебра соответствующего типа с универсумом V , а \mathbb{C} – произвольное семейство подмножеств \mathbb{A} .

3.4. Трехзначные логические прагматики Васильева и его последователей

Логические модели понимания результатов измерений могут опираться на многозначные, паранепротиворечивые и парapolные логики [93, 179]. Одним из родоначальников этих логик был русский ученый из Казани Н.А. Васильев, который одним из первых сформулировал принцип логического плюрализма, отметив, что классическая логика является неединственной и неуниверсальной, подобно тому, как неединственной оказалась евклидова геометрия [15].

Возвращаясь к идеям Дж. С. Милля о том, что законы логики являются обобщением опыта, он также считал, что выполнение этих законов и выбор логики зависит от свойств окружающей реальности или наших ощущений (т.е. выражаясь современным языком, полагал, что логика зависит от принятых онтологий). Согласно Н.А. Васильеву, реальная человеческая логика отличается двойственным характером, а именно, она полуэмпирична, полурациональна, и поэтому ей может быть противопоставлена чисто формальная и рациональная дисциплина – металогика. Все внеэмпирические элементы и отношения в логике составляют металогику.

В результате Н.А. Васильев предложил многомерную (воображаемую) логику [15], а также ввел двухуровневую логическую структуру (эмпирическая логика и металогика). Он неоднократно подчеркивал, что существуют внутренние аналогии между геометрией Н.И. Лобачевского и воображаемой логикой. Исходным пунктом геометрии Лобачевского являлся отказ от знаменитого пятого постулата Эвклида о параллельных прямых, вследствие чего была построена геометрия, свободная от этого постулата. Аналогично отправной точкой логики Н.А. Васильева стал отказ от одного из важнейших законов аристотелевой логики – закона непротиворечия – и построение логики, свободной от этого закона.

Введение двухуровневой структуры позволяет глубже проникнуть в природу нашей логики, разделить в ней эмпирические и неэмпирические элементы. Изменяя онтологию, комбинируя различные свойства реальности, можно получить различные воображаемые логики. Этот метод в логике аналогичен сравнительному и экспериментальному методам в естествознании [15].

По сути, двухуровневая логическая структура может пониматься как ранний вариант логической грануляции, перехода от мелкозернистой к крупнозернистой прагматике.

Наглядной иллюстрацией варианта укрупненного представления результатов измерений средствами трехзначной логики и графики служит треугольник Васильева с раскрашенными вершинами (рис. 3.8).

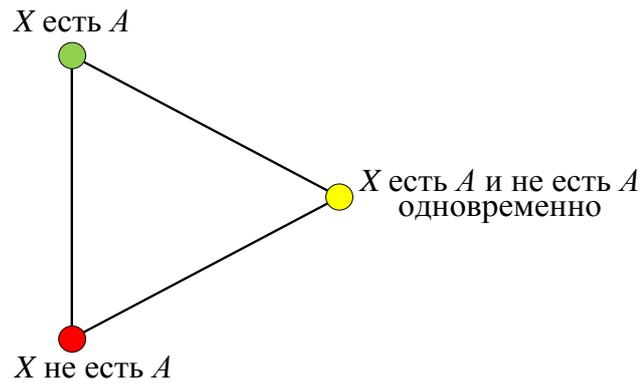


Рис. 3.8. Треугольник Васильева с раскрашенными вершинами

Здесь положительное высказывание « X есть A » соответствует предложению «значения измеренного параметра находятся в норме, т.е. в зеленой зоне», отрицательное высказывание « X не есть A » трактуется как «значения измеренного параметра существенно выходят за пределы нормы, т.е. находятся в красной зоне», а составное противоречивое высказывание « X есть A и не есть A одновременно» является примером логической гранулы, характеризующей «желтую зону» переопределенности, промежуточную между нормой и ее отрицанием.

В классической логике некоторая теория называется противоречивой, если в ней можно одновременно доказать и предложение, и его отрицание. Если при этом в теории можно доказать и произвольное предложение, то она называется тривиальной. Соответственно, паранепротиворечивой называется такая логика, которая не позволяет выводить из противоречия произвольное предложение. В ней не работает фундаментальный логический принцип классической логики: «из противоречия следует все, что угодно».

Объективной основой появления паранепротиворечивых логик является стремление отразить средствами логики специфику человеческого понимания переходных состояний. Примерами паранепротиворечивых логик служат: логика да Коста, логика Асеньо, логика Приста и др. (см. [68]).

Как уже отмечалось, паранепротиворечивый логический мир характеризуется тройкой $V_3 = \{T, B, F\}$, где $T = \{T\}$ и $F = \{F\}$ – два одноэлементных множества, а $B = \{T, F\}$ – двухэлементное множество. Определим на множестве V_3

два различных отношения порядка – порядок истинности $<_V$ и информационный порядок $<_I$. Очевидно, что $F <_V B <_V T$.

Для пояснения информационного порядка $<_I$ воспользуемся комбинаторным подходом А.Н. Колмогорова в теории информации, согласно которому количество информации пропорционально мощности множества, тогда $F <_I B$ и $T <_I B$. Цветные диаграммы Хассе, изображающие структуры паранепротиворечивого мира, представлены на рис. 3.9 а и рис. 3.9 б, где упорядоченное множество $\langle V_3, <_V \rangle$ образует решетку L_3 , а $\langle V_3, <_I \rangle$ – верхнюю полурешетку. На рис. 3.10 показаны варианты задания выделенных и антивывделенных значений в трехзначных паранепротиворечивых логиках.



Рис. 3.9. Структуры паранепротиворечивого логического мира:
а) логическая решетка L_3 ; б) информационная полурешетка, полученная поворотом L_3 на 90° влево

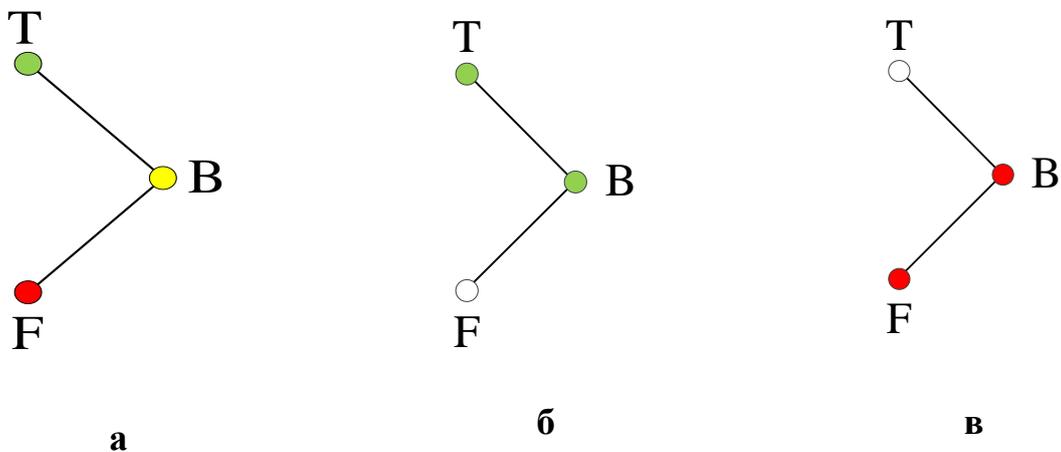


Рис. 3.10. Варианты задания выделенных (а, б) и антивывделенных (а, в) значений в трехзначных паранепротиворечивых логиках

3.4.1. Трехзначная логика Асеньо A_3

Трехзначная логика Асеньо A_3 описывается логической матрицей

$$LM_{A_3} = \langle \{T, B, F\}, \{\neg, \wedge\}, \{T, B\} \rangle \quad (3.10)$$

Здесь значение B понимается как «антиномия». Базовые операции логики Асеньо задаются следующими таблицами истинности

x	$\neg x$
T	F
B	B
F	T

$x \wedge y$	T	B	F
T	T	B	F
B	B	B	F
F	F	F	F

$x \vee y$	T	B	F
T	T	T	T
B	T	B	B
F	T	B	F

$x \rightarrow y$	T	B	F
T	T	B	F
B	T	B	B
F	T	T	T

3.4.2. Трехзначная логика Приста Pr_3

Г. Прист построил трехзначную логику Pr_3 , введя в качестве третьего истинностного значения «парадоксально», которое принимается в качестве второго выделенного значения (первое – T). Предложение будем называть парадоксальным, если оно истинно и ложно одновременно. Если предложение истинно и неложно, будем называть его «только истинным» и аналогично для «только ложного» предложения. Предложение истинно – его отрицание ложно. Отрицание истинного и ложного предложения истинно и ложно, т.е. парадоксально. Отрицание только истинного предложения только ложно. Отрицание только ложного предложения только истинно.

Таблица истинности импликации логики Приста соответствует таблице исходной импликации логики Клини K_3 (отличаясь только двумя выделенными значениями).

3.4.3. Трехзначная логика осмысленности В.К. Финна F_3

Одним из новых примеров логики оценок является трехзначная логика осмысленности В.К. Финна [125], родственная известной трехзначной логике Д.А. Бочвара. Ее логическая матрица записывается в виде

$$LM_{F_3} = \langle \{O, H, B\}, \{\neg, \rightarrow, \wedge, \vee\}, \{O\} \rangle, \quad (3.11)$$

где О, Н, Б суть логические значения «осмысленно», «неопределенно», «бессмысленно» соответственно, а основные логические связки определяются с помощью логических таблиц

х	$\neg x$												
О	Б	$x \rightarrow y$	О	Н	Б	$x \vee y$	О	Н	Б	$x \wedge y$	О	Н	Б
Н	Н	О	О	Н	Б	О	О	О	Б	О	О	Н	Б
Б	О	Н	О	О	Н	Н	О	Н	Б	Н	Н	Н	Б
		Б	Б	Н	О	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б

Предложенную логику F_3 , для которой в конъюнкции и дизъюнкции работает принцип «заражения бессмыслицей», можно назвать логикой с «сильной бессмыслицей». Но можно рассмотреть альтернативный вариант трехзначной логики осмысленности F_3' с другой дизъюнкцией

$x \vee y$	О	Н	Б
О	О	О	О
Н	О	Н	Н
Б	О	Н	Б

Это логика со «слабой бессмыслицей».

3.5. Трехзначные логические прагматики Клини

В условиях реального мира информация о некотором факте, выраженная предложением p , может быть недостаточно определенной. В своей работе «On a Notation for Ordinal Numbers» (см. [43]) С.К. Клини предложил трехзначную логику со значениями Т – истина, F – ложь и N – неопределенность, для которой не работает закон исключенного третьего, но зато справедлив закон исключенного четвертого $T \vee F \vee N$.

Логика Клини K_3 стала одной из первых (если не первой) из многозначных логик, опирающейся на эпистемологические соображения, что объясняет ее естественное использование в информатике. Согласно С.К. Клини, трехзначные логические связки должны определяться регулярными таблицами в следующем смысле: данный столбец (строка) содержит Т в строке (столбце) для N только при условии, что этот столбец (строка) состоит целиком из Т. Аналогичное условие принимается для F.

Соответственно параполный логический мир характеризуется тройкой $V_3 = \{T, N, F\}$, где $T = \{T\}$ и $F = \{F\}$ – два одноэлементных множества, а $N = \emptyset$.

Определим на множестве V_3 два различных отношения порядка – порядок истинности $<_v$ и информационный порядок $<_I$. Здесь $F <_v N <_v T$, но $N <_I F$ и $N <_I T$. Соответственно, упорядоченное множество $\langle V_3, <_v \rangle$ образует решетку, а $\langle V_3, <_I \rangle$ – верхнюю полурешетку (рис. 3.11).

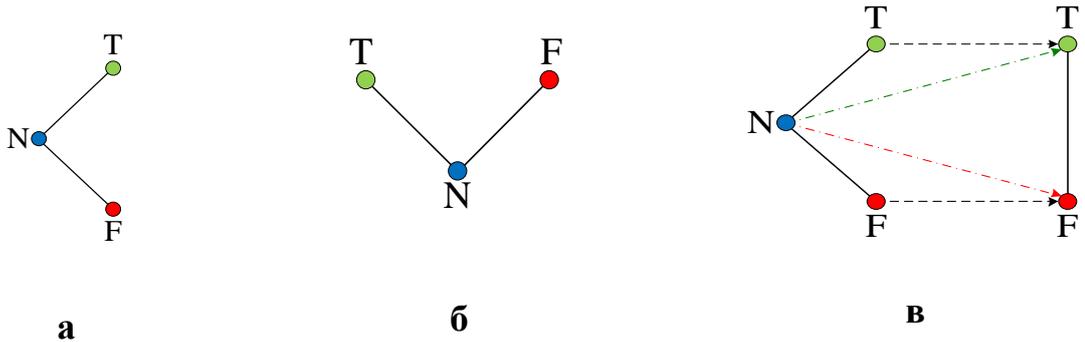


Рис. 3.11. Структуры параполного логического мира: а) решетка сильной логики Клини K_3 ; б) нижняя полурешетка; в) трехзначная эмпирическая логика Клини с неполной информацией и переход к металогики

Логику Клини K_3 можно описать логической матрицей

$$LM_{K_3} = \langle \{T, N, F\}, \{\neg, \vee\}, \{T\} \rangle, \tag{3.12}$$

где логические связи задаются следующими таблицами истинности

x	$\neg x$
T	F
N	N
F	T

$x \vee y$	T	N	F
T	T	T	T
N	T	N	N
F	T	N	F

$x \wedge y$	T	N	F
T	T	N	F
N	N	N	F
F	F	F	F

$x \rightarrow y$	T	N	F
T	T	N	F
N	T	N	N
F	T	T	T

Слабая логика Клини K_3^w отличается от K_3 принципом построения логических операций. Логику Клини в слабом смысле можно представить следующей матрицей

$$LM_{K_3^w} = \langle \{T, N, F\}, \{\neg, \supset\}, \{T\} \rangle. \tag{3.13}$$

Соответственно, слабые связи Клини задаются следующим образом

x	$\neg x$
T	F
N	T
F	T

$x \supset y$	T	N	F
T	T	F	F
N	T	T	T
F	T	T	T

$x \cup y$	T	N	F
T	T	T	T
N	T	F	F
F	T	F	F

$x \cap y$	T	N	F
T	T	F	F
N	F	F	F
F	F	F	F

3.6. Четырехзначные логические прагматики Данна-Белнапа

Одним из известных способов грануляции в логической семантике является переход к обобщенным значениям истинности (по Дж. Данну [146]), когда они задаются не на обычном множестве V , а на множестве всех подмножеств 2^V . Согласно Дж. Данну допускаются ситуации, когда высказывания являются одновременно и истинными, и ложными (отказ от принципа бивалентности), или не являются ни истинными, ни ложными. Первый из таких нестандартных случаев называют «пресыщенной оценкой» (Glut), а второй – «истиннозначным провалом» (Gap). Таким образом, истинность понимается как функция множества, т.е. ее значениями могут быть не только элементы множества V , но и любые его подмножества, включая пустое множество \emptyset , т.е. осуществляется переход от V к 2^V . Эти подмножества называются обобщенными истинностными значениями и вполне соответствуют трактовке истинности по Фреге-Черчу как обобщенного объекта. В простейшем случае для $|V| = 2$ имеем $2^V = \{T, B, N, F\}$, где $B = \{T, F\}$, $N = \emptyset$ (логическая прагматика Белнапа [143]).

При построении своей четырехзначной логики Белнап рассмотрел два отношения частичного порядка: порядок истинности \leq_v и порядок включения на множестве $\{\emptyset, \{T\}, \{F\}, \{T, F\}\}$. В первом случае имеем $F < N < T$ и $F < B < T$, а значения B и N , находящиеся между F и T , являются несравнимыми. Во втором случае получаем $\emptyset < \{T\} < \{T, F\}$ и $\emptyset < \{F\} < \{T, F\}$, т.е. T и F являются несравнимыми. Первый порядок задает полную решетку значений истинности, которая названа Белнапом логической решеткой $L4$ (рис. 3.12), а второму порядку соответствует решетка Скотта $A4$ (рис. 3.13), которую в данном контексте следует именовать информационной решеткой. При этом решетка Скотта получается путем поворота логической решетки Белнапа против часовой стрелки на 90° (рис. 3.14).

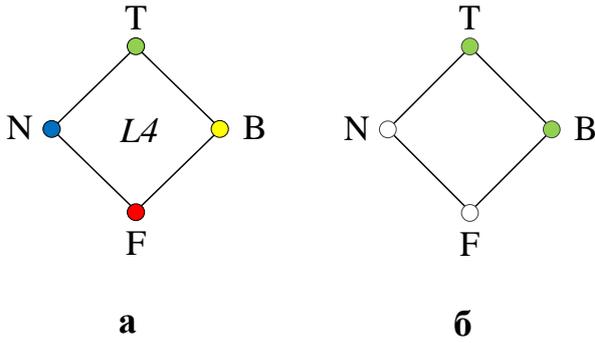


Рис. 3.12. Цветные диаграммы Хассе для решетки Белнапа (а) и выделенных значений в логике Белнапа (б)

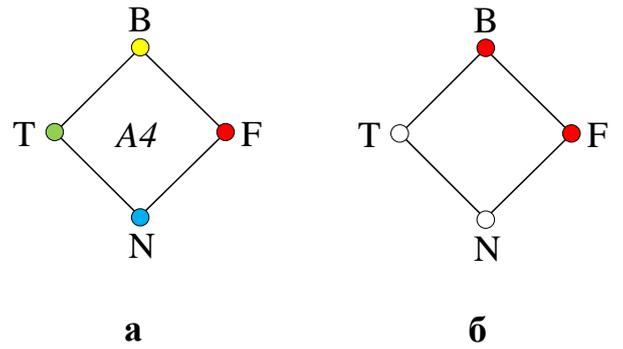


Рис. 3.13. Цветные диаграммы Хассе для решетки Скотта (а) и антивывделенных значений в логике Скотта (б)

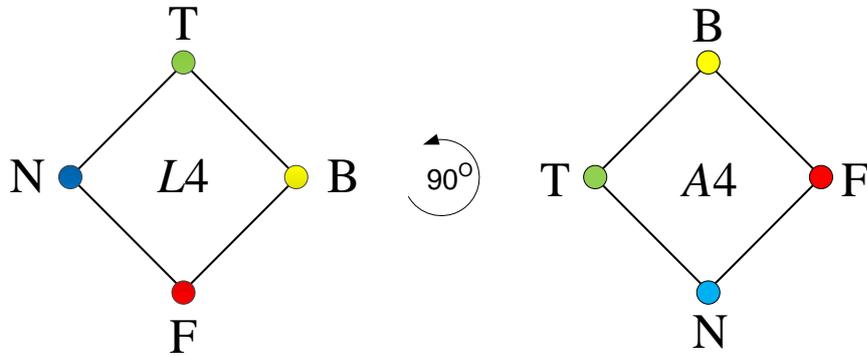


Рис. 3.14. Цветные диаграммы Хассе для логической решетки Белнапа L4 и двойственной ей информационной решетки A4

Истина теряет свой абсолютный онтологический характер и обретает связь с абстрактными эпистемическими ситуациями (в смысле Дж. Данна). Таким образом, фундаментальные логические законы становятся непосредственно связанными с информационными условиями, накладываемыми на логику.

x	$\neg x$
T	F
B	B
N	N
F	T

$x \vee y$	T	B	N	F
T	T	T	T	T
B	T	B	T	B
N	T	T	N	N
F	T	B	N	F

$x \wedge y$	T	B	N	F
T	T	B	N	F
B	B	B	F	F
N	N	F	N	F
F	F	F	F	F

$x \rightarrow y$	T	B	N	F
T	T	F	F	F
B	T	T	F	F
N	T	F	T	F
F	T	T	T	T

3.7. Когнитивные информационно-измерительные устройства Васильева, Клини и Белнапа

Как уже было сказано в п. 3.1, мы определяем КИИУ как датчик с процессором ИАД и интерпретатором, способный не только измерять значения некоторого параметра рассматриваемого объекта, но и интерпретировать (понимать) полученную информацию. Так для оценки и интерпретации численных показаний можно использовать трехзначную и четырехзначную логические прагматики.

Далее КИИУ, которое соответствует трехзначной прагматике, связанной с учетом противоречивой информации, будем называть васильевским в честь русского ученого – основателя паранепротиворечивых логик Н.А. Васильева.

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.

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

$$LM_{v4} = \langle \{T, B, N, F\}, \{\neg, \wedge, \vee\} \{F\} \rangle, \quad (3.14)$$

где \neg есть логическая операция составного отрицания, называемого отрицанием Белнапа, \wedge, \vee – операции конъюнкции и дизъюнкции в логике Белнапа, а F – антивыделенное значение [117].

Следует отметить, что в общем случае нет жестких границ между зеленой и желтой, желтой и красной зонами, что оправдывает формализацию этой ситуации с помощью размытых (затененных) множеств (Shadow Sets) В. Педрича [171]. Отсюда вытекают представления о переходе от четких к нечетким КИИУ, проиллюстрированные для КИИУ Васильева на рис. 3.15.



Рис. 3.15. Иллюстрация перехода от четкой к нечеткой трехзначной прагматики для КИИУ Васильева

Аналогичное представление для группы из трех датчиков Васильева изображено на рис. 3.16 [181].

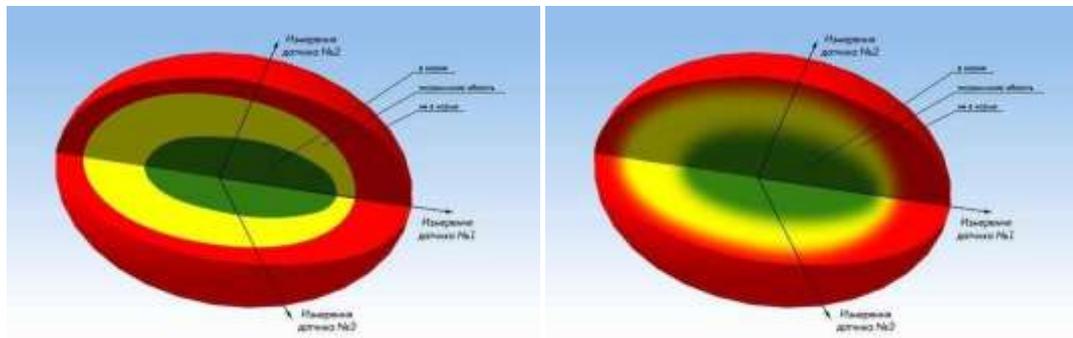


Рис. 3.16. Иллюстрация перехода от четкой к нечеткой прагматике при интерпретации данных от трех КИИУ Васильева

3.8. Интерпретации мультисенсорных данных

Прагматика когнитивной сенсорной сети [95, 118], состоящей из n васильевских КИИУ, будет описываться формулой 3ⁿ, а сети из n белнаповских КИИУ – формулой 4ⁿ, где n – целое число, $n > 1$. Так простейшая структура из

двух белнаповских КИИУ образует множество прагматических значений $4^2=16$, сеть из трех датчиков – $4^3 = 64$ и т.д. (по аналогии с [13]).

При построении логических гранул на основе мультисенсорных данных будем использовать произведения решеток и мультирешетки. Следуя Я.В. Шрамко [132], назовем n-мерной мультирешеткой (или просто n-решеткой) структуру вида

$$ML = \langle X, \leq_1, \dots, \leq_n \rangle, \quad (3.15)$$

где X есть непустое множество (например, $X = X_1 \times \dots \times X_n$), а \leq_1, \dots, \leq_n – отношения частичного порядка, определенные на X , так что $(X, \leq_1), \dots, (X, \leq_n)$ суть различные решетки.

Для приложений в логике когнитивных сенсорных сетей важную роль играют правильные мультирешетки, в которых все частичные порядки можно определить взаимно независимым образом.

3.9. Бирешеточные прагматики в интерпретации результатов совместных измерений

Возьмем в качестве базовой единицы когнитивной сенсорной сети минимальную микросеть, состоящую из двух датчиков. Тогда исходная задача состоит в построении прагматической структуры оценок измерений с помощью аппарата бирешеток.

Формальный аппарат бирешеток, предложенный М. Гинзбергом [150], а затем развитый М. Фитингом [149] и А. Авроном [140], нашел широкое применение в искусственном интеллекте. Так в [150] показаны приложения бирешеток в первопорядковых логиках, системах поддержки истинности и логиках умолчаний, в [149] рассмотрено их использование в задачах логического программирования, а в [140] описаны варианты немонотонных рассуждений и вывода с противоречивыми базами знаний на основе бирешеток. Бирешетки также получили применение при построении логик аргументации и диалоговых игр.

В настоящей работе предлагается использовать аппарат бирешеток для интерпретации результатов совместных измерений различных параметров в задаче мониторинга.

3.9.1. От биупорядоченного множества к бирешетке

Бирешетку естественно определять с помощью понятий биупорядоченного множества и предбирешетки [149].

Биупорядоченное множество есть структура вида $\mathbf{BOS} = \langle X, \leq_1, \leq_2 \rangle$, где X – непустое множество, содержащее, по крайней мере, два элемента, а \leq_1 и \leq_2 – два отношения частичного порядка. Эта структура становится предбирешеткой PBL , если оба упорядоченных множества $\langle X, \leq_1 \rangle$ и $\langle X, \leq_2 \rangle$ образуют полные решетки. Если $PBL = \langle X, \leq_1, \leq_2 \rangle$ – предбирешетка, то на ней можно задать одни операции объединения \vee и пересечения \wedge на решетке $\langle X, \leq_1 \rangle$, а другие операции объединения \oplus и пересечения \otimes – на решётке $\langle X, \leq_2 \rangle$. Следует отметить, что бимодальные системы образуют предбирешетки (но не бирешетки).

Для построения бирешетки необходимо установить связь между двумя отношениями порядка. Основоположник теории бирешеток М. Гинзберг (см. [150]) делает это с помощью специальной операции составного неоднородного отрицания, которая является естественным расширением отрицания Белнапа.

Отрицание Гинзберга есть функция

$$\neg: X \rightarrow X \quad (3.16)$$

которая удовлетворяет следующим условиям: $\forall x, y \in X$: 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) $\neg(\neg x) = x$.

Тогда бирешеткой называется четверка [150]

$$\mathbf{BL} = \langle X, \leq_1, \leq_2, \neg \rangle, \quad (3.17)$$

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 (3.16), удовлетворяющее условиям 1) – 3).

Очевидно, что бирешетка может строиться как алгебра с двумя различными операциями пересечения и объединения соответственно, т.е. задаваться шестеркой:

$$\mathbf{BL} = \langle X, \wedge, \vee, \otimes, \oplus, \neg \rangle, \quad (3.17^*)$$

где: 1) решетки $\langle X, \wedge, \vee \rangle$ и $\langle X, \otimes, \oplus \rangle$ – полные; 2) \neg есть отображение вида $\neg: X \rightarrow X$, такое что (а) $\neg^2 = 1$; (б) \neg есть гомоморфизм решетки $\langle X, \wedge, \vee \rangle$ в решетку $\langle X, \vee, \wedge \rangle$ и автоморфизм решетки $\langle X, \otimes, \oplus \rangle$.

Все конечные бирешетки можно представить графически с помощью двойных диаграмм Хассе, где по вертикали (снизу-вверх) отображается один порядок, а по горизонтали (слева-направо) – другой порядок. Здесь классическим примером служит минимальная бирешетка «4» с порядком истинности \leq_v и информационным порядком \leq_i (см. рис. 3.17).

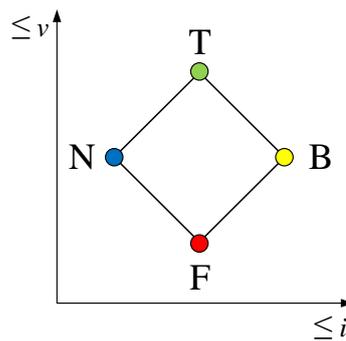


Рис. 3.17. Диаграмма Хассе для бирешетки «4»

3.9.2. Примеры девятизначных бирешеток для интерпретации бисенсорных данных

На рис. 3.18 и 3.19 приведены цветные диаграммы Хассе для двух бирешеток «9» = 3^2 , характеризующих интерпретацию данных от двух КИИУ Васильева и двух КИИУ 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).

Из рис. 3.18 и рис. 3.19 видно, что, например, $T_1T_2 >_v N_1T_2 >_v F_1T_2 >_v F_1N_2 >_v F_1F_2$, и $T_1T_2 >_v T_1B_2 >_v T_1F_2 >_v B_1F_2 >_v F_1F_2$.

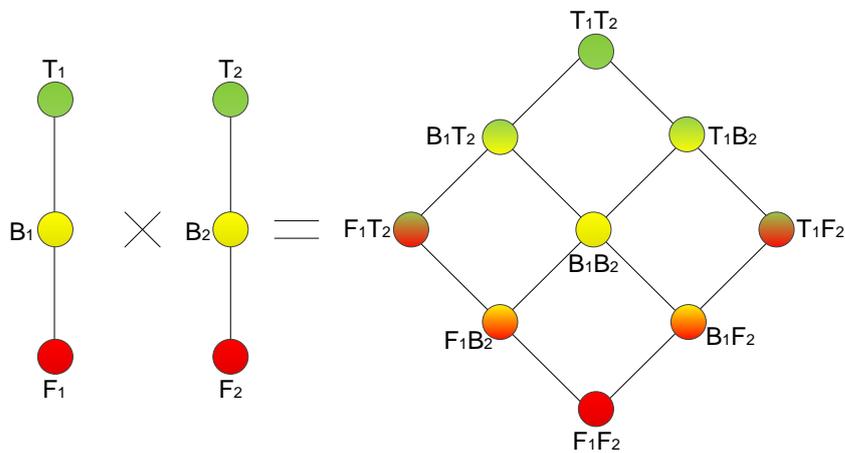


Рис. 3.18. Пример бирешетки «9» как произведений трехзначных логик КИИУ с двумя сенсорами Васильева

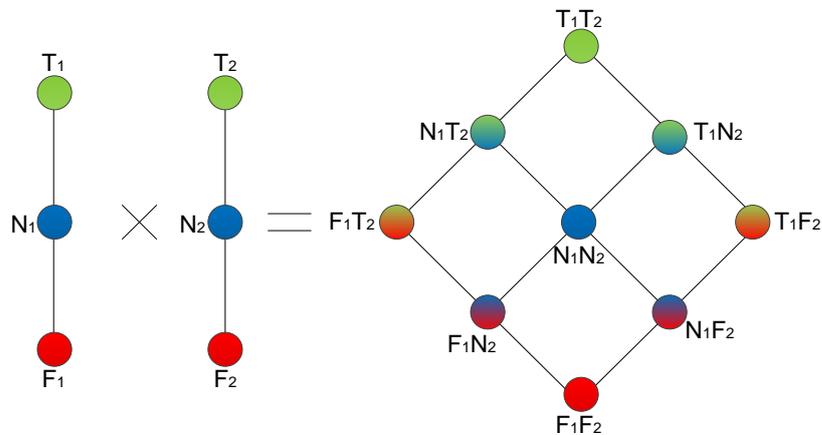


Рис. 3.19. Пример бирешетки «9» как произведений трехзначных логик КИИУ с двумя сенсорами Клини

3.9.3. Построение бирешетки «14» для интерпретации данных от двух белнаповских КИИУ

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. Таким образом, строим бирешетку с $|V|=14$. Примеры основных операций для «14» приведены ниже.

Прагматика информации от двух КИИУ Белнапа (или двух сенсоров одного КИИУ Белнапа) представлена на рис. 3.20, а общая карта отказов и предотказов для системы мониторинга сложных объектов приведена на рис. 3.21 [48, 180].

p	$\neg p$	$\neg p p$
T_1T_2	F_1F_2	T_1T_2
N_1T_2	N_1F_2	B_1T_2
T_1N_2	F_1N_2	T_1B_2
T_1B_2	F_1B_2	T_1N_2
B_1T_2	B_1F_2	N_1T_2
N_1N_2	N_1N_2	B_1B_2
T_1F_2	F_1T_2	T_1F_2
F_1T_2	T_1F_2	F_1T_2
B_1B_2	B_1B_2	N_1N_2
N_1F_2	N_1T_2	B_1F_2
F_1N_2	T_1N_2	F_1B_2
F_1B_2	T_1B_2	F_1N_2
B_1F_2	B_1T_2	N_1F_2
F_1F_2	T_1T_2	F_1F_2

Ниже дана цветная таблица истинности для дизъюнкции.

p v q	T_xT_y	T_xB_y	B_xT_y	B_xB_y	B_xF_y	F_xB_y	F_xT_y	T_xF_y	N_xT_y	T_xN_y	N_xN_y	F_xN_y	N_xF_y	F_xF_y
T_xT_y														
T_xB_y	T_xT_y	T_xB_y	T_xT_y	T_xB_y	T_xB_y	T_xB_y	T_xT_y	T_xB_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xB_y	T_xB_y
B_xT_y	T_xT_y	T_xB_y	B_xT_y	B_xT_y	B_xT_y	B_xT_y	T_xT_y	T_xB_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xB_y	B_xT_y
B_xB_y	T_xT_y	T_xB_y	B_xT_y	B_xB_y	B_xB_y	B_xB_y	B_xT_y	T_xB_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	B_xT_y	T_xB_y	B_xB_y
B_xF_y	T_xT_y	T_xB_y	B_xT_y	B_xB_y	B_xF_y	B_xB_y	B_xT_y	T_xF_y	T_xT_y	T_xN_y	T_xN_y		T_xF_y	B_xF_y
F_xB_y	T_xT_y	T_xB_y	B_xT_y	B_xB_y	B_xB_y	F_xB_y	F_xT_y	T_xB_y	N_xT_y	T_xT_y	N_xT_y	F_xT_y		F_xB_y
F_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	B_xT_y	B_xT_y	B_xT_y	F_xT_y	F_xT_y	T_xT_y	N_xT_y	T_xT_y	N_xT_y	F_xT_y	N_xT_y	F_xT_y
T_xF_y	T_xT_y	T_xB_y	T_xT_y	T_xB_y	T_xF_y	T_xB_y	T_xT_y	T_xF_y	T_xT_y	T_xN_y	T_xN_y	T_xN_y	T_xF_y	T_xF_y
N_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	N_xT_y	N_xT_y	T_xT_y	N_xT_y	T_xT_y	N_xT_y	N_xT_y	N_xT_y	N_xT_y
T_xN_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xN_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xN_y	T_xT_y	T_xN_y	T_xN_y	T_xN_y	T_xN_y	T_xN_y
N_xN_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xT_y	T_xN_y	N_xT_y	N_xT_y	T_xN_y	N_xT_y	T_xN_y	N_xN_y	N_xN_y	N_xN_y	N_xN_y
F_xN_y	T_xT_y	T_xT_y	B_xT_y	B_xT_y		F_xT_y	F_xT_y	T_xN_y	N_xT_y	T_xN_y	N_xN_y	F_xN_y	N_xN_y	F_xN_y
N_xF_y	T_xT_y	T_xB_y	T_xT_y	T_xB_y	T_xF_y		N_xT_y	T_xF_y	N_xT_y	T_xN_y	N_xN_y	N_xN_y	N_xF_y	N_xF_y
F_xF_y	T_xT_y	T_xB_y	B_xT_y	B_xB_y	B_xF_y	F_xB_y	F_xT_y	T_xF_y	N_xT_y	T_xN_y	N_xN_y	F_xN_y	N_xF_y	F_xF_y

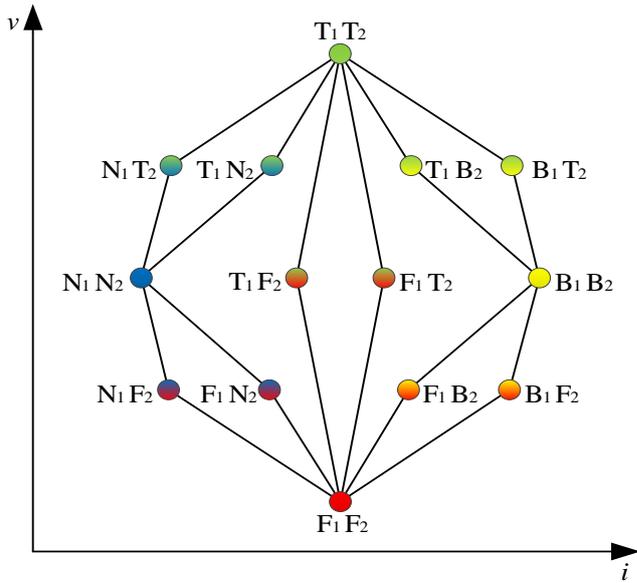


Рис. 3.20. Бирешеточное представление прагматики диалогов белнаповских КИИУ

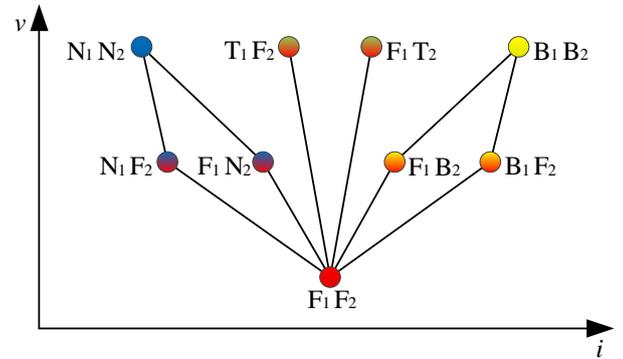


Рис. 3.21. Совмещенная карта отказов и предотказов

В результате предложена следующая схема разрешения частичных противоречий в сенсорных сетях систем мониторинга (рис. 3.22) с помощью агентов разных уровней [48, 97, 180]. Здесь агент верхнего уровня отождествляется с лицом, принимающим решение, искусственный агент среднего уровня является субординатором по отношению к обычным сенсорам сети, а сами сенсоры понимаются как микроагенты нижнего уровня .

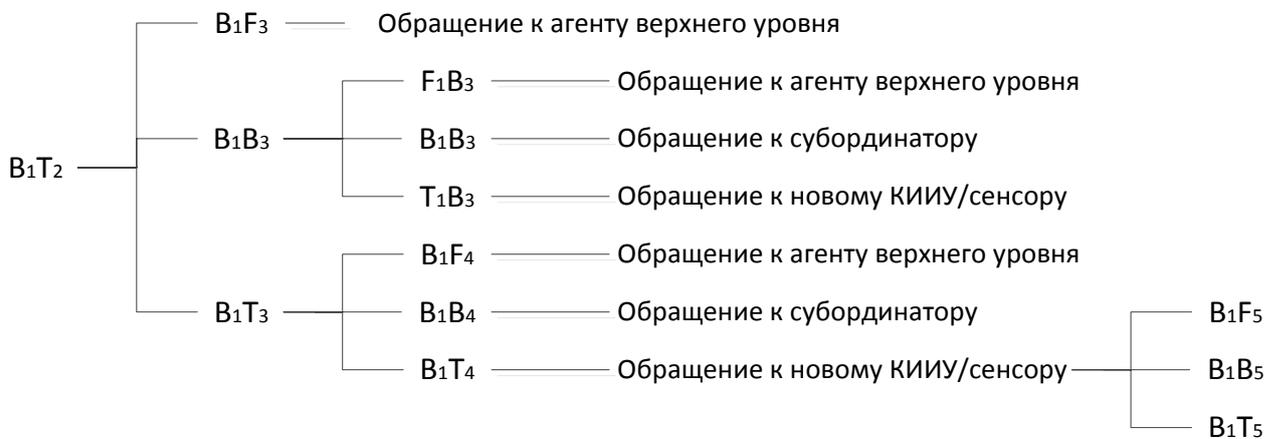


Рис. 3.22. Карта работы с предотказами в сенсорных сетях

Из нее видно, что обнаружение предотказа 2-го рода предполагает немедленное обращение к лицу, принимающему решения, разрешением согласованного противоречия занимается субординатор (например, путем замены пары КИИУ или сенсоров в КИИУ), а диагностирование предотказа 1-го рода требует включения дополнительного КИИУ в базовую единицу сети.

3.10. Метод логико-алгебраического синтеза КИИУ

На основе системного анализа и интеграции моделей, построенных выше, предложен общий метод построения КИИУ [99, 180], представленный в виде алгоритма синтеза. Схема этого алгоритма приведена на рис. 3.23.

Из этого рисунка видно, что важнейшими этапами логико-алгебраического синтеза являются: 1) определение принципа действия КИИУ, неотделимое от выбранной модели понимания; 2) задание степени точности измерений и степени грануляции прагматических оценок; 3) определение исходного типа КИИУ с возможностью его последующей замены на базе алгебраической модели структуры логических значений; 4) построение номенклатуры требуемых КИИУ и определение их числа; 5) предварительная и окончательная интерпретации результатов измерений в контексте решения проблем мониторинга.

3.11. Выводы по главе 3

Главное содержание третьей главы составляет описание логико-алгебраического подхода к построению КИИУ и разработка общей методики их синтеза для гибридных систем приобретения знаний нового поколения на основе моделей логических миров (формула 3.2), расширенных логических матриц (формула 3.8), гранулярных значений истинности и цветных диаграмм Хассе (формула 3.14 и рисунки 3.18-3.21).

Получены следующие результаты:

1. Введено понятие КИИУ и двухуровневая схема его организации как устройства грануляции измерительной информации.

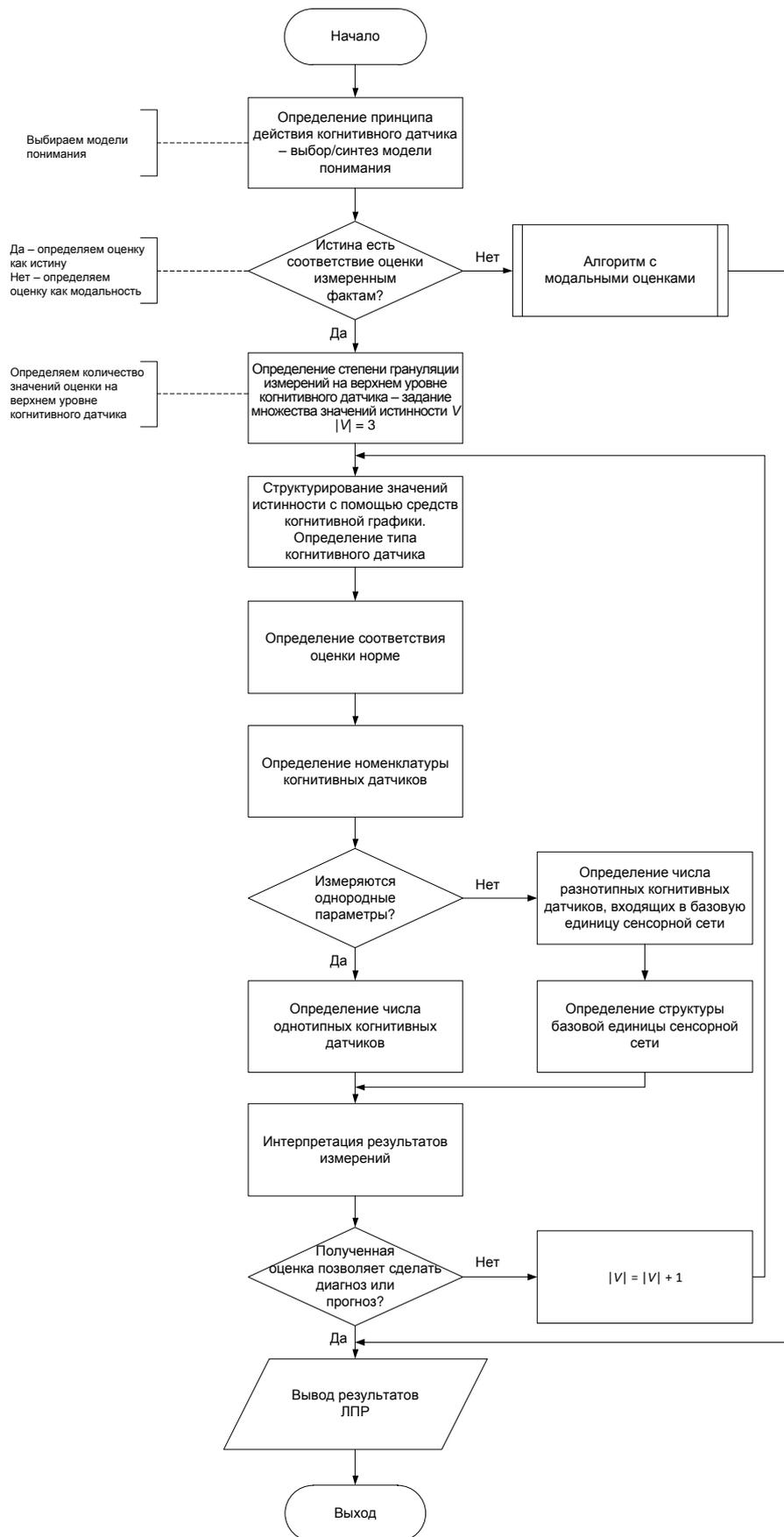


Рис. 3.23. Схема алгоритма синтеза КИИУ для мониторинга технических объектов

2. Предложены варианты построения крупнозернистых гранул (логико-лингвистических оценок) в КИИУ с помощью многозначных и нечетких логик.

3. Исследована проблема автоматического понимания результатов измерений. Проанализированы различные трактовки понимания и выбрана его аксиологическая интерпретация, которая предполагает использование как различных теорий истинности, так и систем модальностей.

4. В русле разработки логико-алгебраического подхода к синтезу КИИУ предложены формальные модели логических миров, которые опираются как на представление истинностных значений в виде алгебраических структур, в частности, полурешеток, решеток и произведений решеток, так и на определение различных порядков в этих структурах.

5. Обоснована целесообразность перехода от логической семантики к логической прагматике при разработке логических подходов к интерпретации результатов измерений.

6. Предложен вариант приложения идей и подходов когнитивной графики, введенной Д.А. Пospelовым и А.А. Зенкиным, в прикладной логике, на основе «метафоры цвета». Введены наглядные (цветные и узорчатые) представления логических прагматик измерений («светофорная прагматика» и «орнаментная прагматика»).

7. На основе формального представления базовых парapolных, паранепротиворечивых и паранормальных логических систем введено понятие КИИУ Клини, Васильева и Белнапа.

8. Построены бирешетки «9» и «14» для интерпретации бисенсорной информации.

9. Разработаны методика логико-алгебраического синтеза КИИУ и соответствующий алгоритм, представленный в виде блок-схемы.

ГЛАВА 4. МОДЕЛЬ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МОСТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Как было сказано в главе 1, одной из наиболее актуальных задач мониторинга является обеспечение безопасности движения автомобильного транспорта по мостовым переходам. В России мосты прокладываются в различных географических и климатических зонах, преодолевают реки, горные хребты, тайгу и болота. Всё это определяет необходимость выделения и учета ключевых метеорологических факторов, влияющих на безопасность движения.

Проблема мониторинга является комплексной и включает в себя следующие задачи: измерение ключевых характеристик сложных технических объектов и их физико-технической среды, а также интерпретацию результатов измерений; анализ протекания процессов в наблюдаемых объектах и диагностику их текущих состояний, принятие решения, связанного с эксплуатацией моста (обеспечением безопасности движения по мосту) или его техническим обслуживанием (например, укреплением опор). Соответственно, знания в интеллектуальных системах мониторинга получают различными путями: на основе анализа и интерпретации результатов измерений, экспертных оценок, диагностических и прогностических рассуждений, формализуемых в виде нечетких и нейро-нечетких моделей вывода (см. [8, 16, 63, 135]).

4.1. Исследование влияния метеорологических факторов на безопасность движения по мосту и состояние опор моста

Рассмотрим сочетание подобных факторов на примере нового Крымского моста. В его окрестности наблюдаются сложные природно-климатические условия. В регионе бывают сильные, порой ураганные ветры, которые могут привести к аварийным ситуациям с машинами на мосту протяженностью 19 км.

В условиях перемены температур нередко возникают гололедные явления. Ветры, осадки, ледяные дожди (но обледенение может быть и без них), высокая влажность, – все это опасно с точки зрения скольжения транспорта. Также

вызывает беспокойство высокая сейсмика, возможны землетрясения до 9 баллов. Сейсмические колебания могут быть вертикальными и горизонтальными, опоры могут колебаться асинхронно, что связано с риском потери устойчивости основного пролета моста.

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 обосновываются необходимые меры по техническому обслуживанию моста в зависимости от скорости и густоты ледохода.

4.2. Задача обеспечения безопасности движения транспорта по мостовым переходам

Главными погодными условиями, влияющими на безопасность движения по мосту, являются ветер (его скорость и направление движения относительно объекта) и осадки, которые в свою очередь влияют на состояние проезжей части, по которой движутся автомобили. Для измерения данных параметров применяются следующие датчики:

- **Анемометр** – измерительный прибор, предназначенный для определения скорости ветра, а также для измерения скорости направленных воздушных и газовых потоков (более подробно см. приложение А).

- **Температурный датчик**, термистор или терморезистор – полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление которого существенно убывает или возрастает с ростом температуры.

- **Датчики состояния поверхности дорожного полотна**, предназначенные для дистанционных измерений температуры поверхности дорожного полотна, толщины слоя воды, снега, льда на поверхности дорожного полотна. На основе данных о температуре поверхности микропроцессором рассчитывается коэффициент сцепления колес автомобиля с поверхностью дорожного полотна.

Рассмотрим подробнее главную метеорологическую базовую характеристику для мостового перехода – скорость ветра и связанное с ней ветровое давление.

4.2.1. Базовые характеристики: ветровая нагрузка, сила и скорость ветра

Автомобиль, проезжая по мосту, подвергается воздействию воздушного потока, и, чем выше скорость потока, тем с большей силой автомобиль отклоняется от траектории движения.

Здесь следует учитывать скорость ветра, его изменение, силу ветра, а также состояние дорожного полотна.

Основную опасность при движении автомобиля по открытой местности (в том числе по мосту) представляет так называемый боковой ветер, действующий перпендикулярно движению машины.

При расчете ветровой нагрузки необходимо учитывать как скорость воздействующего ветра, так и габариты автомобиля, высоту мостового пролета. Также для определения расчетных нагрузок под воздействием ветра высокой скорости должно быть использовано структурное динамическое моделирование. Данная модель должна использоваться для определения нагрузок, возникающих под воздействием ветра в заданном диапазоне скоростей, учитывая турбулентность воздушного потока [60].

Сила ветра может быть рассчитывается по формуле

$$F = V^2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot C_x \cdot K_\pi \cdot (1 + \varepsilon \cdot m) \cdot S, \text{ (Н)} \quad (4.1)$$

где V – скорость ветра, характеризующая неупорядоченный стохастический характер пульсаций ветра в приземном слое, позволяющая считать, что распределение пульсаций ветрового потока подчиняется нормальному закону распределения Гаусса, м/с;

ρ – плотность воздуха, зависящая от высоты мостового пролета, температуры, давления и влажности воздуха, кг/м³;

C_x – аэродинамический коэффициент лобового сопротивления, который показывает степень аэродинамической устойчивости. Для большинства современных автомобилей он равен 0,75;

m – коэффициент пульсации скоростного напора, учитывающий динамические действия порывов ветра, определяющихся климатическими условиями, рельефом местности, высотой расположения объекта;

K_n – поправочный коэффициент на возрастание скоростного напора на высоте, определяет неравномерное распределение скорости ветра по вертикали;

S – площадь действия ветровой нагрузки, равная площади борта автомобиля;

ε – коэффициент динамичности, учитывающий реакцию автомобиля на пульсацию ветра в зависимости.

В таблице 4.1 представлены значения силы ветра в зависимости от его скорости и величины обтекаемого препятствия. В приложении В приведены расчеты силы ветра в зависимости от скорости ветра и размеров объекта.

Таблица 4.1 – Сила ветра, воздействующая на объект

Скорость ветра в м/с	1	5	10	15	20	25	30	40	50
Сила на 1 м ² , Н	0,9	22,5	90	202,5	360	608	810	1440	2250
Сила на 7,2 м ² , Н	6,5	162	648	1458	2592	4374	5832	10368	16200
Сила на 12 м ² , Н	10,8	270	1080	2430	4320	7290	9720	17280	27000
Сила на 29 м ² , Н	26,1	653	2610	5873	10440	17618	23490	41760	65250

Для анализа ветровой обстановки принято использовать шкалу Бофорта (таблица 4.2) [142].

Таблица 4.2 – Шкала Бофорта

Сила ветра у земной поверхности по шкале Бофорта (на стандартной высоте 10 м над открытой ровной поверхностью)				
Баллы Бофорта	Словесное определение силы ветра	Скорость ветра, м/сек	Действие ветра	
			на суше	на море
0	Штиль	0-0,2	Штиль. Дым поднимается вертикально	Зеркально гладкое море
1	Тихий	0,3-1,5	Направление ветра заметно по относительному дыму, но не по флюгеру	Рябь, пены на гребнях нет

Сила ветра у земной поверхности по шкале Бофорта (на стандартной высоте 10 м над открытой ровной поверхностью)				
Баллы Бофорта	Словесное определение силы ветра	Скорость ветра, м/сек	Действие ветра	
			на суше	на море
2	Лёгкий	1,6-3,3	Движение ветра ощущается лицом, шелестят листья, приводится в движение флюгер	Короткие волны, гребни не опрокидываются и кажутся стекловидными
3	Слабый	3,4-5,4	Листья и тонкие ветви деревьев всё время колышутся, ветер развеивает верхние флаги	Короткие, хорошо выраженные волны. Гребни, опрокидываясь, образуют стекловидную пену, изредка образуются маленькие белые барашки
4	Умеренный	5,5-7,9	Ветер поднимает пыль и бумажки, приводит в движение тонкие ветви деревьев	Волны удлиненные, белые барашки видны во многих местах
5	Свежий	8,0-10,7	Качаются тонкие стволы деревьев, на воде появляются волны с гребнями	Хорошо развитые в длину, но не очень крупные волны, повсюду видны белые барашки (в отдельных случаях образуются брызги)
6	Сильный	10,8-13,8	Качаются толстые сучья деревьев, гудят телеграфные провода	Начинают образовываться крупные волны. Белые пенистые гребни занимают значительные площади (вероятны брызги)
7	Крепкий	13,9-17,1	Качаются стволы деревьев, идти против ветра трудно	Волны громоздятся, гребни срываются, пена ложится полосами по ветру
8	Очень крепкий	17,2-20,7	Ветер ломает сучья деревьев, идти против ветра очень трудно	Умеренно высокие длинные волны. По краям гребней начинают взлетать брызги. Полосы пены ложатся рядами по направлению ветра
9	Шторм	20,8-24,4	Небольшие повреждения; ветер срывает дымовые колпаки и черепицу	Высокие волны. Пена широкими плотными полосами ложится по ветру. Гребни волн начинают опрокидываться и рассыпаться в брызги, которые ухудшают видимость
10	Сильный шторм	24,5-28,4	Значительные разрушения строений, деревья вырываются с корнем. На суше бывает редко	Очень высокие волны с длинными загибающимися вниз гребнями. Образующаяся пена выдувается ветром большими хлопьями в виде густых белых полос. Поверхность моря белая от пены. Сильный грохот волн подобен ударам. Видимость плохая
11	Жестокий шторм	28,5-32,6	Большие разрушения на значительном пространстве. На суше наблюдается	Исключительно высокие волны. Суда небольшого и среднего размера временами скрываются из вида. Море всё покрыто

Сила ветра у земной поверхности по шкале Бофорта (на стандартной высоте 10 м над открытой ровной поверхностью)				
Баллы Бофорта	Словесное определение силы ветра	Скорость ветра, м/сек	Действие ветра	
			на суше	на море
			очень редко	длинными белыми хлопьями пены, располагающимися по ветру. Края волн повсюду сдуваются в пену. Видимость плохая.
12	Ураган	32,7 и более		Воздух наполнен пеной и брызгами. Море всё покрыто полосами пены. Очень плохая видимость

Недостатки шкалы Бофорта связаны с попыткой установления взаимно-однозначного соответствия между измеренным числовым значением скорости ветра и его словесной характеристикой. Переход к обычным интервалам в шкале Бофорта также не решает эту проблему. Нами предлагается единый подход к определению и исследованию воздействий различных метеорологических факторов на основе лингвистических переменных. Так, например, вводится ЛП «скорость ветра» (рис. 4.1) с термами, составляющими фазифицированную незначительно укрупненную шкалу Бофорта:

Скорость ветра = {очень слабая, слабая, довольно слабая, умеренная, довольно сильная, сильная, очень сильная, исключительно сильная}.

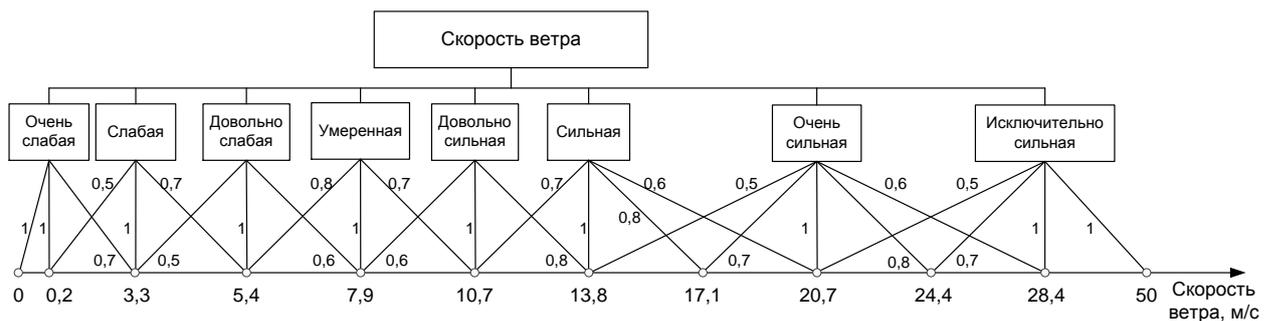


Рис. 4.1. Лингвистическая переменная «Скорость ветра»

На рис. 4.2 приведена функция принадлежности для термов лингвистической переменной «Скорость ветра».

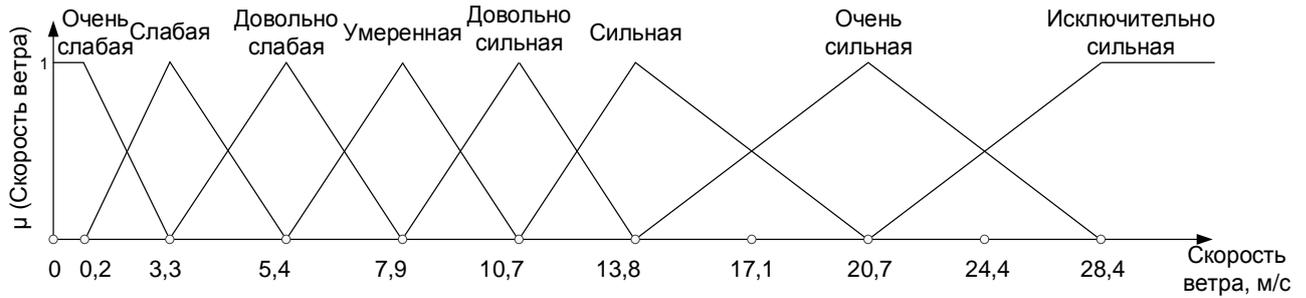


Рис. 4.2. Функции принадлежности для термов лингвистической переменной «Скорость ветра»

4.2.2. Базовые характеристики: Форма и количество осадков

Введем составную ЛП (СЛП) «осадки», которая разделяется на две обычные ЛП «форма осадков» и «количество осадков» (рис. 4.3).

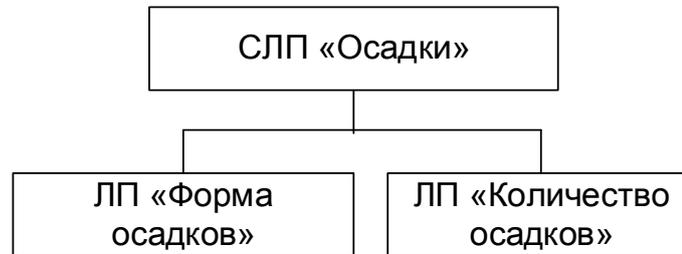


Рис. 4.3. К понятию СЛП «Осадки»

Здесь «Форма осадков» есть ЛП со следующими терм-множеством {дождь, ледяной дождь, иней, мокрый снег, снег}. Данные термы отражают тип осадков, выпавших в данный момент, основываясь на показаниях температурного датчика.

ЛП «Количество осадков» имеет следующее терм-множество: {отсутствие, малое, среднее, большое}. Данные термы отражают количество выпавших осадков, основываясь на показаниях датчиков видимости, а также датчика состояния дорожного полотна.

4.2.3. Базовая характеристика: сцепление с дорогой

Сцепление колес автомобиля с дорогой влияет на его устойчивость при движении и безопасность маневров. Основная сила, препятствующая смещению машины при воздействии на нее силы ветра, является сила трения скольжения колес по проезжей части

$$F = k \cdot mg \text{ (Н)}, \quad (4.2)$$

где k – коэффициент трения скольжения, зависящий от состояния дорожного полотна;

m – масса, кг;

g – гравитационная постоянная, $\text{м}^3/(\text{кг}\cdot\text{с}^2)$;

Можно выделить четыре основных состояния дороги в зависимости от погодных условий: сухая дорога, мокрая дорога, заснеженная дорога (слякоть) и наледь.

В таблице 4.3 рассчитаны значения силы трения скольжения в зависимости от состояния полотна и массы автомобиля. В приложении Г представлены расчеты силы трения для трех видов машин при разных состояниях дорожного полотна.

Таблица 4.3 – Сила трения скольжения колеса автомобиля по дорожному покрытию

Тип покрытия	Коэффициент k	Масса, кг		
		1600	2700	14350
Шина по сухому асфальту	0,50-0,75	7856	13257	70458
Шина по влажному асфальту	0,35-0,45	5500	9280	49321
Шина по заснеженной дороге	0,30-0,40	4713	7954	42275
Шина по гладкому льду	0,15-0,25	2357	3977	21138

Состояние дорожного полотна представляется одноименной ЛП, принимающей следующие значения: сухое, мокрое, заснеженное, обледенелое.

4.2.4. Система нечетких рассуждений в задаче мониторинга

Системы нечеткого вывода предназначены для преобразования значений входных переменных процесса управления в выходные переменные на основе использования нечетких продукционных правил [34, 62]. Для этого системы нечеткого вывода должны содержать базу нечетких продукционных правил и реализовывать нечеткий вывод заключений на основе посылок или условий, представленных в форме нечетких лингвистических высказываний.

Таким образом, основными этапами нечеткого вывода являются:

- Формирование базы правил систем нечеткого вывода.
- Фазификация входных переменных.
- Этап композиции (агрегации, аккумуляции) подзаключений в нечетких продукционных правилах.
- Приведение к четкости (этап дефазификации).

Общий вид структуры нечеткого логического вывода представлен на рис.

4.4.

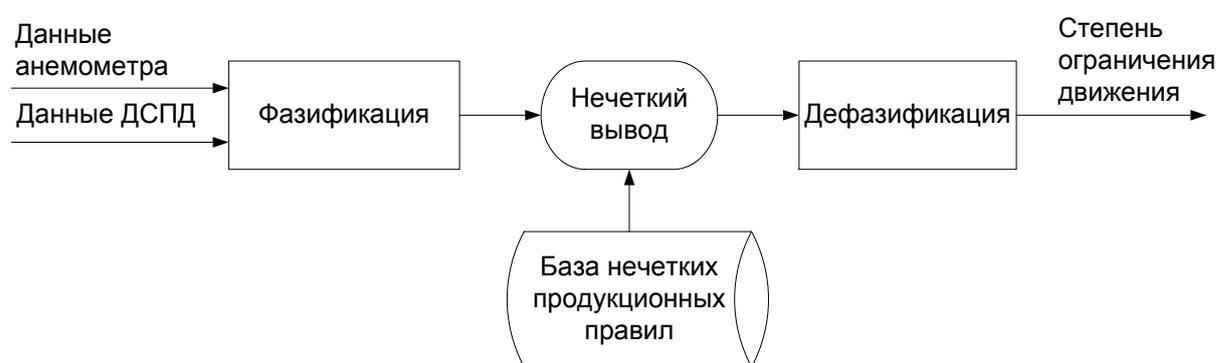


Рис. 4.4. Система нечеткого логического вывода

Продукционная нечеткая система или система нечетких правил продукции представляет собой совокупность правил вида *ЕСЛИ, ТО*.

Каждое из правил имеет некоторый вес или коэффициент определенности, который определяет значимость правила или уверенность в степени истинности заключения, получаемого по отдельному нечеткому правилу. В качестве условий и заключений каждого из правил используются нечеткие выражения.

Основой системы нечетких продукционных правил является лингвистическая переменная [34, 54] «Скорость ветра».

В таблице 4.4 представлен фрагмент системы нечетких продукционных правил модели поддержки принятия решений об ограничении движения автотранспорта по мосту в зависимости от погодных условий. Посылками правил являются значения ЛП «скорость ветра», «изменение скорости ветра», «состояние дороги», а заключением является ЛП «движение» с деонтическими базовыми

значениями «разрешено», «ограничено», «запрещено» и составными терминами «слабо ограничено», «сильно ограничено» [47].

**Таблица 4.4 – Нечеткие продукционные правила
ограничения движения по мосту**

Термы ЛП «скорость ветра»	Продукционные правила
Очень слабая	Если скорость ветра = очень слабая И изменение скорости ветра = малое И состояние дороги = сухое, то движение = разрешено Если скорость ветра = очень слабая И изменение скорости ветра = малое И состояние дороги = мокрая, то движение = разрешено
Слабая	Если скорость ветра = слабая И изменение скорости ветра = малое И состояние дороги = сухое, то движение = разрешено
Довольно слабая	Если скорость ветра = довольно слабая И изменение скорости ветра = малое И состояние дороги = сухое, то движение = разрешено
Умеренная	Если скорость ветра = умеренная И изменение скорости ветра = малое И состояние дороги = сухое, то движение = разрешено Если скорость ветра = умеренная И изменение скорости ветра = усиление И состояние дороги = обледенелая, то движение = слабо ограничено Если скорость ветра = умеренная И изменение скорости ветра = значительное усиление И состояние дороги = обледенелая, то движение = сильно ограничено
Сильная	Если скорость ветра = сильная И изменение скорости ветра = малое И состояние дороги = сухое, то движение = разрешено Если скорость ветра = сильная И изменение скорости ветра = незначительное усиление И состояние дороги = мокрая, то движение = слабо ограничено Если скорость ветра = сильная И изменение скорости ветра = усиление И состояние дороги = мокрая, то движение = сильно ограничено Если скорость ветра = сильная И изменение скорости ветра = значительное усиление И состояние дороги = мокрая, то движение = запрещено Если скорость ветра = сильная И изменение скорости ветра = незначительное усиление И состояние дороги = заснеженная, то движение = слабо ограничено Если скорость ветра = сильная И изменение скорости ветра = усиление И состояние дороги = заснеженная, то движение = сильно ограничено Если скорость ветра = сильная И изменение скорости ветра = значительное усиление И состояние дороги = заснеженная, то движение = запрещено Если скорость ветра = сильная И изменение скорости ветра = не меняется И состояние дороги = обледенелая, то движение = слабо ограничено Если скорость ветра = сильная И изменение скорости ветра = незначительное усиление И состояние дороги = обледенелая, то движение = сильно ограничено Если скорость ветра = сильная И изменение скорости ветра = усиление И состояние дороги = обледенелая, то движение = запрещено

4.2.5. Алгоритмы вывода

Алгоритм Мамдани. Алгоритм Мамдани является одним из первых, который нашел применение в системах нечеткого вывода. Он был предложен в 1975 г. английским математиком Э. Мамдани в качестве метода для управления паровым двигателем. По своей сути этот алгоритм порождает рассмотренные выше этапы, поскольку в наибольшей степени соответствует их параметрам.

Формально алгоритм Мамдани может быть определен следующим образом:

1) Формирование базы правил систем нечеткого вывода. Особенности формирования базы правил совпадают с рассмотренными выше при описании данного этапа.

2) Фазификация входных переменных. Особенности фазификации совпадают с рассмотренными выше при описании данного этапа.

3) Агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций. Для нахождения степени истинности условий каждого из правил нечетких продукций используются парные нечеткие логические операции. Те правила, степень истинности условий которых отлична от нуля, считаются активными и используются для дальнейших расчетов.

4) Активизация подзаключений в нечетких правилах продукций. При этом для сокращения времени вывода учитываются только активные правила нечетких продукций.

5) Аккумуляция заключений нечетких правил продукций. Осуществляется по формуле для объединения нечетких множеств, соответствующих термам подзакключений, относящихся к одним и тем же выходным лингвистическим переменным.

6) Дефазификация выходных переменных. Традиционно используется метод центра тяжести в форме или метод центра площади.

Алгоритм Сугено. Формально алгоритм, предложенный Сугено и Такаги, может быть определен следующим образом [54].

1) Формирование базы правил систем нечеткого вывода. В базе правил используются только правила нечетких продукций в форме:

ПРАВИЛО <#>: ЕСЛИ " X_1 есть A_1 " И " X_2 есть A_2 " ТО " Y есть $a_1 A_1 + a_2 A_2$ ".

Здесь a_1, a_2 – некоторые весовые коэффициенты. При этом значение выходной переменной Y в заключении определяется как некоторое действительное число.

2) Фазификация входных переменных. На данном этапе необходимо при помощи функций принадлежности определить степень принадлежности входных значений соответствующим нечётким множествам.

3) Агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций. Для нахождения степени истинности условий всех правил нечетких продукций, как правило, используется стандартная логическая операция конъюнкции. Те правила, степень истинности условий которых отлична от нуля, считаются активными и используются для дальнейших расчетов.

4) Активизация подзаключений в нечетких правилах продукций. Во-первых, находятся значения степеней истинности всех заключений правил нечетких продукций. Во-вторых, осуществляется расчет обычных (не нечетких) значений выходных переменных каждого правила.

5) Аккумуляция заключений нечетких правил продукций. Фактически отсутствует, поскольку расчеты осуществляются с обычными действительными числами a_j .

6) Дефазификация выходных переменных. Используется модифицированный вариант в форме метода центра тяжести для одноточечных множеств.

4.2.6. Реализация модели в системе Matlab с помощью алгоритма Мамдани

В модуле нечетких рассуждений по ограничению движения на мосту используется алгоритм нечеткого вывода по Мамдани (рис. 4.5) со следующими входными ЛП:

- Скорость ветра, в м/с, с термами, составляющими несколько укрупненную фазифицированную шкалу Бофорта (рис. 4.6):

Скорость ветра = {очень слабая, слабая, довольно слабая, умеренная, довольно сильная, сильная, очень сильная, исключительно сильная}.

- Изменение скорости ветра – ЛП в м/с^2 со следующими термами (рис. 4.7):

Изменение скорости ветра = {значительное ослабление, ослабление, незначительное ослабление, не изменяется, незначительное усиление, усиление, значительное усиление}.

Данная ЛП отражает быстроту перехода от одного термина входной переменной «Скорость ветра» к другому.

- Состояние дороги, со следующими терминами (рис. 4.8):

Состояние дороги = {обледенелая, заснеженная, мокрая, сухая}.

Данные термины отражают коэффициент трения скольжения шины по дороге при различных погодных условиях.

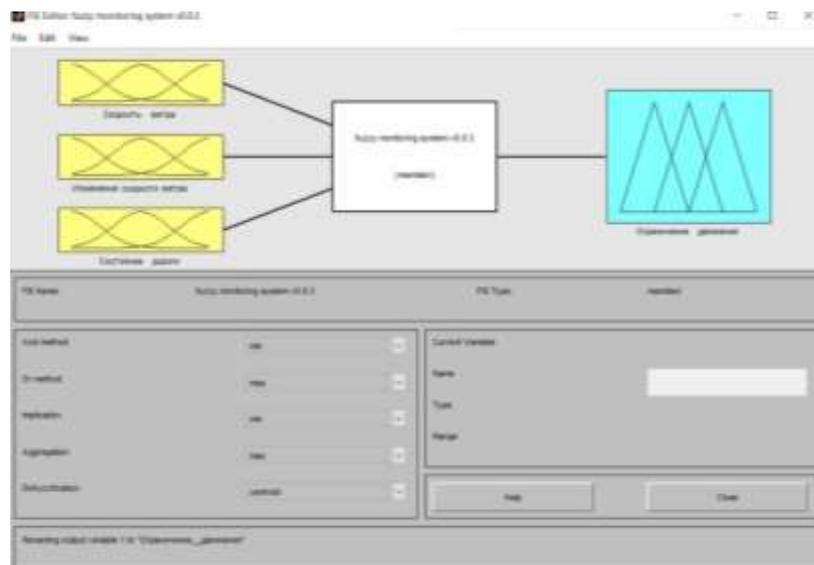


Рис. 4.5. Система нечеткого вывода Мамдани

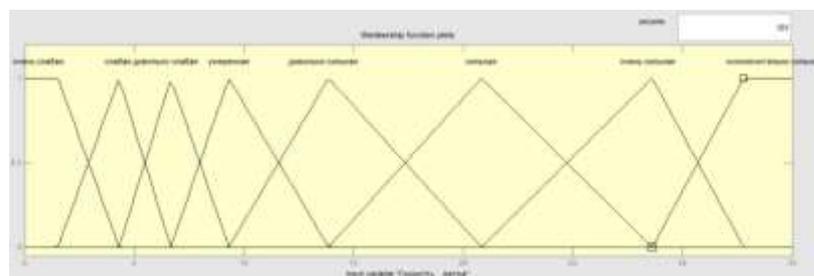
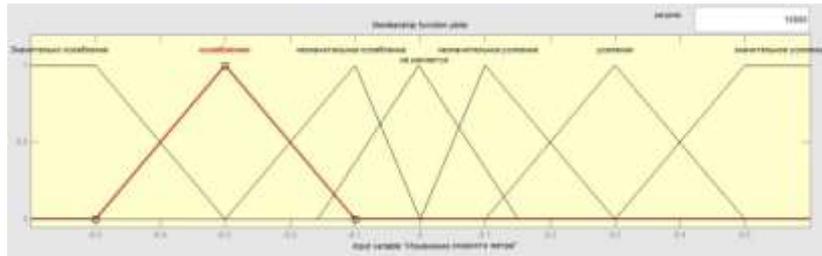
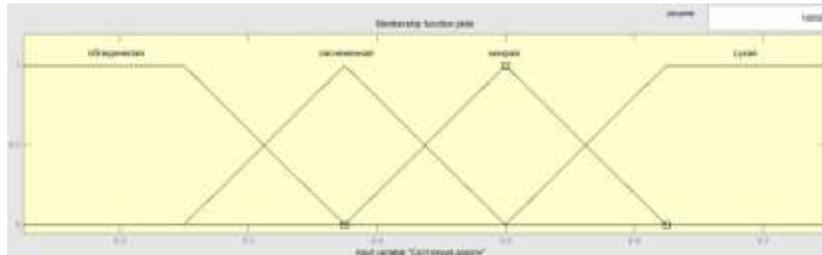


Рис. 4.6. Функции принадлежности значений входной ЛП «Скорость ветра»



**Рис. 4.7. Функции принадлежности значений входной ЛП
«Изменение скорости ветра»**



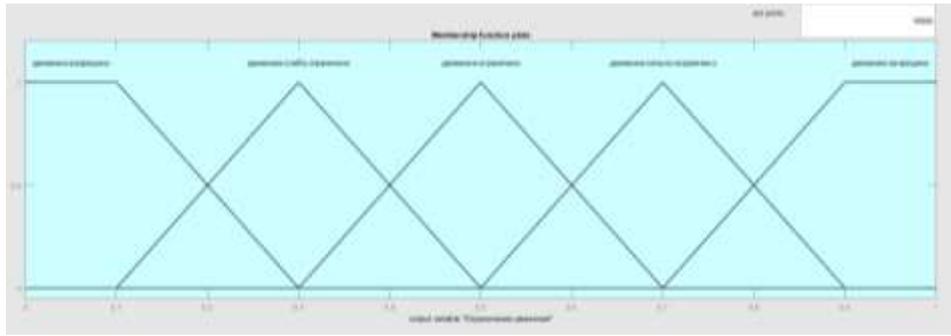
**Рис. 4.8. Функции принадлежности значений входной ЛП
«Состояние дороги»**

На выходе имеем пять возможных значения для ограничения движения по мосту (рис. 4.9):

- движение разрешено;
- движение слабо ограничено;
- движение ограничено;
- движение сильно ограничено;
- движение запрещено.

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.



**Рис. 4.9. Функции принадлежности значений выходной ЛП
«Ограничение движения»**

К машинам первого типа можно отнести легковые машины классов А–F, а также внедорожники, примерной площадью борта в 7 м^2 и снаряженной массой 1,6 т.

К машинам второго типа относятся грузовые машины малых габаритов, такие как ГАЗ-2705, примерной площадью борта в 12 м^2 , снаряженной массой 2,7 т.

К машинам третьего типа (не указанного в диаграмме) можно отнести тяжелые грузовые машины больших габаритов, такие как КамАЗ-65222, примерной площадью борта в 29 м^2 и снаряженной массой 14,35 т.

В приведенных ранее таблицах 4.1 и 4.3 для данных типов машин представлены расчеты действующей на них силы ветра, а также силы трения скольжения.

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

На основе имеющихся входных и выходных переменных создана база из 224 продукционных правила, часть из них была описана ранее в таблице 4.4.

Решения, полученные с помощью нечеткой системы, представлены в виде нечеткой поверхности принадлежности (рис. 4.10). Согласно полученной поверхности, степень ограничения движения прямо пропорциональна значению скорости ветра, в то время как от быстроты изменения скорости ветра зависит уровень порога перехода от одной степени ограничения к другой. При одном и том же значении переменной «Скорость ветра», в зависимости от значения «Изменение скорости ветра», значение на выходе системы варьируется от отсутствия ограничения до полного ограничения.

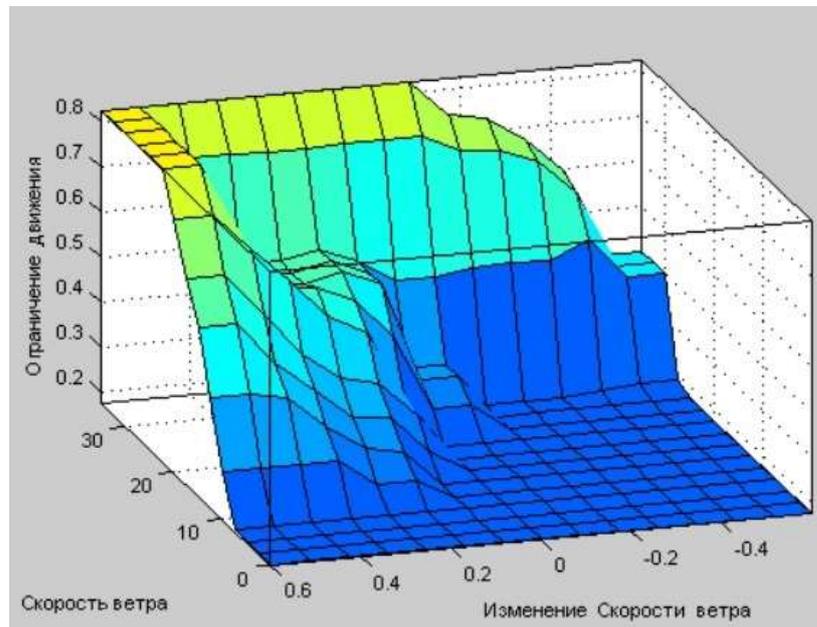


Рис. 4.10. Поверхность нечеткого вывода

4.2.7. Реализация гибридной нейро-нечеткой модели в системе ANFIS

Примером гибридной технологии служит реализация базы нечетких правил на нейросети. Основным преимуществом технологии нейросетей служит возможность выразить зависимость «выход-вход» на основе обучения без предварительной аналитической работы. Недостатком нейросетей является невозможность объяснить выходной результат, так как значения распределены по нейронам в виде значений коэффициентов весов.

Простой реализацией базы нечетких правил служит интерпретация базы правил как таблицы определения некоторой функции. Чтобы совместить две технологии – нечетких систем и нейронных сетей, – необходимо предложить

способ четкого дискретного представления непрерывных функций принадлежности.

Другой способ представления нечеткого понятия в виде четких данных состоит в представлении нечеткого множества как совокупности α -срезов.

Глубинная интеграция нечетких систем и нейросетей связана с разработкой новой архитектуры элементов нейросети. Речь идет о переходе от классических нейронов к нечетким нейронам. Примером нечеткого нейрона может служить И-нейрон, для которого характерно преобразование

$$y = \min \{ \max (w_1, x_1) \max (w_2, x_2) \}, \quad (4.3)$$

где нейрон имеет вид $y = f(w_1 * x_1 + w_2 * x_2)$.

Изменение элемента нейросети для адаптации к нечетким системам может касаться выбора функции активации, реализации операции сложения и умножения, так как в нечеткой логике сложение моделируется любой треугольной конормой, а операция умножения – треугольной нормой [62, 135].

Нечеткая нейросеть функционирует стандартным образом на основе четких действительных чисел. Нечеткой является только интерпретация результатов. При создании гибридной технологии можно использовать нейронную сеть для решения частной подзадачи настройки параметров функции принадлежности. В качестве функции принадлежности можно выбирать параметризованную функцию формы (например, гауссова функция с параметрами b, a), параметры которой уточняются с помощью нейросетей.

Нечёткие нейронные сети с одной стороны позволяют разрабатывать и представлять модели систем в форме правил нечётких продукций, с другой стороны, для построения правил нечётких продукций используются методы нейронных сетей.

Гибридная сеть ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) представляет собой нейронную сеть с единственным выходом и несколькими входами, которые представляют собой нечеткие лингвистические переменные. При этом термы входных лингвистических переменных описываются стандартными для системы Matlab функциями принадлежности, а термы

выходной переменной представляются линейной или постоянной функцией принадлежности. Сеть ANFIS является системой нечеткого вывода типа Сугено, в которой каждое из правил нечетких продукций имеет постоянный вес, равный 1.

Слои нечеткой нейронной сети ANFIS выполняют следующие функции [135]:

- Слой 1 – представлен РБФ-нейронами и моделирует функции принадлежности.
- Слой 2 – это слой И-нейронов, которые моделируют логическую связку произведением.
- Слой 3 – вычисляет нормированную силу правила, т.е. относительная степень выполнения правила.
- Слой 4 – формирует значение выходной переменной, рассчитывает вклад одного нечеткого правила в выход сети.
- Слой 5 – выполняет деаггрегацию, т.е. суммирует вклады всех правил.

На рисунке 4.11 представлена архитектура ANFIS-сети.

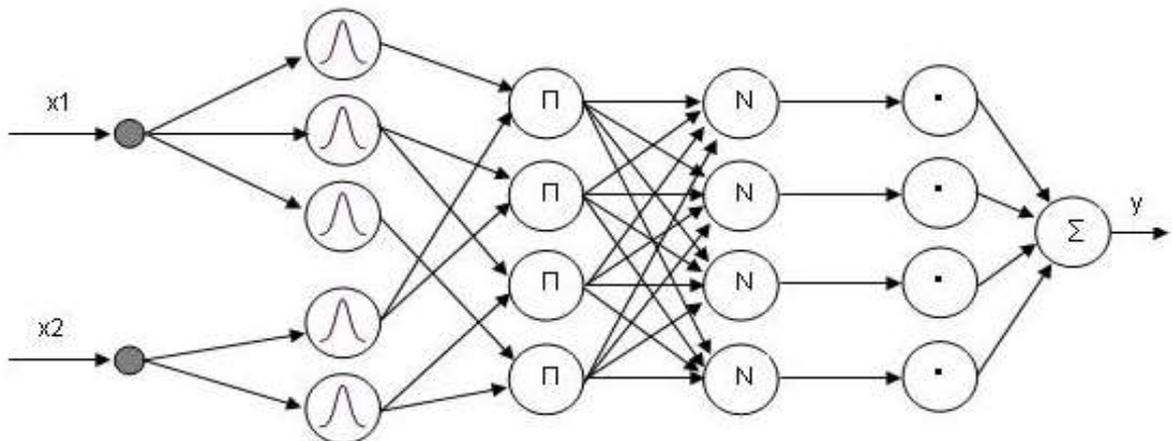


Рис. 4.11. Архитектура ANFIS-сети

Методика обучения сети ANFIS может использовать либо алгоритм обратного распространения ошибки, либо гибридный алгоритм, который представляет собой комбинацию метода градиентного спуска и метода наименьших квадратов. Чаще используют второй алгоритм.

Алгоритм обратного распространения ошибки настраивает параметры функций принадлежности. Методом наименьших квадратов оцениваются коэффициенты заключений правил, так как они линейно связаны с выходом сети. Каждая итерация процедуры настройки выполняется в два этапа. На первом этапе на вход подается обучающая выборка и методом наименьших квадратов по невязке между желаемым и полученным значением находятся оптимальные параметры четвертого слоя. На втором этапе остаточная невязка передается с входа на выходы, и градиентным методом модифицируются параметры узлов первого слоя. При этом найденные на первом этапе коэффициенты заключений правил не меняются. Итерации продолжаются, пока невязка превышает нужное значение.

Для реализации гибридной нейросети ANFIS была применена модель нечеткого вывода Сугено (рис. 4.12) со следующими входными ЛП:

- Скорость ветра, в м/с, с термами, составляющими фазифицированную шкалу Бофорта (рис.4.13):

Скорость ветра = {очень слабая, слабая, довольно слабая, умеренная, довольно сильная, сильная, очень сильная, исключительно сильная}.

- Форма осадков – ЛП со следующими термами:

Форма осадков = {дождь, ледяной дождь, иней, мокрый снег, снег}.

Данные термы отражают тип осадков, выпавших в данный момент, основываясь на показаниях температурного датчика. Функция принадлежности ЛП приведена на рис. 4.14.

- Количество осадков, со следующими термами:

Количество осадков = {отсутствие, малое, среднее, большое}.

Данные термы отражают количество выпавших осадков, основываясь на показаниях датчиков видимости, а также датчика состояния дорожного полотна. Функция принадлежности ЛП приведена на рис. 4.15.

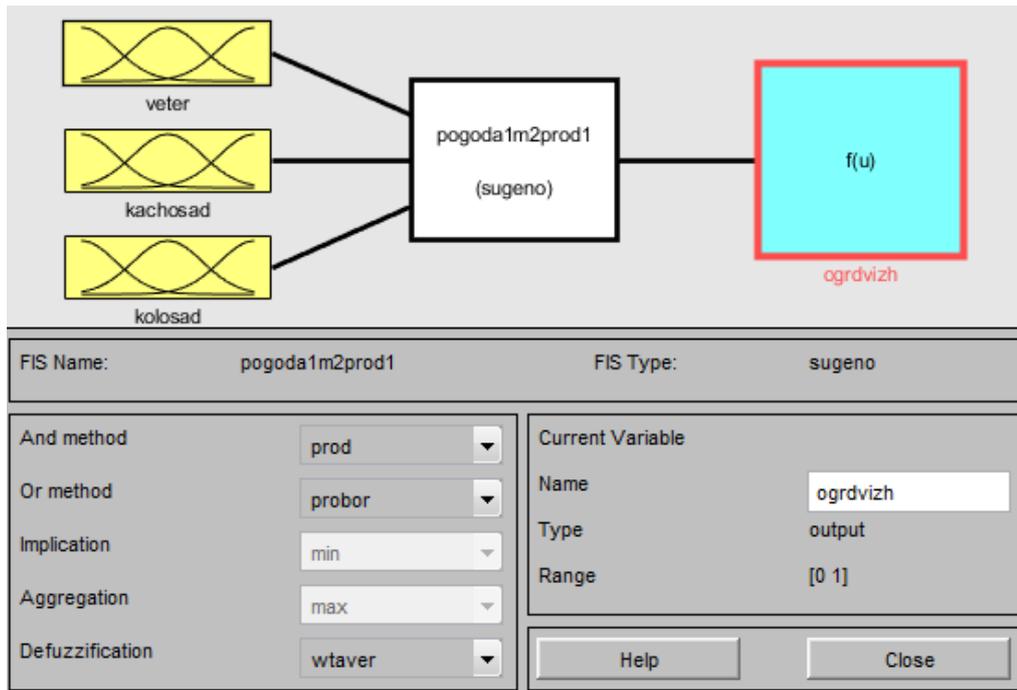


Рис. 4.12. Нечеткая модель типа Сугено

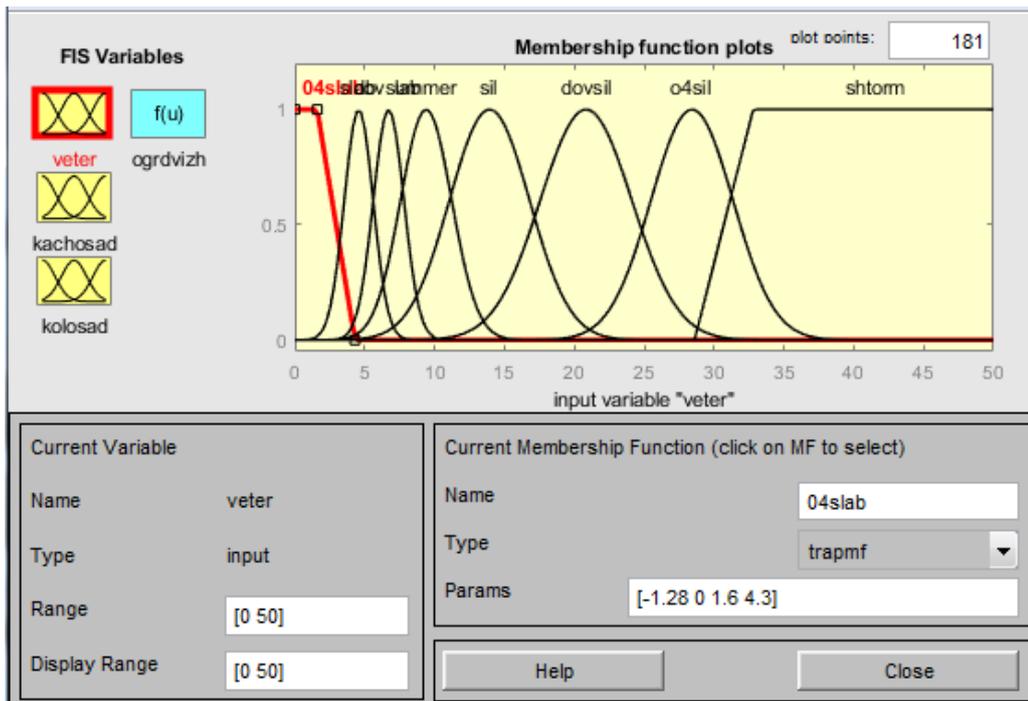


Рис. 4.13. Функция принадлежности «скорость ветра»

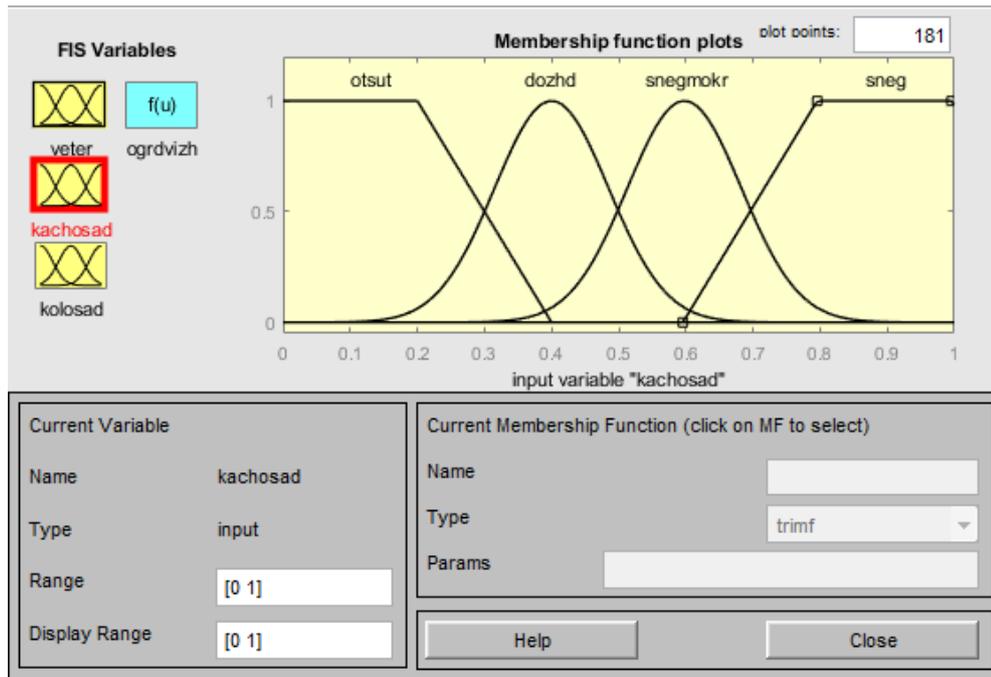


Рис. 4.14. Функции принадлежности значений ЛП «форма осадков»

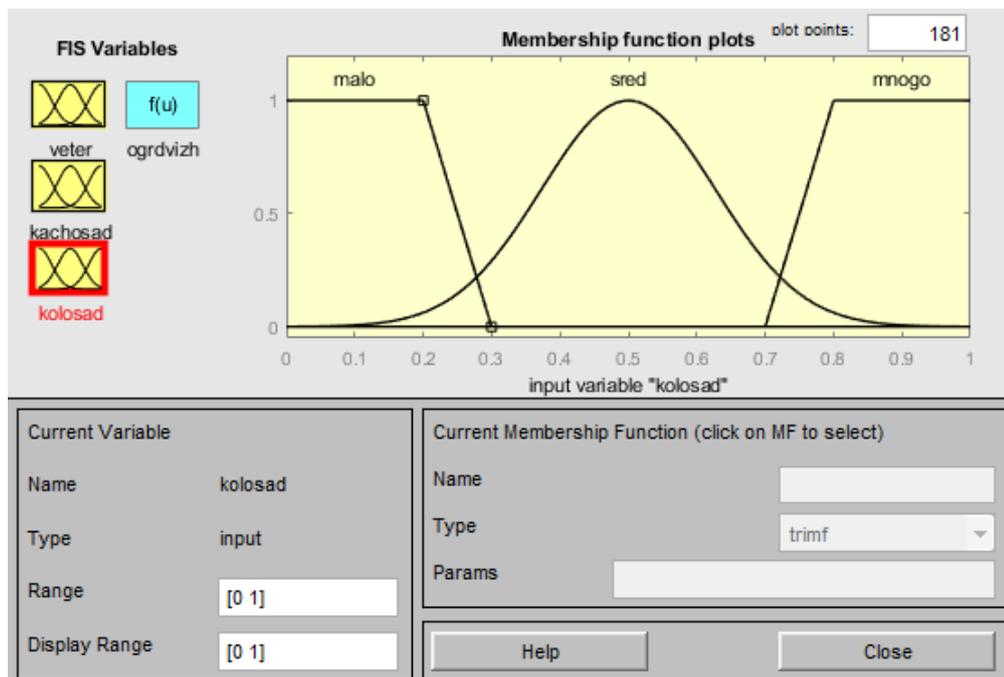


Рис. 4.15. Функции принадлежности значений ЛП «количество осадков»

На выходе имеем всё те же значения для ограничения движения:

- движение разрешено;
- движение слабо ограничено;
- движение ограничено;
- движение сильно ограничено;
- движение запрещено.

4.2.8. Система нечетких продукционных правил и реализация нейро-нечеткого вывода

Система нечетких продукционных правил сформулирована следующим образом:

- ЕСЛИ скорость ветра *слабая* И форма осадков *снег* И количество осадков *много*, ТО движение *ограничено*.
- ...
- ЕСЛИ скорость ветра *очень сильная* И форма осадков *снег* И количество осадков *много*, ТО движение *запрещено*.

Составлено 80 правил. Нечеткий вывод осуществляется по модели Сугено, так как система ANFIS работает только с таким типом нечеткого вывода. Количество выходных переменных должно соответствовать количеству продукционных правил для корректного обучения нейро-нечеткой модели.

Некоторые правила, созданные в системе Matlab, с помощью Fuzzy Logic Toolbox приведены на рисунке 4.16.

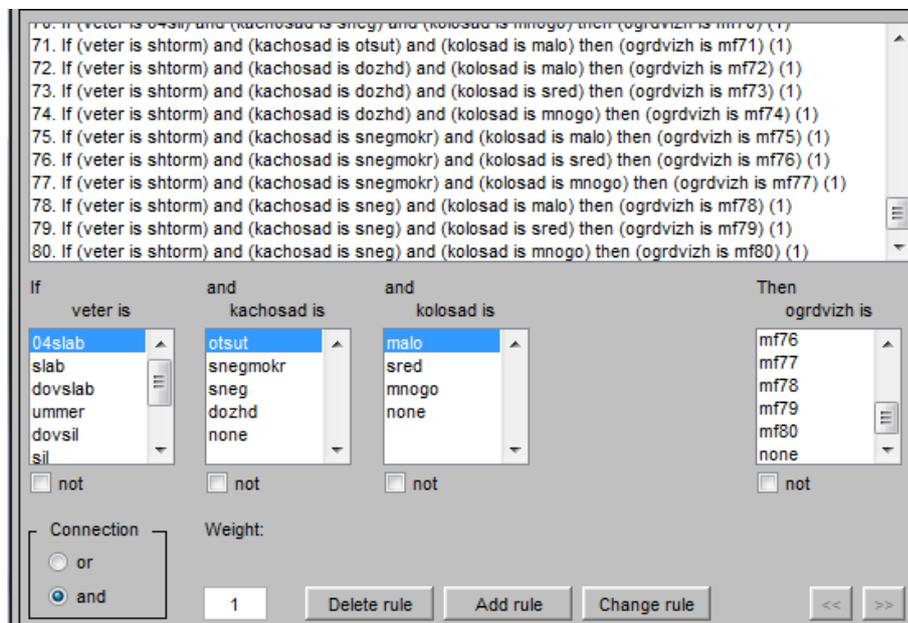


Рис. 4.16. Продукционные правила нечеткого вывода

Реализованная нечеткая модель, показанная на рис. 4.17, была обучена для получения нейро-нечеткой модели.

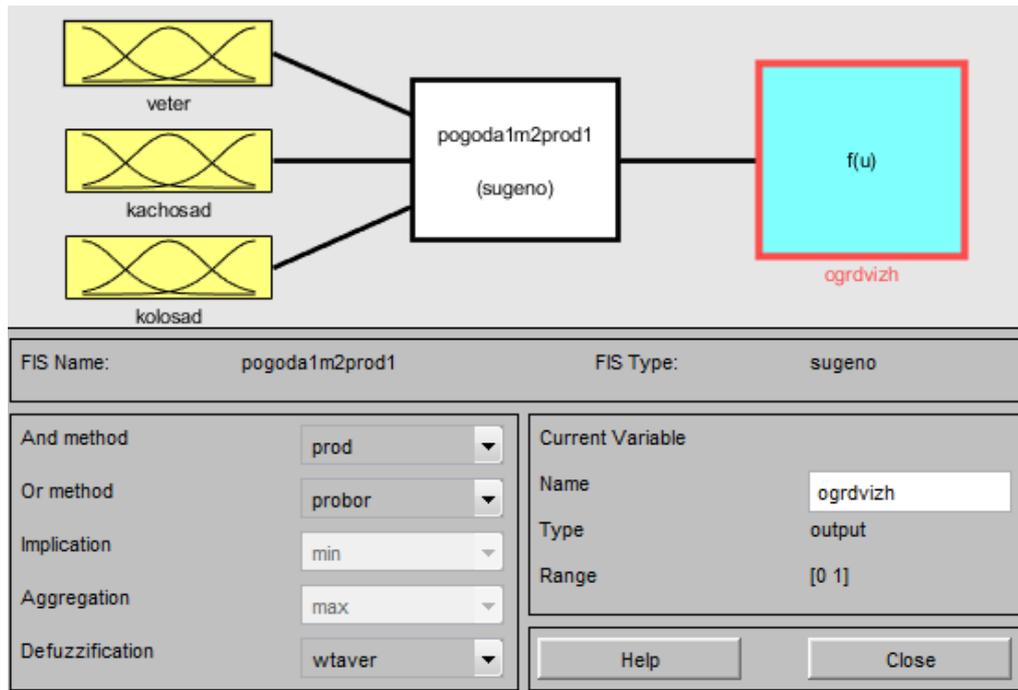


Рис. 4.17. Нечеткая модель типа Сугено

На рисунках 4.18 и 4.19 показаны поверхности нечеткого вывода этой модели в зависимости от двух входных переменных.

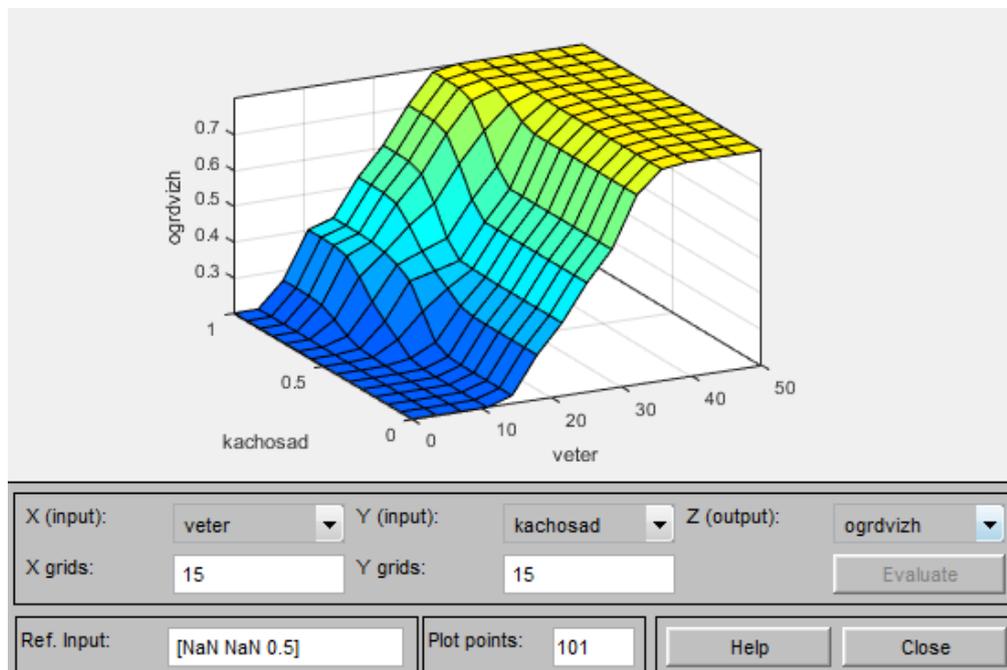
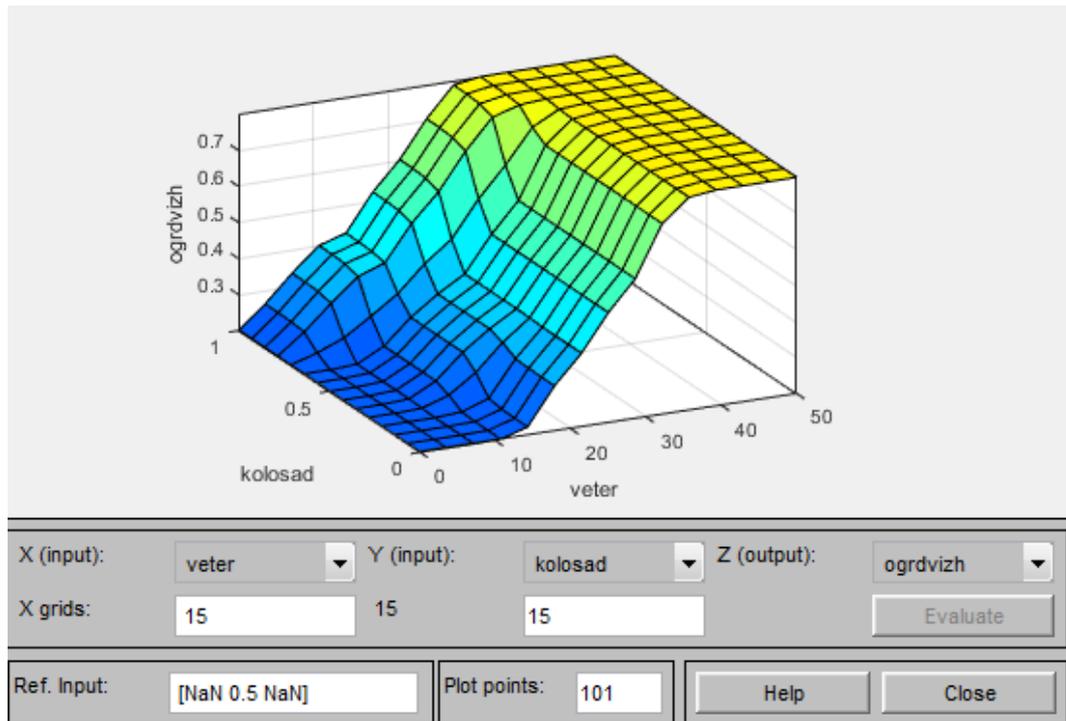


Рис. 4.18. Поверхность нечеткого вывода «Скорость ветра – Форма осадков»



**Рис. 4.19. Поверхность нечеткого вывода
«Скорость ветра – Количество осадков»**

После автоматического создания сети редактором ANFIS была получена архитектура, представленная на рисунке 4.20.

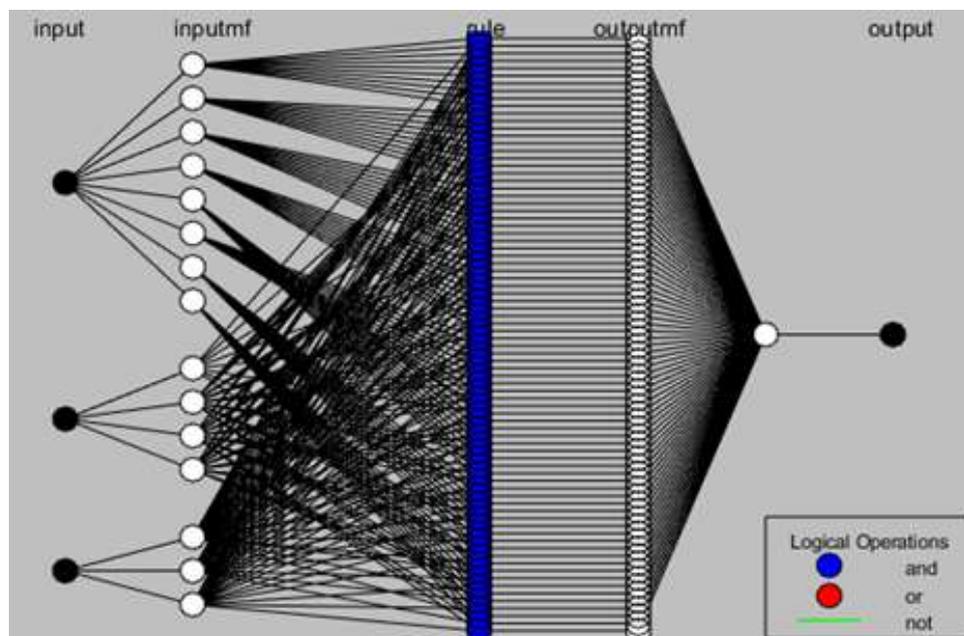


Рис. 4.20. Архитектура созданной нейро-нечеткой сети

Реализована нейро-нечеткая сеть с набором из 80 продукционных правил, возможных для всех различных входных термов. В результате обучения сети

происходит оптимизация весов синапсов правил, вследствие чего определяется, какие из них дают большой вклад в общую картину, а какие малозначительны.

Для обучения нейро-нечеткой сети были применены два метода: метод обратного распространения ошибки и метод гибридной оптимизации. В методе гибридной оптимизации используются как метод градиентного спуска, так и метод наименьших квадратов, т.е. их комбинация. В ходе реализации модели использовался Метод гибридной оптимизации, который показал гораздо лучший результат.

При использовании метода обратного распространения ошибки понадобилось порядка 600 эпох для установления приемлемой ошибки обучения при этом обучение было произведено не совсем адекватно. Здесь мы столкнулись со случаем переобучения нейронной сети, когда вместо того, чтобы обобщить знания по обучающей выборке, сеть просто запоминает их. При этом в методе гибридной оптимизации мы получили адекватный результат по истечении лишь 70 эпох обучения (рис. 4.21).

В алгоритме гибридной оптимизации используется комбинация метода градиентного спуска и метода наименьших квадратов. Этот подход показал хороший результат после 70 эпох обучения (рис. 4.22), поэтому, в ходе реализации модели использовался метод гибридной оптимизации.

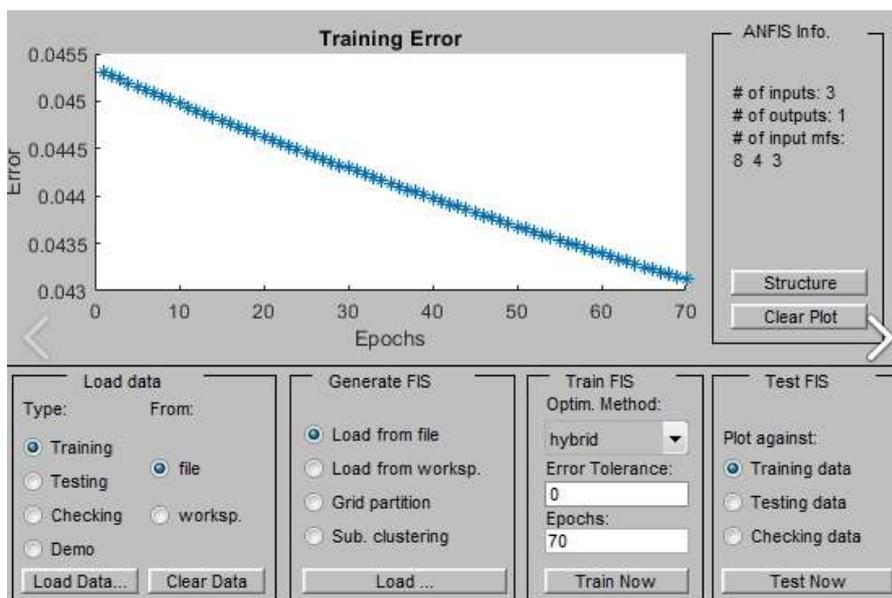


Рис. 4.21. Ошибка обучения при использовании гибридного метода

Обучающая выборка выглядит следующим образом:

```

1 0.6 0.2 0.2
1 0.6 0.5 0.2
1 0.6 0.8 0.2
1 0.8 0.2 0.2
1 0.8 0.5 0.2
1 0.8 0.8 0.2

```

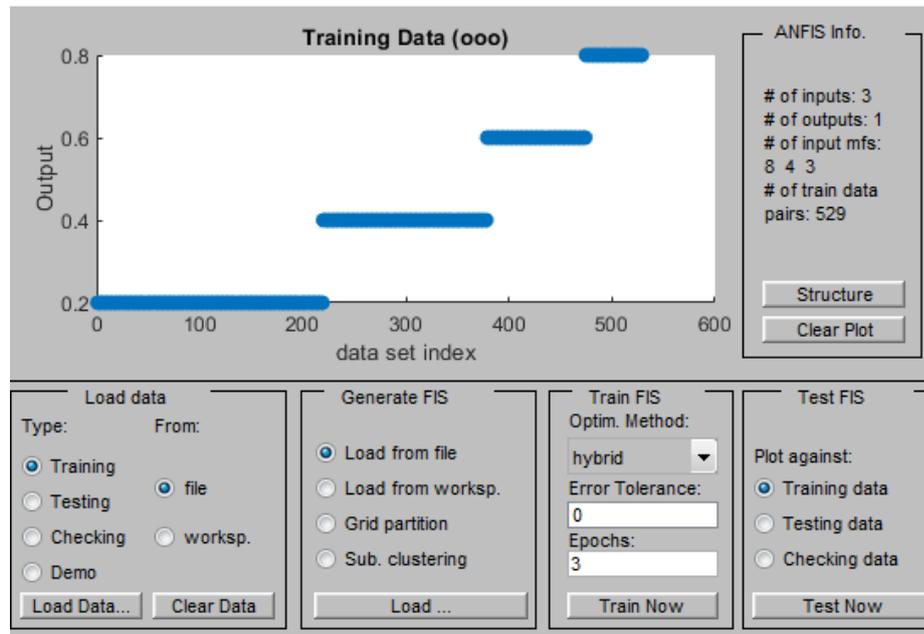


Рис. 4.22. Обучающая выборка в модуле ANFIS

Данные на рис. 4.22 являются частью файла данных, в котором содержится полная обучающая выборка, состоящая из 529 значений. Здесь первые три столбца – входные данные для сети, последний четвертый столбец – тот результат, который должен получиться на выходе сети в идеале. Столбец №1 – скорость ветра, столбец №2 – данные о форме осадков, столбец №3 – данные о количестве осадков.

Была проведена проверка модели на тестовой выборке и сравнительный анализ ошибки на обученной и необученной модели.

Тестовая выборка выглядит следующим образом:

```

12 0.6 0.5 0.4
14.5 0.6 0.8 0.4
10.2 0.8 0.2 0.2
14.2 0.8 0.5 0.4
15.7 0.8 0.8 0.6

```

На рис. 4.23 представлены результаты тестирования обученной нейро-нечеткой модели.

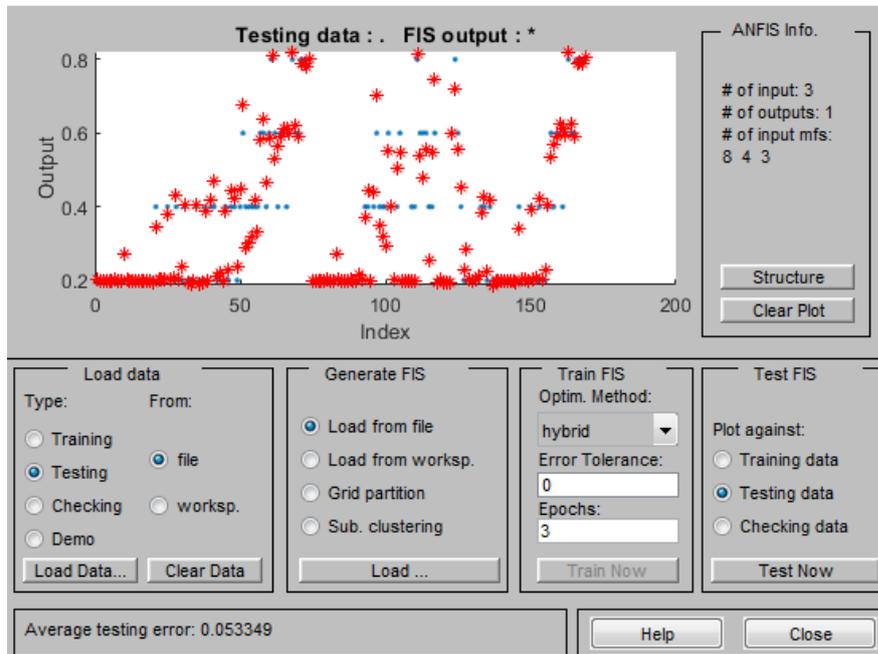


Рис. 4.23. Тестирование обученной нейро-нечеткой модели

На рис. 4.24 представлены результаты тестирования нечеткой необученной модели.

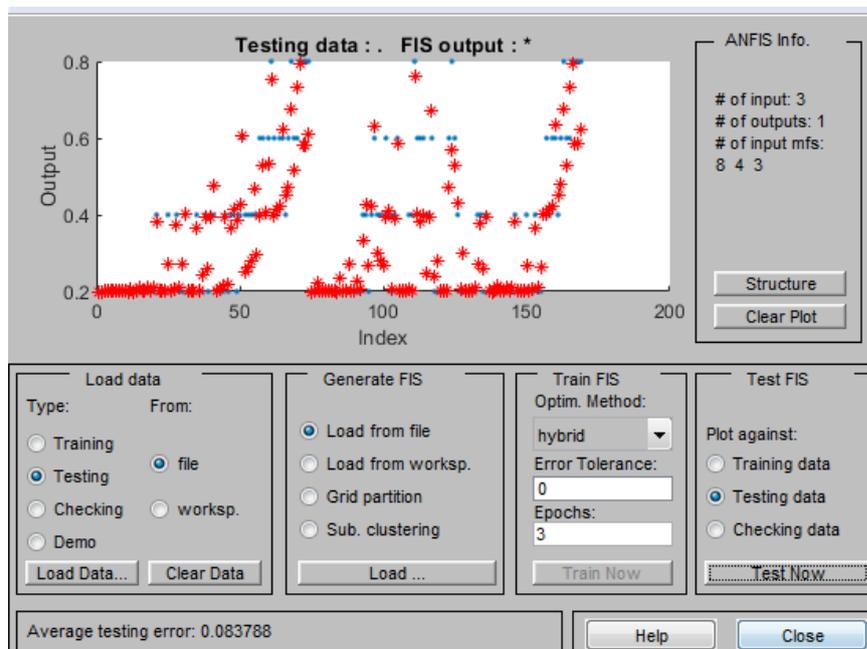
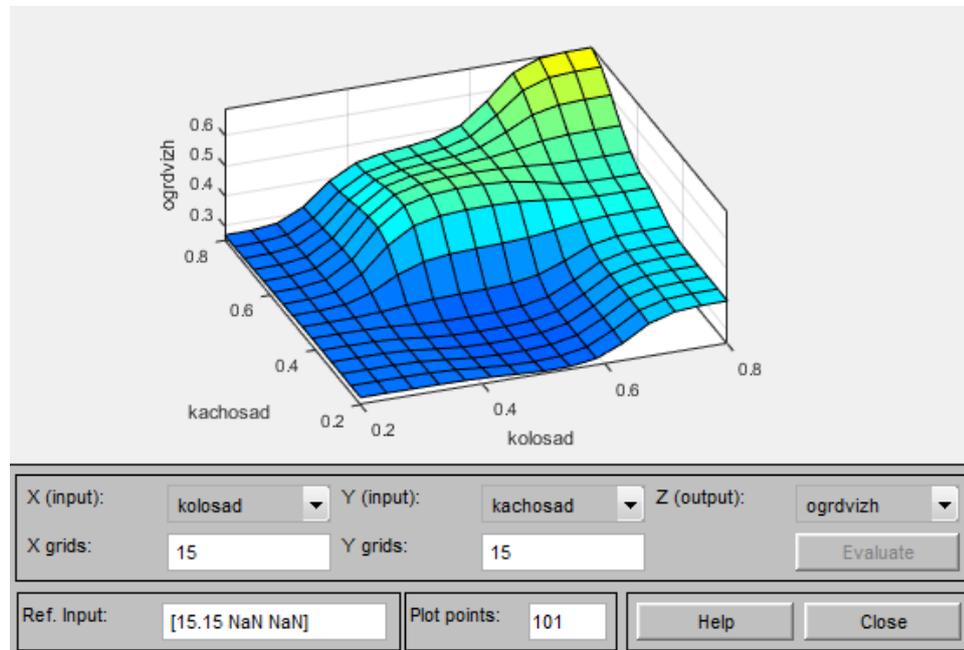


Рис. 4.24. Тестирование нечеткой модели

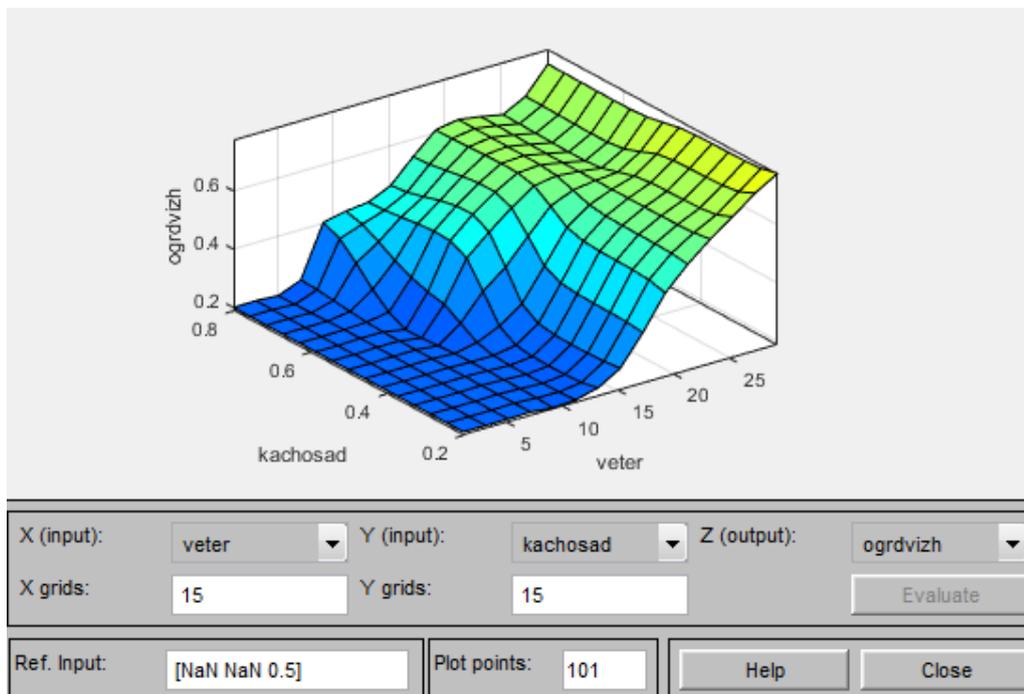
Результат сравнения средней ошибки тестирования показал, что нейро-нечеткая модель эффективнее на 38 %, чем нечеткая, более точно определяет

результат в граничных положениях, где нечеткая система не может дать однозначный ответ.

Поверхности вывода нейро-нечеткой модели представлены на рисунках 4.25 – 4.27.



**Рис. 4.25. Поверхность вывода нейро-нечеткой модели
«Количество осадков – Форма осадков»**



**Рис. 4.26. Поверхность вывода нейро-нечеткой модели
«Скорость ветра – Форма осадков»**

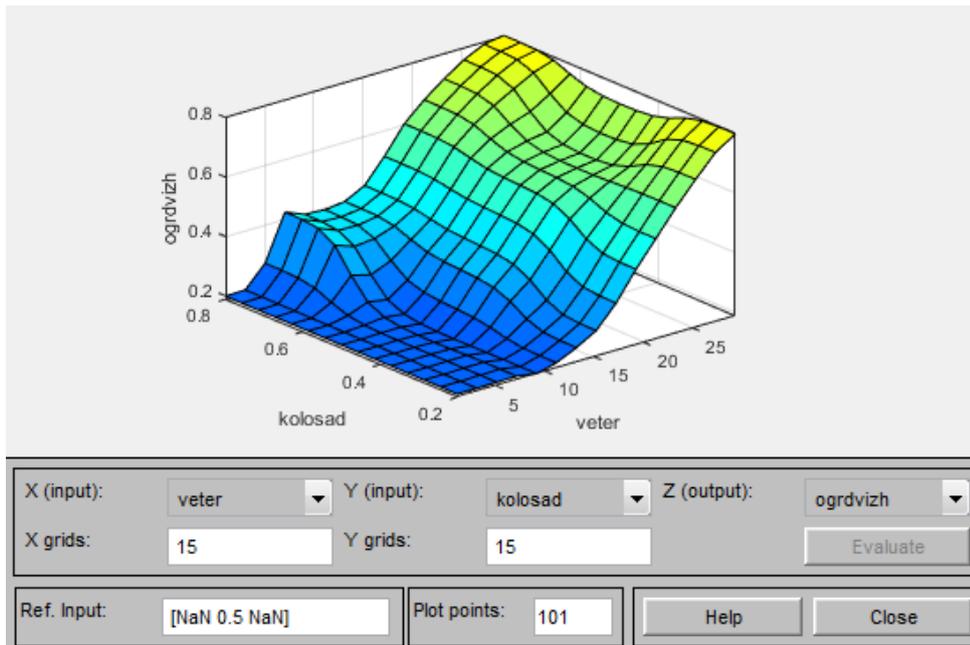


Рис. 4.27. Поверхность вывода нейро-нечеткой модели «Скорость ветра – Количество осадков»

Поверхности необученной нечеткой модели имеют достаточно выраженный линейный характер, что не позволяет точно определить меру ограничения движения в граничных состояниях. Поверхности нейро-нечеткой модели получились более гибкими. Более точно отражают степень ограничения движения, т.к. появилась большая горизонтальность вблизи точек состояний ограничения движения.

4.3. Разработка нечеткой системы поддержки принятия решений по техническому обслуживанию моста во время ледохода

4.3.1. Описание фактора ледохода при мониторинге мостовых сооружений

Подавляющее большинство рек, озер и морей на территории РФ замерзают. Периодически на них бывает ледоход. Ледоход на замерзающих реках бывает осенний и весенний.

При температуре воздуха ниже нуля осенью на поверхности воды сначала появляются кристаллики льда, которые, смерзаясь, образуют «сало». При снегопаде «сало», смешиваясь со снегом, превращается в так называемую снежуру. Одновременно в местах слабого течения, в заводях и у берегов начинает

намерзать лед, образуя забереги, или припай. Плывающее «сало», снежура и обломки припая, всплывший донный лед, смерзаясь в льдины, создают сплошной ледоход. С дальнейшим понижением температуры эти льдины смерзаются, и наступает ледостав. Поверхность такого льда обычно неровна и покрыта торосами.

Торосы – это нагромождение обломков льда, до 10 метров в высоту, которые образуются в результате сжатия ледяного покрова. Между торосами образуется гладкий лед. Моменты появления «сала», заберегов, осеннего ледохода и ледостава обычно фиксируют у каждого моста длиннее 50 м.

Весной вследствие таяния снега и подъема уровня воды в еще покрытой сплошным льдом реке нередко имеют место подвижки льда. Эти подвижки, вследствие большой массы сплошного льда, очень опасны для сооружений в воде – опор мостов и др. Особенно большую опасность эти подвижки представляют для свайных опор и деревянных мостов. Поэтому до ледохода вокруг каждой речной опоры и вверх по течению на протяжении до 25 м надо прорубить во льду прорези.

Не является исключением в плане ледохода и Керченский пролив. Лед в Керченском проливе появляется почти ежегодно в среднем в конце декабря. Ледяной покров под влиянием переменных течений и ветров в течение зимы часто нарушается. В очень суровые зимы при северо-восточных ветрах пролив покрывается сравнительно прочным льдом. Полное очищение пролива ото льда наблюдается в конце февраля – начале марта. Дрейфующие льды в проливе наблюдаются главным образом весной по вскрытии Азовского моря.

Лед из Азовского моря идет в пролив обычно сплошной массой, иногда сильно торосистой, образуя на косах Чушка и Тузла нагромождения. Значительная часть льда проникает в южную часть пролива и представляет угрозу не только плавучим средствам, но и мостовым опорам.

Разрушение первого Крымского моста. Первый Крымский мост, построенный в 1944-м году, был разрушен ледоходом. В феврале 1945-го ледовые

поля со стороны Азовского моря двинулись к выходу в Черное море в Керченский пролив, и мост рухнул под напором полуметрового слоя льда.

Авария произошла 18-20 февраля 1945г. Ледяные поля под действием ветра и течения двигались на мост со стороны Азовского моря. Лед обладал большой прочностью, так как температура воздуха была 5-6 °С. Несмотря на широкие мероприятия по борьбе со льдом, включая обстрел из орудий ледяных полей с берегов, бомбежку льда с самолетов, бросание на лед с опор толовых пакетов, в ряде мест моста лед надавил на опоры и разрушил 15 промежуточных пролетов, большинство пролетных строений которых упало в море.

Деформации моста были вызваны большим ледяным полем, принесенным течением. Если бы льдины давили одновременно на достаточно большое количество опор, то сопротивление последних было бы достаточным для того, чтобы остановить ее, так как при небольшом расстоянии между опорами статическое давление на каждую из них не могло быть особенно большим.

В действительности, льдины, размеры которых в плане нередко во много раз превышали расстояние между опорами, вследствие неровности краев оказывали давление на 2-3 опоры одновременно, а потому вызвали их повреждение. Большая часть ростверков была не забетонирована или имела еще слабый бетон. Толщина льда достигала 0,5-1 м, в некоторых местах лед забивался до дна пролива. Из забетонированных опор поврежденными оказались, главным образом, ростверки, укрепленные незадолго до ледохода, бетон которых еще не успел окрепнуть.

Разрушающая нагрузка по прочности льда достигала 270 т, по сопротивлению всех свай 246 т, по предельной нагрузке для четырех передних наклонных свай, которые могли быть сломаны в первую очередь, – 129 т.

Все это демонстрирует необходимость проведения расчетов размеров и скорости движения льдин для оценки их воздействий на мостовые опоры.

Расчет скорости движения льдин. Скорость V движения льдин определяется по времени t прохода льдиной пути l между двумя закрепленными выше моста створами

$$V = \frac{l}{t} \text{ м/сек}$$

Длину l обычно принимают равной 100-200 м, время прохода t наблюдают по секундной стрелке часов или секундомеру. Для этого наблюдатель с секундомером становится у верхнего створа и засекает момент прохода льдины через створ, подавая об этом сигнал другому наблюдателю у нижнего створа. Последний подает сигнал в момент прохода той же льдиной нижнего створа, а первый наблюдатель засекает время.

Расчет размеров льдин. Размеры льдин определяют по длине, либо по времени прохода через створ, одновременно с определением скорости ее движения, либо на глаз, а по ширине – с моста, замечая на нем проекции обоих краев льдины при проходе. Для определения размеров льдин могут быть также использованы дальномеры. Интенсивность ледохода определяется по 10-балльной шкале [31].

Если в створе наблюдений льдины идут сплошь, то интенсивность ледохода оценивается в 10 баллов, а если в одиночку – то 1 балл; промежуточные случаи оцениваются баллом от 2 до 9.

При наблюдении ледохода необходимо отмечать места образования заторов льда, а также места навала его на берега и выяснять причину этих явлений.

Густота ледохода. Важной характеристикой ледохода любого типа служит его густота, т.е. степень покрытости плывущим льдом водной поверхности реки. Степень густоты ледохода оценивают, вычисляя отношение суммарной площади плывущих льдин на выбранном участке реки к общей площади поверхности реки. Эти отношения переводят в баллы по 11-ти балльной шкале. При отсутствии льдин упомянутое отношение равно 0 и соответствующий балл также равен нулю. При соотношении 0,1 балл густоты ледохода будет 1, при отношении 0,2 – 2 и т.д. Если ледоход занимает всю площадь участка реки, то это отношение равно 1, а балл – 10. Часто густоту ледохода оценивают проще: выделяют три типа ледохода – редкий, средний, густой. Расход ледохода (или расход льда при ледоходе) – это количество движущегося льда в м^3 , проходящего через поперечное сечение реки в

единицу времени. Этот расход рассчитывают, перемножая среднюю толщину льдин, ширину русла, занятую пльвущими льдинами, и скорость движения льдин.

Основной характеристикой ледохода, согласно [31] является густота ледохода, то есть отношение площади льдин к площади водной поверхности. Произведение густоты ледохода на долю ширины пролива, занятой льдом, называется коэффициентом ледохода. Этот показатель характеризует степень покрытия ледяными образованиями водной поверхности. Так, при однородном распределении льда по ширине моря в районе моста этот коэффициент равен его густоте, которая оценивается в баллах по 11-балльной шкале. Ноль баллов – пролив полностью свободен от льдин, 10 баллов, соответственно, – пролив сплошь покрыт движущимся льдом.

На озёрах различаются три категории ледохода: редкий – при коэффициенте менее 0,3; средний – при коэффициенте до 0,6 и густой – при коэффициенте 0,7 и более.

Интенсивность и характер движения льда зависят от погодных условий, календарного времени замерзания или вскрытия, гидравлических параметров водного потока. Количество льда, проходящее через поперечное сечение потока, называется расходом льда. Эта величина используется гидрологами для расчётов стока льда за сутки и за весь период ледохода.

4.3.2. Лингвистическая переменная «Густота ледохода»

На основе приведенной выше шкалы ледохода в диссертации вводится ЛП «Густота ледохода» с терм-множеством {очень редкий, редкий, средний, густой, очень густой} (рис. 4.28, 4.29). Здесь базовыми являются атомарные термы «редкий», «средний», «густой», а составные термы «очень редкий» и «очень густой», «довольно редкий» и «довольно густой» формируются путем возведения соответствующих функций принадлежности в квадрат и степень $\frac{1}{2}$ соответственно.

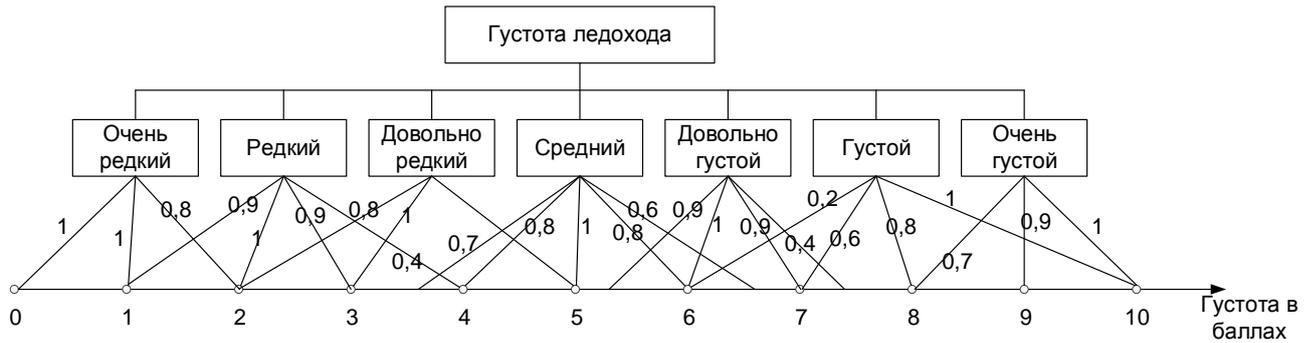


Рис. 4.28. ЛП «Густота ледохода» с базовыми значениями

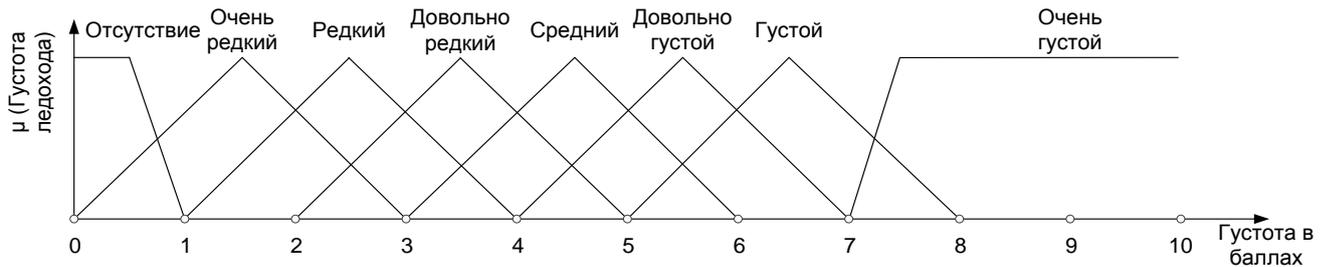


Рис. 4.29. Терм-множество ЛП «Густота ледохода»

4.3.3. Система нечетких рассуждения по обслуживанию моста в условиях ледохода

Модель поддержки принятия решений о принимаемых мерах по техническому обслуживанию моста во время ледохода представляет собой модель нечеткого вывода Мамдани (рис 4.30) со следующими входными ЛП:

- **Скорость ледохода** в м/с со следующим терм-множеством: {очень низкая, низкая, средняя, высокая, очень высокая} (рис 4.31).
- **Густота ледохода**, представляющую собой плотность ледяного покрова на поверхности водоема, со следующими термами (рис 4.32): {очень редкий, редкий, средний, густой, очень густой}.

На выходе имеем 5 возможных значений принимаемых мер (рис. 4.33):

- 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).

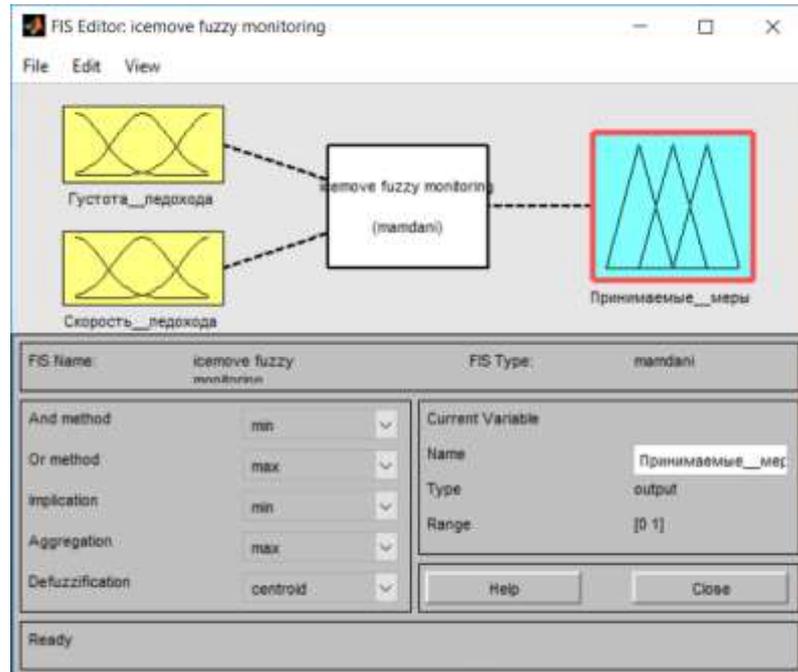


Рис. 4.30. Система нечеткого вывода Мамдани

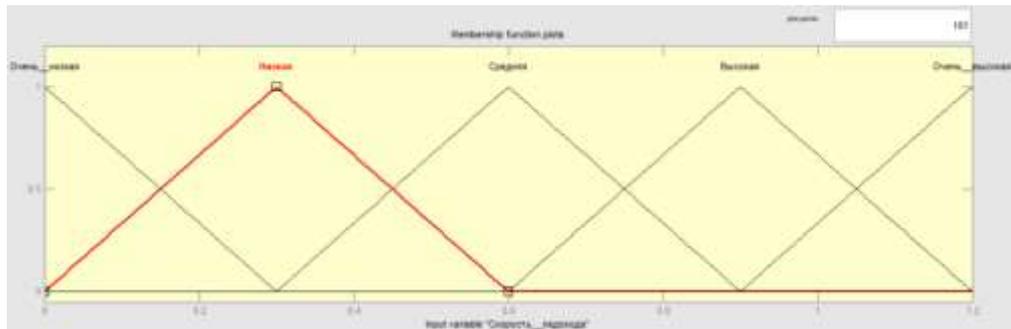


Рис. 4.31. Функции принадлежности значений ЛП «Скорость ледохода»

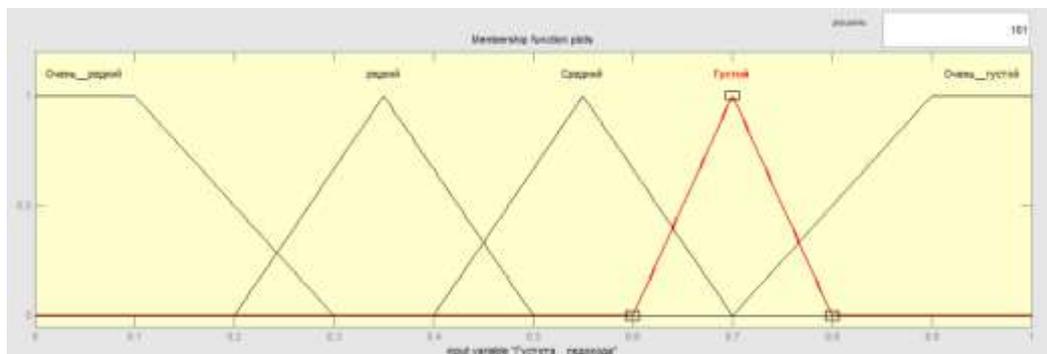


Рис. 4.32. Функции принадлежности значений ЛП «Густота ледохода»

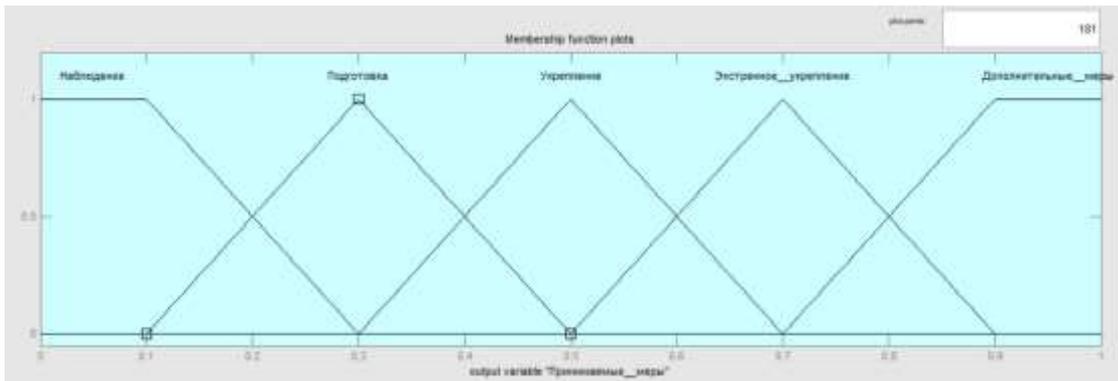


Рис. 4.33. Функции принадлежности значений ЛП «Принимаемые меры»

На основе имеющихся входящих и выходящей переменных была создана база из 125 продукционных правила (рис. 4.34).

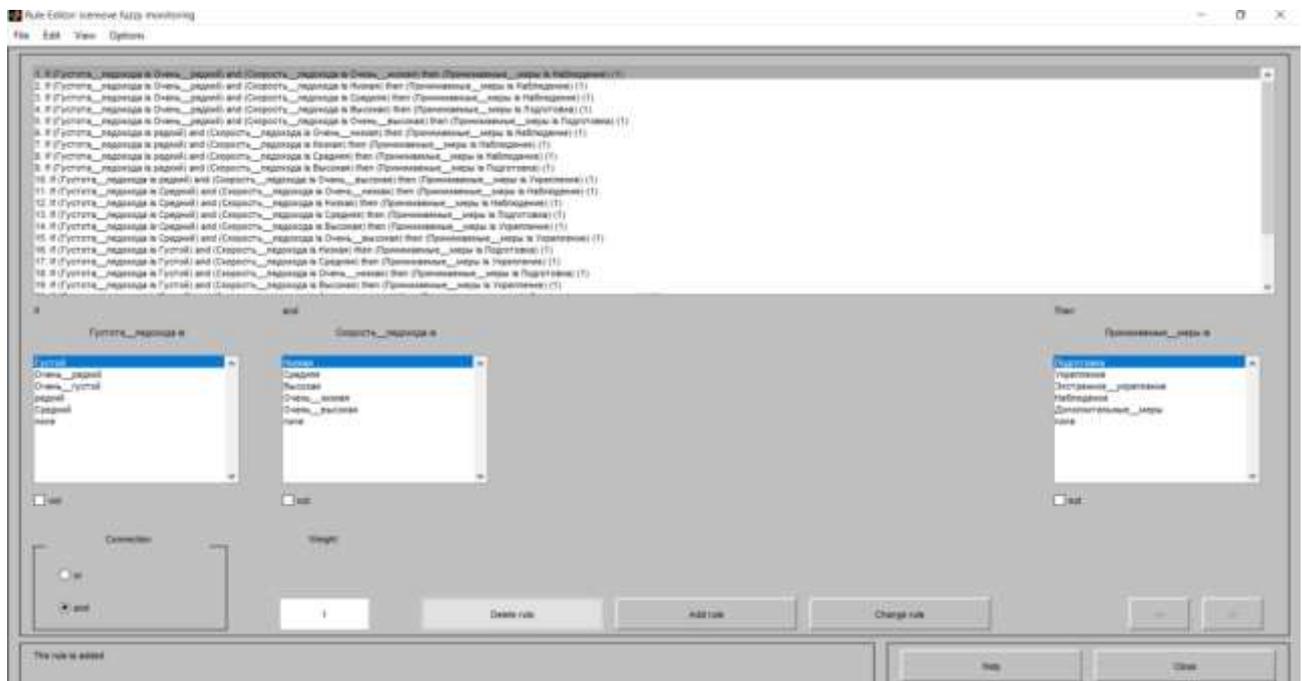


Рис. 4.34. База нечетких продукционных правил

Решения, выводимые нечеткой системой, представлены в виде поверхности нечеткого вывода (рис 4.35).

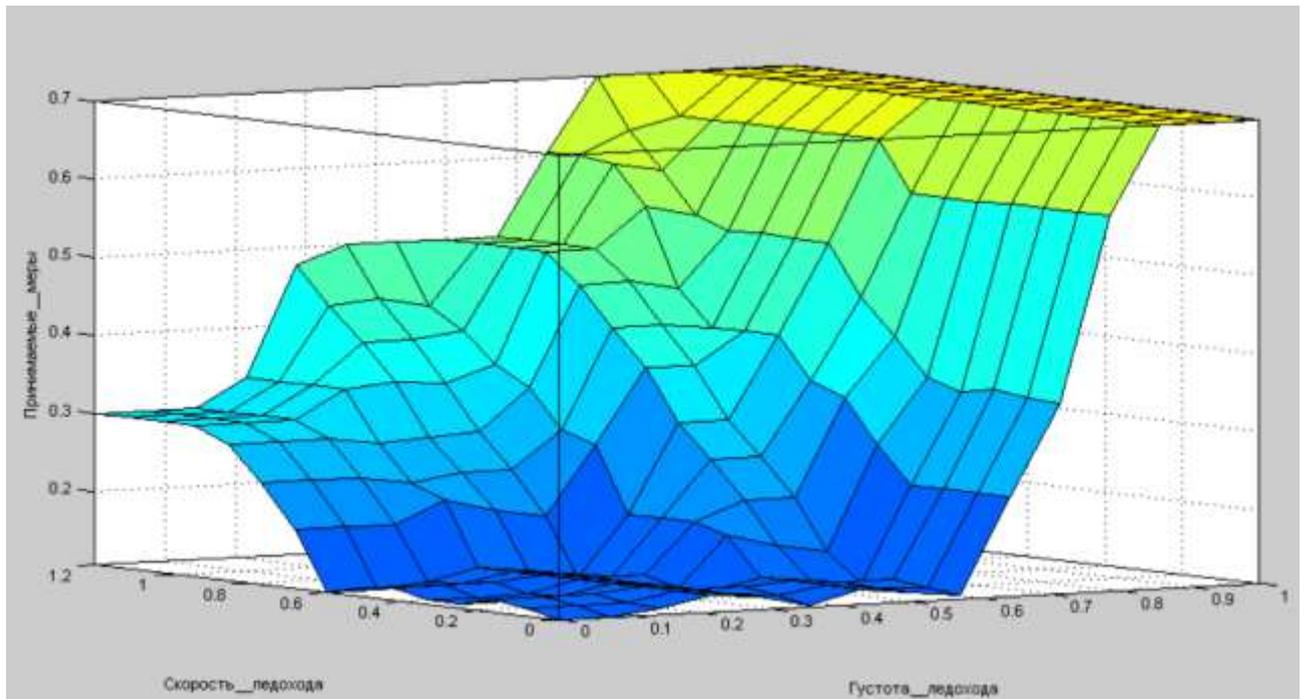


Рис. 4.35. Поверхность нечеткого вывода в зависимости от скорости и густоты ледохода

4.4. Выводы по главе 4

В четвертой главе диссертации получены следующие результаты.

1. В рамках осуществления 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) введен набор лингвистических переменных как трехуровневых формальных структур. А именно, введены входные ЛП «Скорость ветра», «Изменение скорости ветра», «Состояние дороги», «Густота ледохода», «Скорость ледохода» и выходные переменные с деонтическими значениями «Движение по мосту» {разрешено, ограничено с разными градациями, запрещено} и списком возможных «Мероприятий» по укреплению опор или противодействия ледоходу. Также введена составная лингвистическая переменная осадки, разделяющаяся на атомарные ЛП «Форма» и «Количество осадков».

2. В русле реализации принципа единства измерений, оценок, расчетов и рассуждений при анализе влияния комплекса метеорологических характеристик на эффективность эксплуатации моста систематизированы и экспериментально апробированы 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.

3. Разработан и программно реализован в системе Matlab модуль нечетких рассуждений для задачи мониторинга безопасности движения транспорта по мостовым переходам. Построен пример вывода формально обоснованных рекомендаций по возможности эксплуатации моста при сочетании разных метеорологических условий.

4. Построены и реализованы модели как нечеткого, так и нейро-нечеткого вывода. 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.

5. Построена и программно реализована система нечетких рассуждений по обслуживанию моста в условиях ледохода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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.

Предложенные в диссертации схемы, модели, методы, алгоритмы и варианты их программной реализации использованы в учебном процессе и НИР кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана. 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверкин А.Н., Прокопчина С.В. Мягкие вычисления и измерения // Интеллектуальные системы (МГУ). – 1997. –Т.2, вып.1-4. – С. 93-114.
2. Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В. SCADA-системы: взгляд изнутри. – М.: РТСофт, 2004.
3. Бахтин М.М. К методологии гуманитарных наук // Эстетика словесного творчества. – М.: Искусство, 1979.
4. Башлыков А.А., Еремеев А.П. Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в атомной энергетике. Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2019.
5. Башлыков А.А., Жаров И.В., Шумилин В.Ю., Сапожников С.И., Якманова О.Б. Спринт-РВ – интеллектуальная SCADA-система // Приборы. 2006. – №12 (78). – С. 27-39.
6. Борисов А.Н., Алексеев, А.В., Крумберг О.А. и др. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной. – Рига: Зинатне, 1982.
7. Борисов А.В., Тарасов В.Б. Моделирование мнений агентов в многоагентных системах на основе четырехзначных семантик // Программные продукты и системы. – 2006. – №2. – С. 47-50.
8. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы нечеткого логического вывода. Книга 4. – М.: Горячая линия–Телеком, 2017.
9. Будбаева С.П., Пятницын Б.Н. К исследованию и построению прагматических логик // Философия и логика. – М.: Наука, 1974. – С. 220-278.
10. Бурдо Г.Б., Федотова А.В. Модели интеллектуальной АСУТП технического обслуживания // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Материалы VI-й Международной научно-технической конференции (OSTIS-2016, Минск, БГУИР, 18-20 февраля 2016 г.). – Минск: Изд-во БГУИР, 2016. – С. 449-456.

11. Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Физматлит, 2008.
12. Вагин В.Н., Еремеев А.П. Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2001. – № 6. – С. 114-123.
13. Ванзинг Г., Шрамко Я.В. Логика компьютерных сетей // Логические исследования. Вып.12. – М.: Наука, 2005. – С. 119-145.
14. Васильев А.И. Оценка технического состояния мостовых сооружений. – М.: КноРус, 2017.
15. Васильев Н.А. Воображаемая логика. – М.: Наука, 1989.
16. Виноградов Г.П., Борисов П.А., Семенов Н.А. Интеграция нейросетевых алгоритмов, моделей нелинейной динамики и методов нечеткой логики в задачах прогнозирования// Известия РАН: Теория и системы управления. – 2008. – №1. – С. 78-84.
17. Владимирский С.Р. Системотехника мостостроения: методология и практические применения. – СПб: Питер, 1994.
18. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем и системный анализ: учебник. 2-е изд. – М.: Юрайт, 2013.
19. Восков Л.С. Беспроводные сенсорные сети и прикладные проекты // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2009. – №2,3. – С. 44-55.
20. Вригт фон Г.Х. Логико-философские исследования. Избранные труды: Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1986.
21. Гаврилова Т.А., Болотникова Е.С., Лещева И.А., Страхович Э.В. Коллективная разработка корпоративных онтологий // Материалы XV-й научно-практической конференции «Реинжиниринг бизнес-процессов на основе современных информационных технологий. Системы управления знаниями (РБП-СУЗ-2012, Москва, МЭСИ, 26-27 апреля 2012 г.). – М.: МЭСИ, 2012. – С. 39-42.

22. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб: Питер, 2000.
23. Гаврилова Т.А., Червинская К.Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. – М.: Радио и связь, 1992.
24. Гадамер Х.-Г. Истина и метод: основы философской герменевтики: Пер. с нем. – М.: Прогресс, 1988.
25. Гергей Т. Когнитивные системы – потребность информационного общества и вызов компьютерным наукам // Труды IX-й Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2004, Тверь, 28 сентября – 2 октября 2004 г.). – М.: Физматлит, 2004. – Т.1. – С. 3-10.
26. Городецкий В.И., Самойлов В.В., Малов А.О. Современное состояние технологии извлечения знаний из баз и хранилищ данных // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – №3. – С. 3-12.
27. ГОСТ Р 54500.1-2011 / Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009. Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по неопределенности измерения. – М.: Стандартиформ, 2012.
28. ГОСТ Р 54500.3-2011 / Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. – М.: Стандартиформ, 2012.
29. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009.
30. Дойников А.С. Классификация измеряемых свойств // Сборник докладов V-й международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2002, Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 25-27 июня 2002 г.). – СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002. – С. 46-49.
31. Донченко Р.В. Ледоход // Гляциологический словарь / Под ред В. М. Котлякова. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – С. 234-235.
32. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Системотехника. – М.: Радио и связь, 1985.
33. Ефремова А.П., Святкина М.Н. Онтологический инжиниринг когнитивных измерений // 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.
34. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976.
 35. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика. – М.: Наука, 1991.
 36. Ивин А.А. Логика оценок и норм. Философские, методологические и прикладные аспекты. – М.: Проспект, 2016.
 37. Ивин А.А. Основы теории аргументации. – М.: ГИЦ ВЛАДОС, 1997.
 38. Ивин А.А., Никифоров А.Л. Словарь по логике. – М.: ГИЦ ВЛАДОС, 1997.
 39. Искусственный интеллект. В 3-х книгах. Кн.2. Модели и методы: Справочник. / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990.
 40. Инструкция по содержанию искусственных сооружений ЦП-628. – М.: Транспорт, 1999.
 41. Калущая А.П., Тарасов В.Б. Гранулярные метаонтологии и онтологии пространства // Реинжиниринг бизнес-процессов на основе современных информационных технологий. Системы управления знаниями. Сборник научных трудов XIV-й научно-практической конференции (РБП-СУЗ-2011, Москва, МЭСИ, 28-29 апреля 2011 г.). – М.: МЭСИ, 2011. – С. 136-145.
 42. Карпенко А.С. Развитие многозначной логики. – М.: Изд-во ЛКИ, 2010.
 43. Клини С.К. Введение в метаматематику. 2-е изд. – М.: Изд-во УРСС, 2009.
 44. Кнорринг В.Г. Гносеотехника – техника познания // Измерения. Контроль. Автоматизация. – 1992. – №.1-2. – С.3-12.
 45. Кнорринг В.Г., Солопченко Г.Н. Теория измерений как самостоятельная область знаний: исторические предпосылки, вступление в XXI век // Измерительная техника. – 2003. – № 5. – С. 12-16.
 46. Ковалев С.М., Тарасов В.Б. Когнитивные измерения и обработка первичной информации в прикладных интеллектуальных системах новых поколений // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы. Материалы II-го Международного Поспеловского симпозиума (Светлогорск,

- Калининградская область, 30 июня – 6 июля 2014 г.). – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. – С. 146-158
47. Колтунов С.С., Королева М.Н. Разработка модуля нечетких рассуждений для системы мониторинга безопасности движения транспорта по искусственным сооружениям // 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.
48. Коробейников А.Г., Гришенцев А.Ю., Святкина М.Н. Применение интеллектуальных агентов магнитных измерений для мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры // Кибернетика и программирование. – 2013. – №3. – С. 9-20.
49. Королева М.Н. О системе онтологий измерений // Сборник докладов XXI-й Международной конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018, Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 23-25 мая 2018г). В 2-х томах. – СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. – Т.2. – С. 155-158.
50. Королева М.Н., Тарасов В.Б. Логико-алгебраические гранулярные модели как ядро когнитивных измерений// Мягкие измерения и вычисления. – 2018. – Т.2, №3. – С. 45-55.
51. Кузнецов В.П. Сопоставительный анализ погрешности и неопределенности измерений // Измерительная техника. – 2003. – № 8. – С. 21-27.
52. Кузнецов О.П. Формальный подход к понятию «знание» и проблема моделирования различных типов знаний // Когнитивные исследования: Сборник научных трудов. Вып.2 / Под ред. В.Д. Соловьева, Т.В. Черниговской. – М.: Изд-во ИПРАН, 2008. – С. 265-275.
53. Кузнецов О.П. Искусственный интеллект и когнитивные науки // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2013. –Т.1, №5. – С. 16-24.

54. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и Fuzzy Tech. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
55. Лукасевич Я. О детерминизме // Логические исследования. Вып.2. – М.: Наука, 1993. – С. 190-205.
56. Мейджер Дж.К.М. Интеллектуальные сенсорные системы. – М.: Изд-во Техносфера, 2012. – 464 с.
57. Михеенкова М.А., Финн В.К. Анализ мнений и многоагентные системы // Труды 10-й Национальной конференции по искусственному интеллекту (КИИ-2006, Обнинск, 25-28 сентября 2006 г.). – М.: Физматлит, 2006. – Т.3. – С. 902-907.
58. Многозначные логики и их применения. Т.1. Логические исчисления, алгебры и функциональные свойства / Под ред. В.К.Финна. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008.
59. Многозначные логики и их применения. Т.2. Логики в системах искусственного интеллекта / Под ред. В.К.Финна. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008.
60. МЭК 61400-1 Установки электрические ветровые. Требования к конструкции» (IEC 61400-1:2005 Wind Turbines – Part 1: Design requirements). – Введ. 27.12.2002. – 126с.
61. Недосекин Д.Д., Прокопчина С.В., Чернявский Е.А. Информационные технологии интеллектуализации измерительных процессов. – СПб: Энергоатомиздат, 1995.
62. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Пospelова. – М.: Наука, 1986.
63. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / Под ред. Н.Г. Ярушкиной. – М.: Физматлит, 2007.
64. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. – Л.: Машиностроение, 1985.
65. Новак В., Перфильева И.Г., Мечкарж И. Математические принципы нечеткой логики: Пер. с англ. – М.: Физматлит, 2006.

66. Осипов Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами. – М.: Наука, 1997.
67. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. – 2-е изд.–М.: Физматлит, 2015.
68. Павлов С.А. Логика с операторами истинности и ложности. – М.: ИФ РАН, 2004.
69. Палюх Б.В. Оценка правдоподобия и учет неопределенности в задачах искусственного интеллекта // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов III-го Международного научно-практического семинара. – М.: Физматлит, 2005. – С. 39-45.
70. Палюх Б.В. Принципы управления эксплуатационной надежностью непрерывного производства на основе мягких измерений и вычислений // Мягкие измерения и вычисления. – 2018. – №8. – С. 6-16.
71. Пирс Ч.С. Начала прагматизма. – СПб: Алетейя, 2000.
72. Плесневич Г.С., Тарасов В.Б., Карабеков Б.С., Нгуен Тхи Минь Ву. Методы и языки для онтологического моделирования. – Алматы: Изд-во ИИВТ МОН РК, 2017.
73. ПНСТ 309-2018 Дороги автомобильные общего пользования. Мосты и трубы дорожные. Технические требования. – М.: Стандартиформ, 2018.
74. Попов Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке. 2-е изд. – М.: Едиториал УРСС, 2004.
75. Поппер К.Р. Объективное знание. Эволюционный подход. – М.: Эдиториал УРСС, 2002.
76. Поспелов Д.А. Интеллектуальные интерфейсы для ЭВМ новых поколений // Электронная вычислительная техника. Сборник статей. Вып.3. – М.: Радио и связь, 1989. – С. 4-20.
77. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. – М.: Радио и связь, 1989.

78. Поспелов Д.А. Когнитивная графика – окно в новый мир // Программные продукты и системы. – 1992. – №3. – С. 4-6.
79. Поспелов Д.А. «Серые» и/или «черно-белые» // Прикладная эргономика. Специальный выпуск «Рефлексивные процессы». – 1994. – №1. – С. 29-33.
80. Прокопчина С.В. Когнитивные измерения на основе байесовских интеллектуальных технологий // Сборник докладов XIII-й международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2010, Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 23-25 июня 2010 г.). – СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. – С. 28-34.
81. Прокопчина С.В. Современная теория измерений: классификация типов измерений // Мягкие измерения и вычисления. – 2017. – № 1(1). – С. 4-16.
82. Психологические измерения: Пер. с англ. / Под ред. Л.Д.Мешалкина. – М.: Мир, 1967.
83. Психология. Словарь / Под ред. А.В. Петровского, М.Г. Ярошевского. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Политиздат, 1990.
84. Пфанцагель И. Теория измерений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976.
85. Раннев Г.Г., Тарасенко А.П. Интеллектуальные средства измерений. Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2016.
86. Розенберг В.Я. Введение в теорию точности измерительных систем. – М.: Советское Радио, 1975.
87. Розенберг В.Я. Развитие понятийно-терминологического аппарата метрологии на основе новой информационной технологии // Измерительная техника. – 1990. – №11. – С. 20-22.
88. Розенберг И.Н., Цветков В.Я., Матвеев С.И., Дулин С.К. Интегрированная система управления железной дорогой / Под ред. В.И. Якунина. – М.: ИПЦ Дизайн. Информация. Картография, 2008.
89. Романов В.Н., Соболев В.С., Цветков Э.И. Интеллектуальные средства измерения / Под ред. Э.И. Цветкова. – М.: Татьянин день, 1994.

90. Рыбина Г.В. Интеллектуальные системы: от А до Я. Серия монографий в трех книгах. Книга 1. Системы, основанные на знаниях. Интегрированные экспертные системы. – М.: ООО «Научтехлитиздат», 2014.
91. Сазыкин И.А. Обследование и испытание сооружений. Учебное пособие. – М.: РЕОТУПС, 2003.
92. Святкина М.Н. Беспроводные сенсорные сети – основа построения интеллектуальной среды для мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры // Интеллектуальные системы на транспорте. Сборник материалов 2-й международной научно-практической конференции (ИнтеллектТранс-2012, Санкт-Петербург, ПГУПС, 28-31 марта 2012 г.). – СПб: Изд-во ПГУПС, 2012. – С. 393-401.
93. Святкина М.Н. Применение многозначных логик и абстрактного алгебраического подхода при решении задачи интерпретации сенсорных данных // 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.
94. Святкина М.Н. Интеллектуальные системы на основе грануляции сенсорных данных // 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.
95. Святкина М.Н., Тарасов В.Б. Логика сенсорных сетей // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика. Материалы 1-го международного симпозиума (ГИСИС'2012, Калининград, Светлогорск, 29 июня – 2 июля 2012г.). – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012. – Часть 2. – С. 314-325.

96. Святкина М.Н., Тарасов В.Б. Когнитивные измерения в интеллектуальных системах мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры // Вестник РГУПС. – 2013. – № 4. – С. 106-114.
97. Святкина М.Н., Тарасов В.Б. Мониторинг объектов железнодорожной инфраструктуры с использованием когнитивных измерений // Интеллектуальные системы на транспорте. Сборник материалов 4-й международной научно-практической конференции (ИнтеллектТранс-2014, Санкт-Петербург, ПГУПС, 3-4 апреля 2014 г.). – Санкт-Петербург: Изд-во ПГУПС, 2014. – С.107-114.
98. Святкина М.Н., Тарасов В.Б. Системы приобретения знаний третьего поколения на основе когнитивных измерений // Труды XIV-й Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2014, Казань 24-27 сентября 2014 г.). Т.3. – Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. – С.58-67.
99. Святкина М.Н., Тарасов В.Б. Логико-алгебраические методы построения когнитивных сенсоров // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Материалы VI-й Международной научно-технической конференции (OSTIS-2016, Минск, БГУИР, 18-20 февраля 2016 г.). – Минск: Изд-во БГУИР, 2016. – С. 331-348.
100. Святкина М.Н., Тарасов В.Б. Нисходящее проектирование онтологических систем: онтология измерений, связанных с решением проблемы мониторинга сложного объекта // Инжиниринг предприятий и управление знаниями. Сборник научных трудов XIX-й научно-практической конференции (ИП&УЗ-2016, Москва, ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», 26-27 апреля 2016 г.). – М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», 2016. – С. 300-310.
101. Смирнов А.В., Пашкин М.П., Шилов Н.Г., Левашова Т.В. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации (часть 1) // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – №1. – С. 3-13.
102. Смирнова Е.Д. Логическая семантика и философские основания логики. – М.: МГУ, 1986.

103. Солопченко Г.Н. Представление измеряемых величин и погрешностей измерений как нечетких переменных // Измерительная техника. – 2007. – № 2. – С. 3-7.
104. Сырков А.В., Крутиков О.В. Оптимизация жизненного цикла моста на остров Русский во Владивостоке средствами анализа рисков и мониторинга // Автоматизация в промышленности. – 2012. – №9. – С.45-50.
105. Таран Т.А., Зубов Д.А. Искусственный интеллект. Теория и приложения. – Луганск: Изд-во СНУ им. В. Даля, 2006.
106. Тарасов В.Б. Нечеткость оценок и моделирование субъективных суждений // Психологические механизмы формирования оценочных суждений. – Саратов: СГУ, 1989. – С. 37-43.
107. Тарасов В.Б. От алгебраической модели Тарского к логико-семиотической матрице // Труды 9-й национальной конференции по искусственному интеллекту КИИ-2004 (Тверь, 28 сентября-2 октября 2004 г.). – М.: Физматлит, 2004. – Т.1. – С.311-322.
108. Тарасов В.Б. От монологических к диалогическим подходам в искусственном интеллекте // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник трудов V-й Международной научнопрактической конференции (Коломна, 28-30 мая 2009 г.). – М.: Физматлит, 2009 – Т.1. – С.149-162.
109. Тарасов В.Б. Концепция построения интеллектуальной железнодорожной транспортной системы на базе искусственной интеллектуальной среды // Интеллектуальные системы на транспорте. Сборник материалов 2-й международной научно-практической конференции (ИнтеллектТранс-2012, Санкт-Петербург, ПГУПС, 28-31 марта 2012 г.). – СПб: Изд-во ПГУПС, 2012. – С. 386-393.
110. Тарасов В.Б. От гибридных систем к интеллектуальным средам // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика. Материалы 1-го международного симпозиума (ГИСИС'2012, Калининград,

- Светлогорск, 29 июня – 2 июля 2012 г.). – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012. – Часть 1. – С. 42-54.
111. Тарасов В.Б. Гранулярные структуры измерений в интеллектуальных средах: васильевские и белнаповские сенсоры и модели их взаимодействия // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2013. – №5. – С. 65-74.
112. Тарасов В.Б. О методах построения гранулярных логических значений и структур // Нечеткие системы и мягкие вычисления. Труды VI-й Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, СПИИРАН, 27-29 июня 2014 г.). – СПб: Политехника-сервис, 2014. – Т.2. – С. 33-44.
113. Тарасов В.Б. Проблема понимания: настоящее и будущее искусственного интеллекта // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Материалы V-й Международной научно-технической конференции (OSTIS-2015, Минск, БГУИР, 19-21 февраля 2015 г.). – Минск: Изд-во БГУИР, 2015. – С. 25-42.
114. Тарасов В.Б., Калущкая А.П., Святкина М.Н. Гранулярные, нечеткие и лингвистические онтологии для обеспечения взаимопонимания между когнитивными агентами // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Материалы II-й Международной научно-технической конференции (OSTIS'2012, Минск, БГУИР, 16-18 февраля 2012г.). – Минск: БГУИР, 2012. – С. 267-278.
115. Тарасов В.Б., Калущкая А.П., Святкина М.В. Интеллектуальная среда: когнитивно-регулятивный мета-агент на основе сенсорных сетей // Интеллектуальный анализ информации. Сборник трудов XII-й международной конференции им. Т.А. Таран (ИАИ-2012, Киев, 16-18 мая 2012 г.). – Киев: Просвіта, 2012. – С. 203-214.
116. Тарасов В.Б., Святкина М.Н. Интеллектуальные системы SCADA: истоки и перспективы // Наука и образование. – 2011 г. – №10. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/224479.html>.

117. Тарасов В.Б., Святкина М.Н. Логическая прагматика и анализ сенсорных данных: белнаповские сенсоры и их взаимодействия // 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.
118. Тарасов В.Б., Святкина М.Н. Логическая прагматика в когнитивных измерениях // Нечеткие системы и мягкие вычисления. Труды VI-й Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, СПИИРАН, 27-29 июня 2014 г.). – СПб: Политехника-сервис, 2014. – Т.1. – С. 155-168.
119. Тарский А. Понятие истины в языках дедуктивных наук. Философия и логика Львовско-Варшавской школы. – М.: РОССПЭН, 1999. – С. 19-155.
120. Техническая энциклопедия. В 26-томах. М.: АО «Советская энциклопедия», 1927-1936.
121. Филлмор Ч. Фреймы и семантика понимания // Новое в зарубежной лингвистике. – М.: Прогресс, 1988. – С. 52-92.
122. Философия: Энциклопедический словарь / Под ред. А.А. Ивина. – М.: Гардарики, 2004.
123. Финн В.К. Об одном варианте логики аргументации // НТИ. Сер.2. – 1996. – №5-6. – С.3-19.
124. Финн В.К. Об интеллектуальном анализе данных // Новости искусственного интеллекта. – 2004. – №3. – С. 3-18.
125. Финн В.К. О логико-семиотических проблемах теории понимания текстов // Научно-техническая информация. Серия 2. Информационные процессы и системы. – 2010. – №9. – С. 1-11.
126. Финн В.К. Искусственный интеллект: методология, применения, философия. – М.: КРАСАНД, 2011.
127. Флоренский П.А. Столп и утверждение истины. – М.: Правда, 1990.
128. Фреге Г. Логика и логическая семантика: Пер. с нем. Изд.2-е, испр. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.

129. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс. – СПб.: НПО «Профессионал», 2008. – 284 с.
130. Шабельников А.Н., Шабельников В.А., Ковалев С.М. Интеллектуальные системы распределенного мониторинга на основе беспроводных сенсорных сетей с использованием системы мобильных объектов // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов V-й Международной научно-технической конференции (Коломна, 28-30 мая 2009 г.). В 2-х томах. – М.: Физматлит, 2009. – Т.1. – С. 538-543.
131. Шишмарев В.Ю. Технические измерения и приборы. – М.: Академия, 2010.
132. Шрамко Я.В. Обобщенные истинностные значения: решетки и мультирешетки // Логические исследования. Вып.9. – М.: Наука, 2002. – С. 264-291.
133. Шрамко Я.В. Истина и ложь: что такое истинностные значения и для чего они нужны? // Логос. – 2009. – №2(70). – С. 96-121.
134. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. – М.: Радио и связь, 1982.
135. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. – М.: Финансы и статистика, 2004.
136. Aarts E., Harwig R., Schuurmans M. Ambient Intelligence // The Invisible Future: The Seamless Integration of Technology into Everyday Life / Ed. by P.J. Denning. – New York: McGraw-Hill Companies, 2001. – P. 235-250.
137. Ackoff R. From Data to Wisdom // Journal of Applied Systems Analysis. – 1989. – Vol.16. – P. 3-9.
138. Ajdukiewicz K. Pragmatic Logic. – Warsaw: D. Reidel Publishing Company, 1974.
139. Averkin A.N., Belenki A., Suvorov V., Zubkov G. Soft Measurements in Wireless Sensor Network // Proceedings of 2005 International Conference on Soft Computing and Measurements (St. Petersburg, Russia, June 27-29, 2005). – St.Petersburg: LETI Editions, 2005. – Vol.1. – P. 58-63.
140. Avron A. A Note on the Structure of Bilattices // Journal of Mathematical Structures in Computer Science. – 1995. – Vol.5. – P. 431-458.

141. Bargiela A., Pedrycz W. Granular Computing: an Introduction. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.
142. Beaufort scale [Электронный ресурс] // Encyclopedia Britannica. – 2019. – <https://www.britannica.com/science/Beaufort-scale>, свободный.
143. Belnap N. A Useful Four-Valued Logic // Modern Uses of Multiple-Valued Logic / Ed. by J.M. Dunn and G. Epstein. – Dordrecht: D.Reidel, 1977. – P. 8-37.
144. Calegari S., Farina F. Fuzzy Ontologies and Scale-Free Network Analysis// International Journal of Computer Science and Applications. – 2007. – Vol. IV. – P. 125-144.
145. Dargie W., Poellabauer C. Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice. – New York: John Wiley and Sons, 2010.
146. Dunn J.M. An Intuitive Semantics for First Degree Entailment and Coupled Trees // Philosophical Studies. –1976. – Vol.29. – P. 149-168.
147. Feigenbaum E.A. Knowledge Engineering: The Applied Side of Artificial Intelligence // Proceedings of a Symposium on Computer Culture: the Scientific, Intellectual, and Social Impact of the Computer. – NY: New York Academy of Sciences, 1984. – P. 91-107.
148. Finkelstein L. Intelligent and Knowledge-Based Instrumentation. An Examination of Basic Concepts // Measurement. – 1994. – Vol.14. – P. 23-30.
149. Fitting M. Bilattices and the Theory of Truth // Journal of Philosophical Logic. – 1989. – Vol.18. – P. 225-256.
150. Ginsberg M. Multivalued Logics: a Uniform Approach to Reasoning in Artificial Intelligence // Computational Intelligence. – 1988. –Vol. 4. – P. 265-316.
151. Goddard L., Routley R. The Logic of Significance and Context. Vol.1. – Edinburgh and London: Scottish Academic Press, 1973.
152. Goguen J.A. The Logic of Inexact Concepts // Synthese. – 1969. – Vol.19, №3/4. – P. 325-373.
153. Gottwald S. A Treatise on Many-Valued Logics. – Baldock: Research Studies Press, 2001.

154. Gruber T.R. A Translation Approach to Portable Ontologies // Knowledge Acquisition. – 1993. – Vol.5, №2. – P. 199-220.
155. Guarino N. Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation // International Journal of Human-Computer Studies. – 1995. – Vol.43. – №5-6. – P. 625-640.
156. Guarino N. Formal Ontology and Information Systems // Proceedings of the 1st International Conference on Formal Ontologies in Information Systems (FOIS'98, Trento, Italy, June 6-8, 1998) / Ed. by N. Guarino. – Amsterdam, IOS Press, 1998. – P. 3-15.
157. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). – International Organization of Standardization, Geneva, 1993.
158. Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments / Ed. by H. Nakashima, H. Adhajan, J.C. Augusto. – New York: Springer Verlag, 2010.
159. Hajek P. Metamathematics of Fuzzy Logics. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997.
160. Handbook of Research on Ambient Intelligence and Smart Environments: Trends and Perspectives / Ed. by N.-Y.Chong and F.Mastrogiovanni. – New York: IGI Global, 2011.
161. Handbook on Ontologies. / Ed. by S. Staab, R. Studer. – Berlin: Springer-Verlag, 2004.
162. Hodgson R. et al. The NASA QUDT Handbook. – NASA, 2014.
163. Hu F., Hao Q. Intelligent Sensor Networks: The Integration of Sensor Networks, Signal Processing and Machine Learning. – Boca Raton: CRC Press, 2012.
164. Koroleva M.N., Burdo G.B. On Ontological Modeling of Measurements in a Complex Monitoring System of Technical Object // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. Issue 3. – Minsk: BSUIR Publishers, 2019. – P. 243-246.
165. Kovalev S.M., Tarassov V.B., Dolgiy A.I., Dolgiy I.D., Koroleva M.N., Khatlamadzhiyan A.E. Towards Intelligent Measurement in Railcar On-Line Monitoring: from Measurement Ontologies to Hybrid Information Granulation System // Advances in Intelligent Systems and Computing (2nd International

- Conference on Intelligent Information Technologies for Industry, IITI 2017; Varna; Bulgaria; 14 September 2017). – Springer Verlag, 2018. – Vol. 679. – P. 169-181.
166. Kuhn W. A Functional Ontology of Observation and Measurement // Proceedings of the 3rd Workshop on GeoSemantics (GeoS'2009, Mexico City, December 3-4, 2009). Lecture Notes in Computer Science. Vol.5892. – Berlin: Springer-Verlag, 2009. – P. 26-43.
167. Lange T. Intelligent SCADA Systems // Engineer IT. Automation and Technical Control. April 2007. – P. 26 -30.
168. Lin T.Y. Granular computing on binary relations I: Data mining and neighborhood systems // Rough sets in knowledge discovery. – Heidelberg: Physica-Verlag, 1998. – P. 107–140.
169. Mauris G., Foulloy L. A Fuzzy Symbolic Approach to Formalize Sensory Measurements // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2002. – Vol.51, №4. – P. 712-715.
170. Moore J., Newell A. How Can MERLIN Understand? // Knowledge and Cognition. – Baltimore: Lawrence Erlbaum Associates, 1973.
171. Pedrycz W. Shadow Sets: Representing and Processing Fuzzy Sets // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics (Part B). – 1998. – Vol.28. – P. 103-109.
172. Rescher N. Many-Valued Logics. – New York: McGraw-Hill, 1969.
173. Reznik L. Measurement Theory and Uncertainty in Measurements: Application of Interval Analysis and Fuzzy Set Methods // Handbook of Granular Computing / Ed. by W. Pedrycz, A. Skowron, V. Kreinovich. – Chichester: John Wiley and Sons Ltd, 2008. – P. 517-532.
174. Shramko Y., Wansing H. Truth and Falsehood – An Inquiry into Generalized Logical Values. – Heidelberg: Springer, 2012.
175. Simon H. Artificial Intelligence Systems that Understand // Proceedings of the 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence. – Boston: MIT, 1977. – P. 1059-1073.

176. Sowa J.F. Top-Level Ontological Categories // *International Journal of Human-Computer Studies*. – 1995. – Vol.43, №5-6. – P. 669-685.
177. Suarez-Figueroa M.C., Gomez-Perez A., Fernandez-Lopez M. The NeOn Methodology for Ontology Engineering // *Ontology Engineering in a Networked World*. – Berlin: Springer-Verlag, 2012. – P. 9-34.
178. Svyatkina M.N., Tarassov V.B. On Granules and Granular Structures for Multi-Valued Logics // *Handbook of the 4th World Congress and School on Universal Logics (UNILOG'2013, Rio de Janeiro, Brazil, March 29-April 07, 2013)* / Ed. by J.-Y Beziau et al. – Rio de Janeiro: Editora Kelps, Goiania, 2013. – P. 297-300.
179. Svyatkina M.N., Tarassov V.B. Toward Logical Models of Understanding: Axiology, Logical Pragmatics, Pragmatic Logics, What Else? // *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.
180. Svyatkina M.N., Tarassov V.B., Dolgiy A.I. Logical-Algebraic Methods in Constructing Cognitive Sensors for Railway Infrastructure Intelligent Monitoring System // *Proceedings of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI'16, 16-21 May 2016, Sochi, Russia)*. – Springer International Publishing, 2016. – Vol.1. – P. 191-206.
181. Tarassov V.B., Svyatkina M.N. On Soft Measurements and Data Mining Based on Granular Pragmatics, Multi-Valued and Fuzzy Logics // *Proceedings of the 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting / Ed. by W. Pedrycz, M.Z. Reformat (IFSA/NAFIPS' 2013, Edmonton, Canada, June 24- 28, 2013)*. – Edmonton: IEEE, 2013. – P. 968-973.
182. Tarassov V.B., Svyatkina M.N. Cognitive Measurements for Intelligent Systems // *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.

183. Tarassov V.B., Svyatkina M.N. Cognitive Measurements: the Future of Intelligent Systems // Программные продукты и системы. – 2013. – № 4. – С. 74-82.
184. Tarassov V.B., Svyatkina M.N. Using Zadeh's Granulation Concept: Granular Logics and Their Application to Sensor Data Analysis // Recent Developments and New Directions in Soft Computing. – New York: Springer, 2014. – P. 453-466.
185. Tarassov V.B., Svyatkina M.N. Monitoring Railway Infrastructure Objects with Using Cognitive Measurements // 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.
186. Tarassov V.B., Svyatkina M.N., Karabekov B.S. Cognitive Measurements for New Generation Knowledge Acquisition Systems // Proceedings of 9th Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT'2015, Rostov-on-Don, Russia, October 14-16, 2015). – Rostov-on-Don: Southern Federal University–IEEE, 2015. – P. 122-127.
187. Winograd T., Flores F. Understanding Computers and Cognition: a New Foundation for Design. – Norwood: Ablex, 1986.
188. Zadeh L.A. Fuzzy Sets // Information and Control. – 1965. – Vol.8. – P. 338-353.
189. Zadeh L.A. Fuzzy Logic, Neural Network and Soft Computing // Communications of the ACM. – 1994. – Vol.37, №3. – P. 77-84.
190. Zadeh L.A. Towards a Theory of Fuzzy Information Granulation and its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic// Fuzzy Sets and Systems. – 1997. – Vol.90. – P. 111-127.
191. Zeleny M. Management Support Systems: Towards Integrated Knowledge Management // Human Systems Management. – 1987. – Vol.7, №1. – P. 59-70.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ОПИСАНИЕ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА МОСТУ

А1. Анемометры

Анемометр (от греч. *Anemos* – ветер и *metreo* – измерение) – прибор, предназначенный для измерения скорости ветра, а также скорости направленных воздушных и газовых потоков. Этот прибор состоит из двух основных блоков: набора лопастей, расположенных на его верхушке, и соединенного с ними измерительного механизма.

Анемометр, как измерительный прибор, состоит из трех основных частей:

- приемное устройство (чувствительный элемент анемометра, первичный преобразователь анемометра);
- вторичный преобразователь (механический, пневматический или электронный блок анемометра);
- отсчетное устройство (указатель стрелки, шкала, индикатор, дисплей анемометра).

По принципу действия различают:

- механические анемометры, в которых движение газа приводит во вращение чашечное колесо или крыльчатку (подобие воздушного винта);
- поплавковые анемометры;
- тепловые анемометры, принцип действия которых основан на измерении снижения температуры нагретого тела, обычно накаливаемой проволоки, от движения газа;
- ультразвуковые (акустические) анемометры, которые основаны на измерении скорости звука в газе в зависимости от направления движения (так навстречу ветру скорость звука ниже, чем в неподвижном воздухе, а по ветру, наоборот, выше);
- оптические анемометры (лазерные, доплеровские анемометры).

Наиболее распространенными являются механические чашечные анемометры.

Рассмотрим подробнее конструкцию датчика скорости ветра, который включает в себя три полых алюминиевых полушария (рис. А.1).

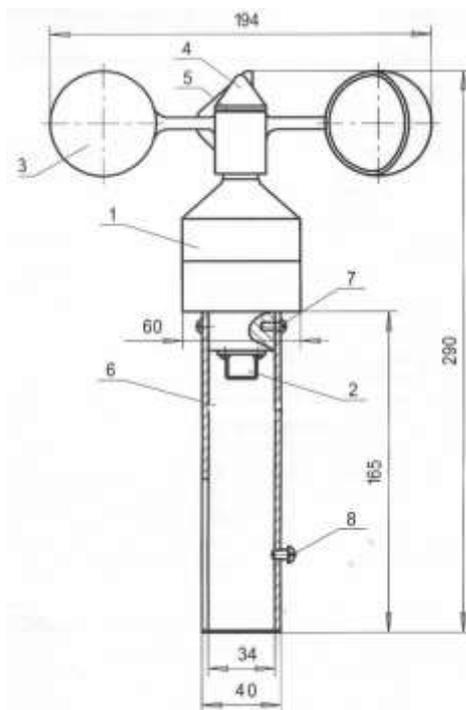


Рис. А.1. Датчик скорости ветра

1 – преобразователь, 2 – разъем, 3 – крыльчатка, 4 – гайка-колпачок, 5 – уплотнительная шайба, 6 – труба, 7 – винт крепления, 8 – стопорный винт

При измерении скорости движения воздуха в отверстиях воздуховодов вентиляции, окна или дверей колесо анемометра устанавливают так, чтобы ось его была параллельна току воздуха. Перед этим записывают исходное положение стрелок на циферблатах. После того как крылья анемометра начнут вращаться с устойчивой скоростью, при помощи рычажка пускают стрелку на циферблат и включают секундомер. Спустя 1-2 минуты тем же рычажком останавливают стрелку циферблата и отмечают показания пройденного пути в метрах. Разделив найденную цифру (разница показаний на циферблате между показаниями после остановки стрелки и начала ее вращения) на число секунд вращения, получают скорость движения воздуха в метрах в секунду, умножив полученный результат на коэффициент поправки прибора, указанной в его паспорте.

Для проведения более точных измерений используются электронные и цифровые анемометры. С их помощью можно вести детальные статистические наблюдения, которые необходимы для долгосрочного прогнозирования. Они компактны и удобны в эксплуатации.

Этапы эволюции чашечных анемометров представлены на рис. А2.

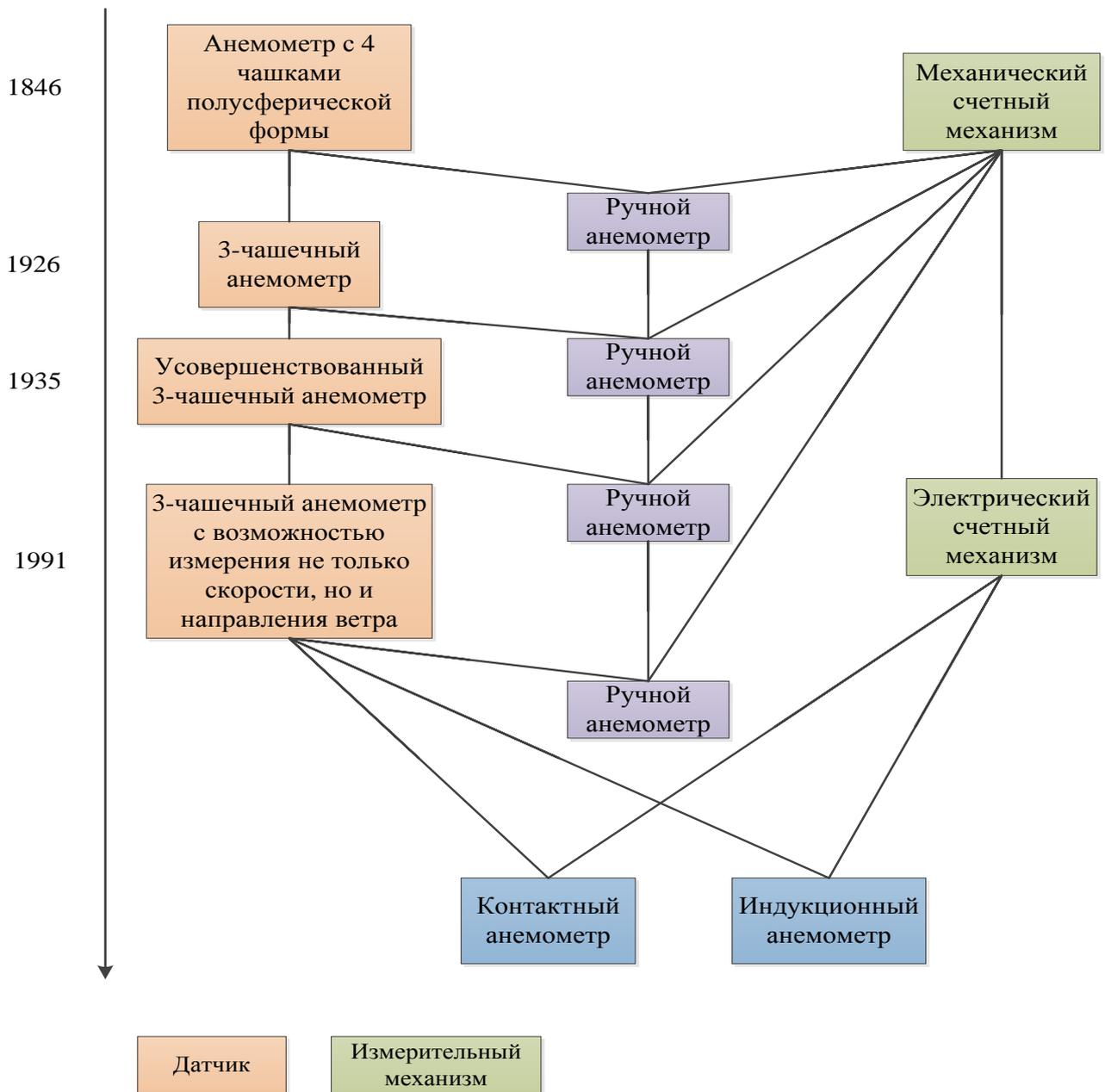


Рис. А.2. Эволюция чашечных анемометров

При выборе анемометра необходимо учитывать множество факторов, таких как диапазон измерений анемометра, погрешность измерения скорости воздушного потока, диапазон рабочих температур, степень защиты анемометра от

воздействия агрессивных факторов окружающей среды, уровень взрывозащиты, влагозащищенность и водонепроницаемость анемометра, габаритные размеры, как самого прибора, так и чувствительного элемента анемометра и т.д.

Кроме того, разработчики часто оснащают анемометры дополнительными функциями, позволяющими кроме определения скорости воздуха измерять объемный расход, температуру, направление воздушного потока, относительную и абсолютную влажность, освещенность, содержание вредных примесей и некоторые другие параметры. Некоторые анемометры даже оснащены электронным компасом.

Многофункциональные и высококонтрастные жидкокристаллические дисплеи анемометров некоторые изготовители снабжают подсветкой, что позволяет производить измерение скорости воздушного потока и других параметров микроклимата в условиях недостаточной освещенности.

Возросшие объемы измерения скорости воздушного потока и расхода воздуха диктуют необходимость оснащения анемометров большим объемом встроенной памяти. Немаловажное значение при этом приобретает и возможность подключения анемометра к персональному компьютеру, а также наличие в комплекте поставки анемометра специального программного обеспечения, предназначенного для проведения статистической обработки результатов измерений с применением новейших научно-обоснованных методик расчета. Использование такого программно-аппаратного комплекса для измерения скорости воздушного потока существенно облегчает регистрацию и ввод измерительных данных, повышая точность и достоверность анализа больших массивов информации и оказывая положительное влияние на качество выполненных работ и общее увеличение производительности труда.

Технические характеристики анемометра АСЦ-3, в состав которого входит данный датчик скорости ветра, приведены в таблице ниже.

Таблица А1 – Технические характеристики анемометра АСЦ-3

Диапазон измерения скорости, (м/с)	от 1,8 до 32
Пороги срабатывания, (м/с)	от 10 до 32
Погрешность срабатывания по предельной скорости ветра, (м/с)	$\pm(0,5\pm 0,05)$
Условия эксплуатации: - датчика, (°С) - блока контроля, (°С)	от -60 до +55 от -40 до +55
Диапазон установки задержки срабатывания, (с)	от 0 до 10
Индикация результатов измерения	цифровая с дискретностью 0,1 м/с, количество знаков отсчета-3
Питание, (В)	переменный ток 220В, постоянный от 9 до 30 В
Длина соединительного кабеля, (м)	Штатная 15 м
Габаритные размеры: - датчика, (мм) - блока контроля, (мм)	60x330 210x130x45
Масса: - датчика, (кг) - блока контроля, (кг)	0,4 0,5

А2. Температурные датчики

В основе работы любых температурных датчиков, использующихся в системах автоматического управления, лежит принцип преобразования измеряемой температуры в электрическую величину.

Температурные датчики бывают двух видов: аналоговые и цифровые.

Аналоговый температурный датчик, термистор, или *терморезистор* (от греч. *therme* – тепло, жар; от лат. *resisto* – сопротивляюсь) – это полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление которого существенно убывает или возрастает с ростом температуры. Для терморезистора характерны большой температурный коэффициент сопротивления (в десятки раз превышающий этот коэффициент у металлов), простота устройства, способность работать в различных климатических условиях при значительных механических нагрузках, стабильность характеристик во времени. Терморезистор изготавливают в

виде стержней, трубок, дисков, шайб, бусинок и тонких пластинок преимущественно методами порошковой металлургии, их размеры могут варьироваться в пределах от 1-10 мкм до 1-2 см. Основными параметрами терморезистора являются: номинальное сопротивление, температурный коэффициент сопротивления, интервал рабочих температур, максимально допустимая мощность рассеяния.

Цифровые температурные датчики позволяют избежать многих проблем, связанных с передачей аналогового сигнала от полупроводникового датчика к входу АЦП или компаратора. Объединяя на одном кристалле чувствительный элемент, цепи коррекции нелинейности, АЦП, стандартный интерфейс, для подключения к микроконтроллеру и стабилизатор питания, эти приборы позволяют значительно упростить схемотехнику проектируемого устройства, повысить его надежность и снизить стоимость. Микросхемы термометров дополнительно содержат встроенную оперативную память и схему слежения, для контроля выхода температуры за установленное пользователем пороговое значение.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**ВАРИАНТ НАГЛЯДНОГО УЗОРЧАТОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
ЛОГИЧЕСКИХ ПРАГМАТИК ИЗМЕРЕНИЙ – «ОРНАМЕНТНАЯ»
ПРАГМАТИКА**

В данном приложении приведен вариант наглядного узорчатого представления логических прагматик измерений – «орнаментная прагматика.

Логические миры подробно описаны в главе 3, примеры наглядного цветного представления различных логических миров даны на рис. 3.3 – 3.7, узорчатое представление логических миров представлено на рис. Б1 а-г.

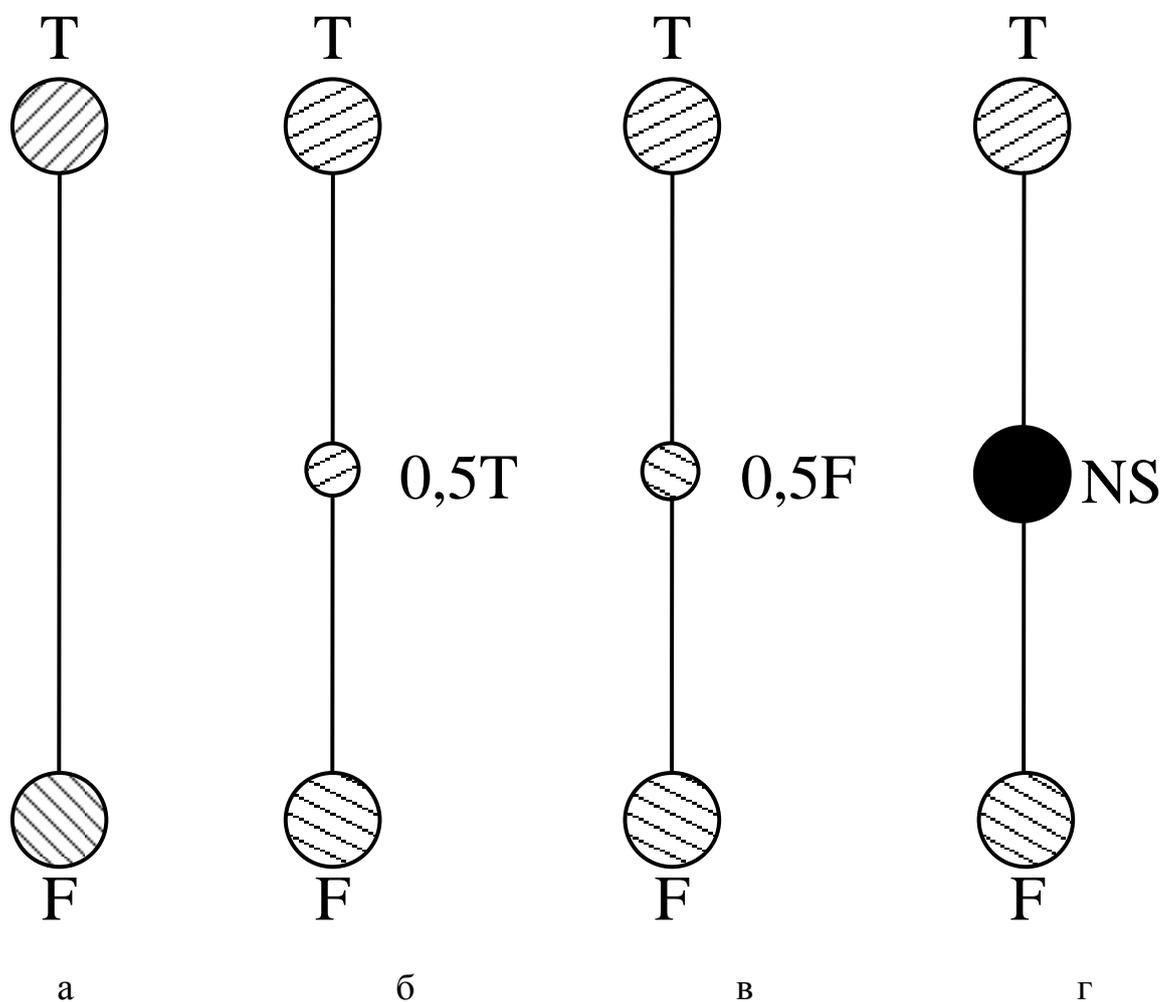


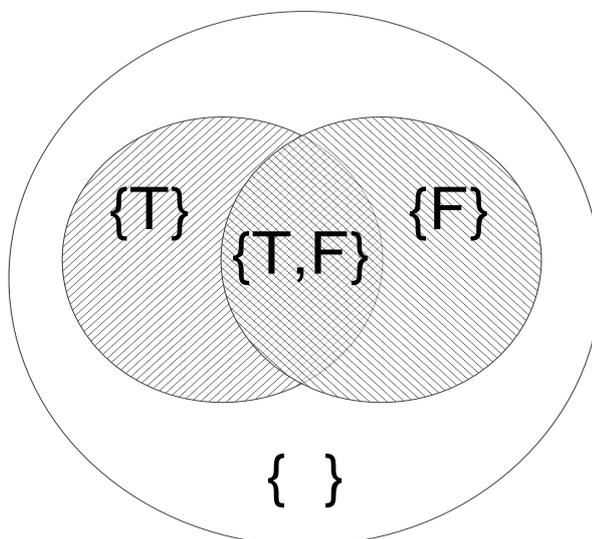
Рисунок Б.1. – Наглядное представление логических миров цепями с помеченными (заштрихованными) значениями истинности:

а) логический мир Фреге;

б) логический мир Гейтинга H_3 , где 0.5 Т есть «половинчатая истина»;

- в) логический мир Брауэра $B_{r_3, 0.5 F}$ – «половинчатая ложь»
 г) логический мир Бочвара, B_3 , значение NS (Non-Sence) есть сильная
 бессмыслица

Вариант визуализации мира Данна-Белнапа изображен на рис.Б.2.



**Рисунок Б.2. – Вариант графического представления
 логического мира Данна-Белнапа**

При выборе направления косой штриховки для T и F мы исходили из ряда принципов организации образного мышления, описанных у Д.А. Поспелова, в частности, из принципов равновесия и простоты. У человека есть врожденная система эталонов, которые для него просты. Если речь идет о геометрических фигурах, то это – квадрат и круг.

Что же касается направлений, то диагональное направление слева направо и вверх – это стандартный эталон возрастания или улучшения, а слева направо и вниз – убывания или ухудшения. Поскольку $T > F$, косая штриховка в первом направлении выбрана для иллюстрации предпочтительного значения «истина», а косая штриховка во втором направлении – для значения «ложь». Появление двойной штриховки (сетки) на рис. Б.2 соответствует составному значению истинности $B = \{T, F\}$.

Логический мир для модальностей (рис. Б.3) построен на базе представления положительных модальностей вертикальными линиями и

отрицательных модальностей – горизонтальными линиями, а также с учетом силы модальности (сильные модальности отображены более жирными линиями по сравнению со слабыми). Переход от косой к прямой штриховке демонстрирует хорошо известный в логике факт, что сильная положительная модальность (например, алетическая модальность «необходимость») в определенном смысле сильнее истины, а сильная отрицательная модальность (например, «невозможность») – сильнее лжи.

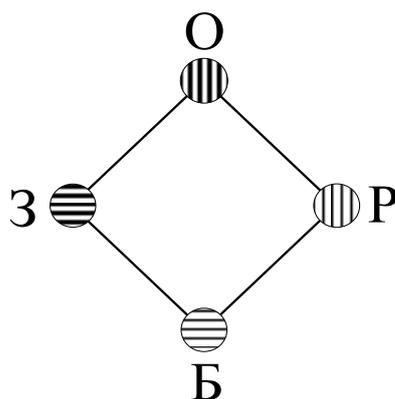


Рисунок Б.3. – Логический мир деонтических модальностей (норм):

О – обязательно, P – разрешено, Б – безразлично, З – запрещено

Логический мир де Клира (рис. Б.4), связанный с диагностикой, можно трактовать как описание результатов измерений, связанных с получением положительных, отрицательных или нейтральных оценок сложного технического объекта («можно эксплуатировать», «нельзя эксплуатировать», «непонятно»).

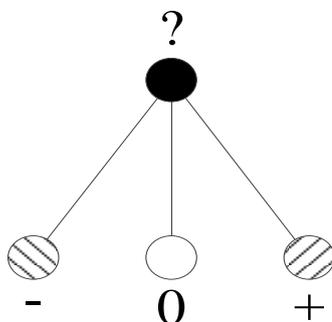


Рисунок Б.4. – Иллюстрация логического мира Де Клира

Наконец, диалогические миры иллюстрируют коммуникативную (распределенную) трактовку истины как продукта согласия или сведение ценности к победе в споре (рис. Б.5).

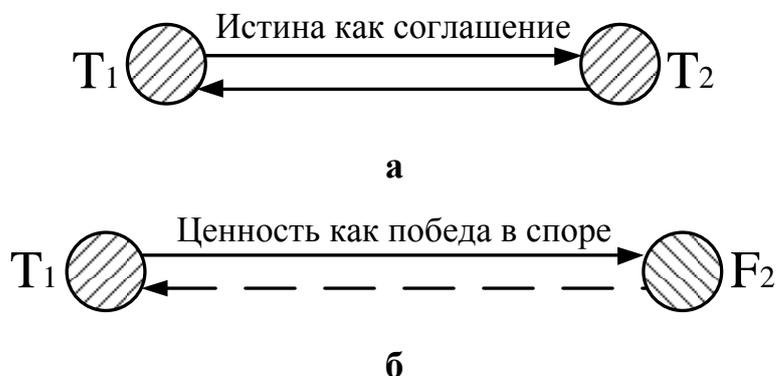


Рисунок Б.5. – Представление диалогических миров:

- а) мир переговоров (согласованная истина);**
- б) мир спора (ценность как победа в споре).**

Хорошей иллюстрацией варианта укрупненного представления результатов измерений средствами трехзначной логики и графики служит треугольник Васильева с заштрихованными вершинами (рис. Б.6), описывающими положительное, отрицательное и противоречивое высказывание

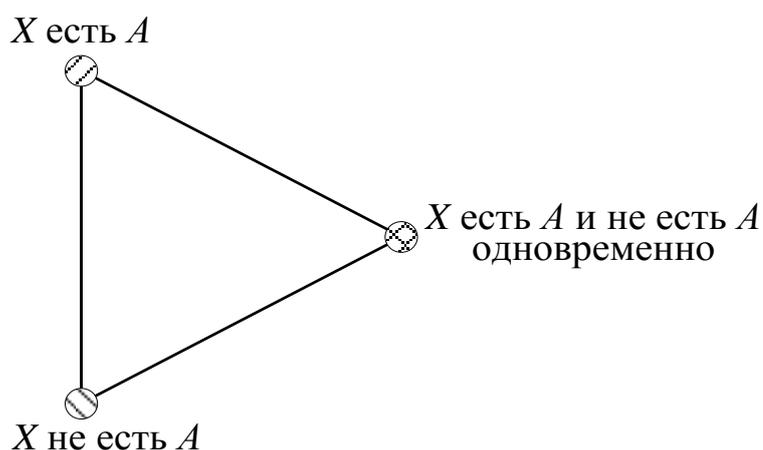


Рисунок Б.6. – Треугольник Васильева с заштрихованными вершинами

Диаграммы Хассе со штриховкой, изображающие структуры паранепротиворечивого мира, представлены на рис. Б.7, где упорядоченное множество $\langle V_3, <_V \rangle$ образует решетку L_3 , а $\langle V_3, <_I \rangle$ – верхнюю полурешетку. На

рис. Б.8 показаны варианты задания выделенных и антивыделенных значений в трехзначных паранепротиворечивых логиках.

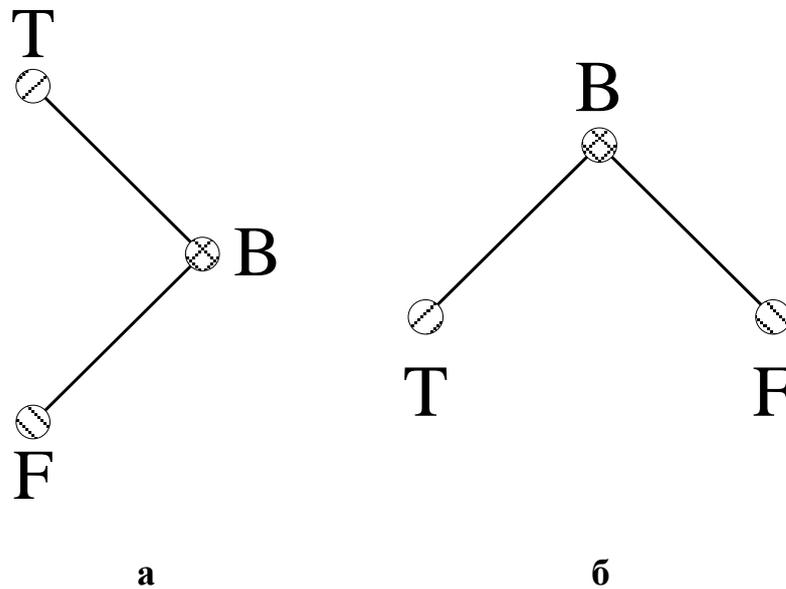


Рисунок Б.7. – Структуры паранепротиворечивого логического мира:
а) логическая решетка L_3 ; б) информационная полурешетка, полученная поворотом L_3 на 90° влево

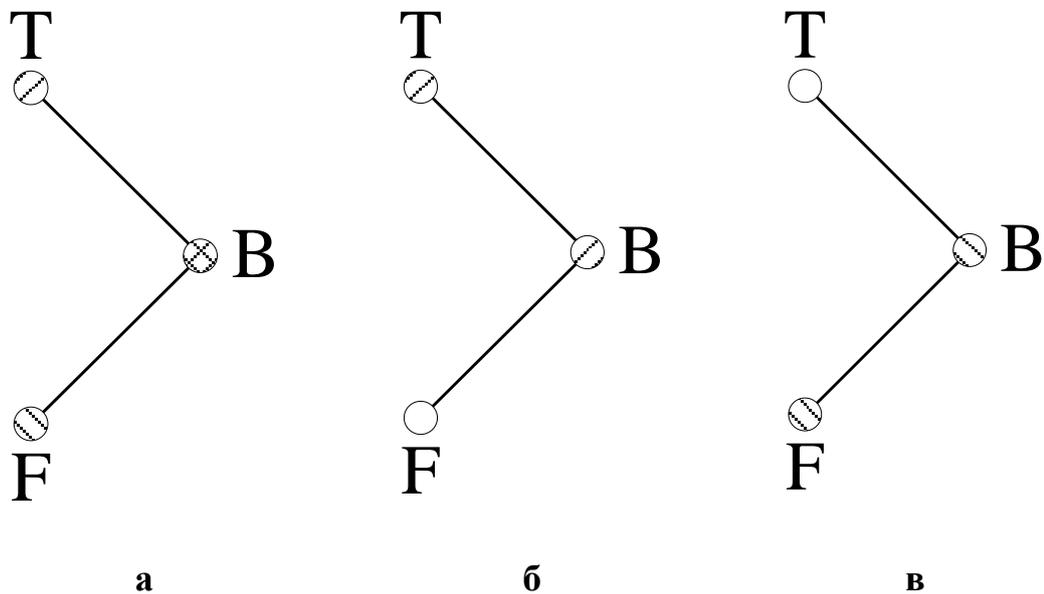


Рисунок Б.8. – Варианты задания выделенных (а, б) и антивыделенных (а, в) значений в трехзначных паранепротиворечивых логиках

ПРИЛОЖЕНИЕ В

РАСЧЕТ ДАВЛЕНИЯ И СИЛЫ ВЕТРА ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ ТРЕХ ТИПОВ

Расчет ветрового давления при значениях скорости ветра равных 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 и 50 м/с

$$F = V^2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot C_x \cdot K_\pi \cdot (1 + \varepsilon \cdot m) \cdot S \text{ (Н)}$$

где V – скорость ветра, характеризующая неупорядоченный стохастический характер пульсаций ветра в приземном слое, позволяющая считать, что распределение пульсаций ветрового потока подчиняется нормальному закону распределения Гаусса, м/с;

ρ – плотность воздуха, зависящая от высоты мостового пролета, температуры, давления и влажности воздуха, кг/м³;

C_x – аэродинамический коэффициент лобового сопротивления, который показывает степень аэродинамической устойчивости. Для большинства современных автомобилей он равен 0,75;

m – коэффициент пульсации скоростного напора, учитывающий динамические действия порывов ветра, определяющихся климатическими условиями, рельефом местности, высотой расположения объекта;

K_π – поправочный коэффициент на возрастание скоростного напора на высоте, определяет неравномерное распределение скорости ветра по вертикали;

S – площадь действия ветровой нагрузки, равная площади борта автомобиля;

ε – коэффициент динамичности, учитывающий реакцию автомобиля на пульсацию ветра в зависимости.

Площадь борта равная 1 м^2

$$F = V^2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot C_x \cdot K_\pi \cdot (1 + \varepsilon \cdot m) \cdot S$$

$$F = 1 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 1 = 0,9H$$

$$F = 25 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 1 = 22,5H$$

$$F = 100 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 1 = 90H$$

$$F = 225 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 1 = 202,5H$$

$$F = 400 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 1 = 360H$$

$$F = 675 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 1 = 608H$$

$$F = 900 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 1 = 810H$$

$$F = 1600 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 1 = 1440H$$

$$F = 2500 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 1 = 2250H$$

Площадь борта равная $7,2 \text{ м}^2$

$$F = V^2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot C_x \cdot K_\pi \cdot (1 + \varepsilon \cdot m) \cdot S$$

$$F = 1 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 7,2 = 6,48H$$

$$F = 25 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 7,2 = 162H$$

$$F = 100 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 7,2 = 648H$$

$$F = 225 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 7,2 = 1458H$$

$$F = 400 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 7,2 = 2592H$$

$$F = 675 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 7,2 = 4374H$$

$$F = 900 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 7,2 = 5832H$$

$$F = 1600 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 7,2 = 10368H$$

$$F = 2500 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 7,2 = 16200H$$

Площадь борта равная 12 м^2

$$F = V^2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot C_x \cdot K_\pi \cdot (1 + \varepsilon \cdot m) \cdot S$$

$$F = 1 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 12 = 10,8H$$

$$F = 25 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 12 = 270H$$

$$F = 100 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 12 = 1080H$$

$$F = 225 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 12 = 2430H$$

$$F = 400 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 12 = 4320H$$

$$F = 675 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 12 = 7290H$$

$$F = 900 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 12 = 9720H$$

$$F = 1600 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 12 = 17280H$$

$$F = 2500 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 12 = 30,294H$$

Площадь борта равная 29 м^2

$$F = V^2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot C_x \cdot K_\pi \cdot (1 + \varepsilon \cdot m) \cdot S$$

$$F = 1 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 29 = 26,1H$$

$$F = 25 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 29 = 652,5H$$

$$F = 100 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 29 = 2610H$$

$$F = 225 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot 29 = 5872,5H$$

$$F = 400 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 29 = 10440H$$

$$F = 675 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 29 = 17618H$$

$$F = 900 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 29 = 23490H$$

$$F = 1600 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 29 = 41760H$$

$$F = 2500 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,75 \cdot 2,2 \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,85) \cdot 29 = 65250H$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

**СИЛА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ ПРИ КОЭФФИЦИЕНТЕ ТРЕНИЯ
РАВНОМ 0.5, 0.35, 0.3 и 0.15**

$$F = k \cdot m \cdot g \text{ (Н)},$$

Где F – сила трения скольжения;

k – коэффициент трения скольжения;

m – масса объекта, кг;

g – гравитационная постоянная, $\frac{M^3}{кг \cdot c^2}$.

Сила трения скольжения при массе объекта 1600 кг

$$F = 0,5 \cdot 1600 \cdot 9,82 = 7856H$$

$$F = 0,35 \cdot 1600 \cdot 9,82 = 5500H$$

$$F = 0,3 \cdot 1600 \cdot 9,82 = 4713H$$

$$F = 0,15 \cdot 1600 \cdot 9,82 = 2357H$$

Сила трения скольжения при массе объекта 2700 кг

$$F = 0,5 \cdot 2700 \cdot 9,82 = 13257H$$

$$F = 0,35 \cdot 2700 \cdot 9,82 = 9280H$$

$$F = 0,3 \cdot 2700 \cdot 9,82 = 7954H$$

$$F = 0,15 \cdot 2700 \cdot 9,82 = 3977H$$

Сила трения скольжения при массе объекта 14350 кг

$$F = 0,5 \cdot 14350 \cdot 9,82 = 70459H$$

$$F = 0,35 \cdot 14350 \cdot 9,82 = 49321H$$

$$F = 0,3 \cdot 14350 \cdot 9,82 = 42275H$$

$$F = 0,15 \cdot 14350 \cdot 9,82 = 21138H$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Копия акта об использовании результатов диссертационной работы в научно-исследовательской работе МГТУ им. Н.Э. Баумана.

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор – проректор по
научной работе

МГТУ им. Н.Э. Баумана

д.т.н., профессор

В.Н. Зимин

«24» января 2019 г.



АКТ

об использовании в научно-исследовательской работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» результатов диссертационной работы Королевой Марии Николаевны «Мониторинг сложного технического объекта на основе когнитивных измерений»

Настоящим актом подтверждается использование результатов диссертационной работы Королевой М.Н. в научных проектах кафедры РК9 «Компьютерные системы автоматизации производства».

Результаты были использованы в проектах РФФИ №№ 11-07-13165-офи-м-2011-РЖД «Разработка имитационной модели интеллектуальной железнодорожной транспортной системы на основе концепции интеллектуальной среды» (рук. Тарасов В.Б.), 13-07-00972-а «Получение, интеграция и интеллектуальный анализ сенсорных данных, построение биомехатронных и робототехнических систем для интеллектуальных сред» (рук. Гаврюшин С.С.), 14-07-31317-мол-а «Разработка интеллектуальной системы нового поколения на основе когнитивных измерений» (рук. Святкина (Королева) М.Н.), 14-07-00846-а «Грануляция информации когнитивными агентами и гранулярные модели в искусственном интеллекте»

(рук. Тарасов В.Б.), 17-07-01374-а «Разработка моделей понимания на основе подходов универсальной логики, когнитивной семиотики и онтологического инжиниринга для обеспечения совместной работы искусственных агентов» (рук. Тарасов В.Б.). А также – в теме по государственному заданию № 2.7918.2017/БЧ «Автоматизация мониторинга технических систем и технологических процессов в рамках концепции цифрового производства» (рук. Гаврюшин С.С.).

В частности, были использованы следующие результаты диссертации М.Н. Королевой:

- модель системы мониторинга сложного технического объекта в виде интеллектуальной среды;
- схема гибридной системы приобретения знаний третьего поколения на основе когнитивных измерений и гранулярных вычислений;
- иерархическая система онтологий измерений, в том числе онтология неопределённости измерений;
- структурная схема и алгоритм синтеза когнитивного информационно-измерительного устройства как средства грануляции и интерпретации измерительной информации;
- метод и алгоритм интерпретации сенсорных данных на базе аппарата бирешеток.

Заведующий каф. РК9
д.т.н., проф.



С.С. Гаврюшин

Зам. зав. каф. по научной работе
к.т.н., доц.



В.Б. Тарасов

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Копия акта об использовании результатов диссертационной работы в учебном процессе МГТУ им. Н.Э. Баумана.

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор – проректор по
учебной работе

МГТУ им. Н.Э. Баумана



К.Т.Н.

Б.В. Падалкин
Б.В. Падалкин

«*21*» *января* 2019 г.

АКТ

об использовании в учебном процессе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» результатов диссертационной работы Королевой Марии Николаевны «Мониторинг сложного технического объекта на основе когнитивных измерений»

Настоящим актом подтверждается использование результатов диссертационной работы Королевой М.Н. в учебном процессе кафедры РК9 «Компьютерные системы автоматизации производства».

Выполненные в диссертации исследования и разработки по мониторингу сложных технических объектов с использованием системного подхода и методов искусственного интеллекта, в том числе обобщенная концепция мониторинга на основе интеллектуальной среды, иерархическая система онтологий измерений, схема когнитивных измерений как двухуровневой структуры грануляции информации, модель гибридной системы приобретения знаний третьего поколения, алгоритм интерпретации сенсорных данных с помощью многозначных логик и логических прагматик и алгоритм построения нечетких продукционных правил о возможности эксплуатации объекта мониторинга используются в курсовом проектировании

и подготовке выпускных квалификационных работ, а также при проведении занятий по курсам «Методы системного анализа и синтеза» и «Интеллектуальные системы».

Внедрение результатов диссертационной работы Королевой М.Н. в учебный процесс позволило расширить теоретическую базу читаемых курсов, теснее увязать теоретические основы системного подхода к мониторингу технических объектов с практическими разработками, как следствие, повысить качество подготовки студентов.

Заведующий каф. РК9
д.т.н., проф.



С.С. Гаврюшин

Зам. зав. каф. по учебной работе
к.т.н., доц.



Е.В. Арбузов

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Копии актов о внедрении результатов диссертационной работы на предприятия.

ИГТ·ЮГ
ИНТЕХГЕОТРАНС-ЮГ

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ИНТЕХГЕОТРАНС-ЮГ»
Дата 15.04.2019 г. № 125/НН

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

О.И. Егоренкова

**АКТ**

о внедрении результатов кандидатской диссертации

Королевой Марии Николаевны

«Мониторинг сложного технического объекта на основе когнитивных измерений»

Мы, нижеподписавшиеся, Ольга Игоревна Егоренкова – Генеральный директор и Константин Петрович Лысенко – Главный инженер АО «ИнтехГеоТранс-Юг» составили настоящий акт о том, что на предприятии АО «ИнтехГеоТранс-Юг» внедрены и используются результаты кандидатской диссертации Королевой М.Н. «Мониторинг сложного технического объекта на основе когнитивных измерений».

В процессе опытной эксплуатации универсальной системы автоматизированного распознавания номеров вагонов с функцией коммерческого осмотра, включающего средства визуального, тензометрического и лазерного мониторинга, был успешно апробирован предложенный в диссертации расширенный подход к мониторингу на базе принципа единства измерений, оценок, рассуждений и вычислений. Этот подход позволил тесно связать между собой процессы контроля, диагностики, прогнозирования и поддержки управляющих решений. Использование разработанного М.Н. Королевой когнитивного информационно-измерительного устройства, обеспечивающего логико-

лингвистическое и когнитивно-графическое истолкование числовых результатов измерений, в частности, алгоритма обработки и интерпретации мультисенсорной информации, позволило реализовать автоматическую интерпретацию получаемой на посту текущей информации, повысить качество диагностики и на 18% ускорить процесс принятия решений.

Генеральный директор



О.И. Егоренкова

Главный инженер



К.П. Лысенко

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТА ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА, ИОНОСФЕРЫ
И РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН им. Н.В. ПУШКОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(СПбФ ИЗМИРАН)**

199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. д.5, лит.Б,
т. (812) 323-78-45, т/ф (812) 323-69-62, office@izmiran.spb.ru
ОКПО 02698588, ОГРН 1035009350375, ИНН/КПП 5046005410/784002001

№ 11203/1441-

На Ваш №



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор СПбФ ИЗМИРАН

Д.Ф. М.И.

Ю.А. Копытенко

«04» декабря 2018 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы

Королевой Марии Николаевны

на тему «Мониторинг сложного технического объекта на основе когнитивных измерений»

Результаты диссертационной работы Королевой М.Н. на тему «Мониторинг сложного технического объекта на основе когнитивных измерений» были использованы в разработках и исследованиях Санкт-Петербургского Филиала федерального государственного бюджетного учреждения науки института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук.

В ходе проводившихся работ по разработке систем контроля за подвижными составами в условиях плохой видимости (например, интенсивного задымления на железнодорожных станциях) при помощи разрабатываемых в СПбФ ИЗМИРАН устройств магнитных измерений были использованы следующие результаты:

- метод грануляции измеренной информации и алгоритм интерпретации мультисенсорных данных на основе логических моделей;
- метод и алгоритм разрешения частичных противоречий в сенсорных сетях систем мониторинга о необходимости включения в базовую единицу сети дополнительного устройства магнитных измерений или передачи информации интеллектуальным агентам магнитных измерений верхнего уровня для принятия управленческих решений по полученным данным;
- онтологическая модель измерений.

Использование указанных результатов позволило: разработать вариант структуры многоагентной системы поддержки магнитных измерений, образуемой интеллектуальными агентами в соответствии со структурой комплекса «Очаг» (разработка СПбФ ИЗМИРАН), построить базу знаний для систем мониторинга и контроля за подвижными составами на станциях в условиях плохой видимости.

Ученый секретарь

с.н.с., к.ф.-м. н

Ведущий научный сотрудник к.т.н




В. С. Исмагилов

М.С. Петрищев



Открытое акционерное общество
«Научно-производственное предприятие «Темп» им. Ф. Короткова»
(ОАО «НПП «Темп» им. Ф. Короткова»)

Россия 127015, Москва, ул. Правды 23; тел. + 7 (495) 640-25-42 – приемная, факс + 7 (499) 257-16-06;
http://www.npptemp.com; e-mail: korotkov@npptemp.com, ОГРН 1027700154338, ИНН/КПП 7714019049/771401001

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
Королевой Марии Николаевны
на тему «Мониторинг сложного технического объекта на основе
когнитивных измерений»

Результаты диссертационной работы Королевой М.Н. на тему «Мониторинг сложного технического объекта на основе когнитивных измерений» были использованы в разработках и исследованиях предприятия.

В ходе проводившихся работ с автоматизированной системой стендовых испытаний топливорегулирующей аппаратуры летательных аппаратов были использованы следующие результаты:

- алгоритм обработки и интерпретации мультисенсорных данных на основе многозначных логик, логических прагматик и подходов когнитивной графики;
- методика интеллектуального мониторинга с использованием когнитивных измерений и вычислений;
- реализована программная часть когнитивного информационно-измерительного устройства.

Использование указанных результатов позволяет осуществлять диагностику текущего состояния объекта мониторинга, прогнозировать его дальнейшее состояние, более эффективно проводить стендовые испытания.

Зам. генерального директора
по научно-исследовательской работе



С.П. Пашков
«23. *Август* 2019 г.

Более 75 лет мы создаем топливную автоматику авиадвигателей

