



# OSTIS-2016

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.8:165.1

## ЛОГИКО-АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ СЕНСОРОВ

Святкина М.Н., Тарасов В.Б.

*ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана»  
г. Москва, Россия*

**maria.svyatkina@gmail.com**

**Vbulbov@yahoo.com**

Основная идея настоящей статьи заключается в демонстрации возможностей и развитии открытых прагматических технологий проектирования интеллектуальных систем. Исследована комплексная проблема мониторинга состояния объектов железнодорожной инфраструктуры. Отмечено, что центральным компонентом интеллектуальной системы мониторинга является гибридная систем приобретения/ обнаружения знаний, включающая модули формирования знаний на основе измерений, извлечения знаний из эксперта и онтологического инжиниринга. Показана ключевая роль измерений в решении задач мониторинга. Рассмотрены особенности измерений как познавательного процесса, находящегося в тесном единстве с оценками и рассуждениями. Описана предложенная ранее авторами концепция когнитивных измерений как иерархического процесса грануляции информации, осуществляемого с помощью когнитивных сенсоров. Когнитивный сенсор представляет собой не только информационно-измерительное устройство, познающее объект мониторинга и обеспечивающее получение знаний на базе измерений, но и «понимающую» искусственную систему, способную формировать оценки результатов измерений и проводить рассуждения в интересах текущей диагностики объекта и прогнозирования его будущего состояния. Функционирование когнитивного сенсора опирается на логическую прагматику измерений. В этом контексте проведено обсуждение ряда определений, концепций и формальных моделей понимания. Предложен общий логико-алгебраический подход к построению моделей понимания на базе логических (истинностных) оценок и норм. В рамках этого подхода различные логические системы представляются в виде алгебраических структур, в частности, цепей, решеток, полурешеток и произведений решеток, причем эти структуры порождаются с помощью различных отношений порядка. Центральное место в работе занимает формальное описание и графическая иллюстрация понятия логического мира. Для этого введены наглядные представления прагматики логических значений, опирающиеся на «метафору цвета» и «метафору геометрического узора». Эти представления, реализующие подходы иллюстративной и когнитивной графики в многозначных логиках, лежат в основе конкретных когнитивных сенсоров – сенсора Васильева, сенсора Клини и сенсора Белнапа, а также когнитивных сенсорных сетей, основанных на бирешетках и мультирешетках. В результате разработана методика логико-алгебраического синтеза когнитивных сенсоров и представлена блок-схема соответствующего алгоритма.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, интеллектуальная система мониторинга, приобретение знаний, обнаружение знаний в сенсорных данных, многозначные логики, когнитивные измерения, прагматика, когнитивный сенсор, понимание, интерпретация, когнитивная графика.

### Введение

Развитие современного высокоскоростного железнодорожного транспорта предъявляет новые, повышенные требования к мониторингу состояния железнодорожной инфраструктуры [Шабельников и др., 2010], в особенности, таких ее стратегических объектов как искусственные сооружения – мосты, тоннели, переезды и т.п. При этом проблема мониторинга является комплексной и включает в себя следующие задачи: измерение ключевых характеристик сложных технических объектов и их физико-технической среды, а также интерпретация

результатов измерений; анализ протекания процессов в наблюдаемых объектах и диагностика их текущих состояний; прогнозирование дальнейшего развития; принятие решения, связанного с управлением состоянием объекта железнодорожной инфраструктуры.

Здесь центральное место занимают различные измерения; так для мостов, 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.

Для эффективного решения последовательности задач мониторинга требуется создание передовых интеллектуальных систем, встроенных в реальную физико-техническую среду и имеющих гибридные подсистемы приобретения/обнаружения 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 осуществление совместной работы агентов в многоагентных системах. Наконец, в гибридных системах приобретения знаний 3-го поколения наряду с экспертными знаниями и онтологиями используются средства получения и анализа сенсорных данных [Святкина и др., 2014].

В целом, взаимосвязи между интеллектуальными технологиями и информационно-измерительными системами являются двусторонними. С одной стороны, сами измерения стали интеллектуальными, опирающимися на процессы и методы извлечения, представления, пополнения и использования метрологических знаний, создание как экспертных систем, так и специальных агентов измерений. С другой стороны, интеллектуальный анализ сенсорных данных и обнаружение знаний на базе измерений служит естественной основой для разработки искусственных когнитивных систем.

В настоящей работе рассмотрены теоретические основы *когнитивных измерений*, проводимых с помощью *когнитивных сенсоров*, и предложена логико-алгебраическая методика синтеза когнитивных сенсоров.

## 1. Когнитивные измерения и когнитивные сенсоры

### 1.1. Когнитивные процессы в интеллектуальных системах

Одна из главных особенностей современного развития прикладных интеллектуальных систем заключается в расширении базовой архитектуры, связанное с реализацией широкого спектра когнитивных процессов – восприятия, обучения, представления, мышления, понимания. До недавних пор в теории интеллектуальных систем исходили из того, что знания должны быть истинными, а их обработка – сохраняющей истинность. При этом процедуры корректировки и пополнения знаний были направлены на то, чтобы «общий уровень истинности» хранимых знаний монотонно возрастал.

Однако, в когнитивных системах знания могут быть основаны не на истине, а само понятие истинности претерпевает существенные изменения. По мнению О.П.Кузнецова, истинность – это лишь один из видов ценности знания, способствующий его устойчивости [Кузнецов, 2008]. Обыденное рассуждение основано скорее не на истине, как ее понимают в классической логике, а на хороших (в смысле гештальт-психологии) структурах.

Восходящие к Дж.Данну информационные трактовки истинностных значений как объектов, выражающих *размытость*, *неопределенность* или *противоречивость* понятий или как значений, передающих *информацию* о предложении; допускают их градуальность, грануляцию и немонотонные преобразования

Отличительные характеристики познавательных процессов, которые следует учитывать при разработке интеллектуальных систем мониторинга, таковы [Тарасов и др., 2012б]: 1) познание представляет собой открытую систему, которая базируется как на имеющемся знании, так и на оперативно получаемых сенсорных данных; 2) познание порождает гипотезы, а не «готовые выводы»; эти гипотезы нуждаются в подтверждении или опровержении; 3) познание неотделимо от грануляции данных – формирования «зерен» информации и знаний различного размера.

### 1.2. Измерение как познавательный процесс

Теоретические и практические проблемы измерений являются частью *метрологии* – науки об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Под измерением в классическом смысле понимается нахождение значения измеряемой величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Любое измерение предполагает определение измеряемой величины, метода измерения и соответствующей процедуры.

Данное определение многократно подвергалось обоснованной критике. В частности, оно не отражает связи измерения с моделью объекта измерения; поэтому открытой остается интерпретация результата измерения. Более того, измерение должно рассматриваться более широко как познавательный процесс, в результате которого получают описание объекта в количественных терминах [Розенберг, 1975].

Рассмотрение измерения как познавательного процесса имеет давние исторические корни. Одно из наиболее глубоких определений «измерения», дано русским философом и ученым П.А. Флоренски в «Технической энциклопедии»: «...*измерение* – основной познавательный процесс науки и техники, посредством которого неизвестная величина количественно сравнивается с другою, однородной с нею и считаемою известной».

На практике этот процесс находится в неразрывном единстве с другими познавательными процессами, прежде всего, с вычислениями и

рассуждениями. Например, 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.

В этом контексте особый интерес представляют варианты рассмотрения измерений как базовой когнитивной техники (гносеотехники по [Кнорринг, 1992]), основного источника знаний и рассуждений для интеллектуальных систем новых поколений [Тарасов и др., 2013].

В упомянутой выше книге [Розенберг, 1975], 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.

Таким образом, когнитивные аспекты измерений тесно связаны с операциями сопоставления, классификации, интерпретации, понимания. Когнитивные структуры измерений позволят реализовать автоматизированные переходы «данные-информация-знания-метазнания» [Тарасов, 2015], что обеспечит единство процессов получения исходных данных в первичных измерениях, выделения полезной информации и обнаружения знаний в сенсорных данных, формирования оценок, мнений и норм, проведения диагностических или прогностических рассуждений в интеллектуальных системах мониторинга.

### 1.3. Когнитивные измерения и прагматическая грануляция информации

Сам термин «когнитивные измерения» был предложен С.В. Прокопчиной в ее статье [Прокопчина, 2010], где речь идет об измерениях, в результате которых с помощью байесовских интеллектуальных технологий извлекаются метрологически аттестованные знания.

В наших работах [Тарасов и др., 2013; Святкина и др., 2014] концепция когнитивных измерений связана с грануляцией измерительной информации на основе принципа единства измерений, оценок и рассуждений, принципа формирования наглядной логико-алгебраической прагматики измерений и принципа синтеза теорий истины при интерпретации результатов измерений.

Согласно принципу *единства измерений, оценок и рассуждений*, измерение понимается как когнитивный процесс, связанный с построением гранулярной структуры информации в виде двухуровневой иерархии (рисунок 1), где на нижнем уровне с помощью набора датчиков, проводятся обычные измерения, результаты которых составляют *мелкозернистую* информацию, а 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»).

Итак, прагматическая шкала оценок содержит относительно небольшой набор аксиологических значений (типа «хорошо», «посредственно», «плохо» и др.) или деонтических значений («обязательно», «разрешено», «запрещено»), достаточных для диагностики, прогнозирования или принятия решений с допустимым уровнем точности. Главная цель когнитивных измерений в процессе мониторинга заключается не столько в получении точной числовой информации, сколько в выработке полезных практических рекомендаций с помощью рассуждений.

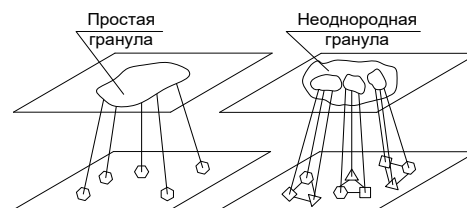


Рисунок 1–К формированию простых (однородных) и составных (неоднородных) гранул

Следует отметить, что традиционные измерения, направленные только на работу с данными, явно носят машиноцентрический характер, тогда как когнитивные измерения, будучи ориентированными на преобразование данных в знания, являются антропоцентрическими.

Проект OSTIS [Голенков и др., 2013] нацелен на создание открытых семантических технологий проектирования интеллектуальных систем. В данной статье предлагается дополнить его содержание *открытыми прагматическими технологиями* проектирования интеллектуальных систем, восходящими к идеям «Отца Прагматизма» Ч.Пирса [Пирс, 2000]. В этом плане возникает необходимость не только систематизации ранних идей, но и получения новых результатов в таких областях как:

- теоретические основы формализации и представления прагматики (прагматические миры и пространства);
- технологии синтеза логических систем, в основе которых лежит формализация прагматики;
- формализованные модели мнений, оценок и других базовых прагматических категорий;
- архитектура и технология проектирования интеллектуальных систем, в основе которых лежат прагматические модели (в частности, и логические прагматики, и прагматические логики).

В семиотике семантика есть выражение отношений между сообщением и его автором (отправителем), а прагматика характеризует отношения между сообщением (символом) и его пользователем (получателем). С помощью правил

прагматики среди множества смысловых значений, приписываемых символу, выбирают определенное смысловое значение – основное в конкретный момент времени [Попов, 2004]. Прагматику часто рассматривают как *исследование значения* в некотором *контексте*. Иными словами, прагматика учитывает конкретного адресата (интерпретатора), а у семантики его нет.

Логическая семантика – это раздел металогики, в котором изучаются интерпретации логических исчислений. Она занимается изучением смысла и значений конструкций формализованного языка теории, способами понимания его логических связок и формул [Смирнова, 1986]. Современная семантика включает два основных направления: теория истины и теория значения. Основоположник логической семантики Г.Фреге даже определил логику как науку о наиболее общих законах бытия *истины* [Фреге, 2012], а Я.Лукасевиц, развивая это определение, указал, что логика есть наука об особом роде объектах, называемых *логическими значениями* [Лукасевиц, 1993]. Ниже главное внимание уделяется описанию и визуализации таких логических значений, как «истина», «ложь», «неопределенность», «противоречивость», и др.

Логическая прагматика измерений связана с пониманием и полезностью результатов измерений для решения задач диагностики, прогнозирования, и в целом, мониторинга. Ее можно определить как раздел металогики, изучающий, каким образом интерпретатор на основе информации, не заложенной в результатах измерений, выбирает из множества интерпретаций наиболее подходящую для данного случая. Базовыми *прагматическими структурами* являются *мнение*, выражающее отношение между агентом и суждением (по А.Черчу), и *оценка*.

Принцип формирования *наглядной логико-алгебраической прагматики* измерений связан с погружением результата измерения в некоторый логический мир, который задается с помощью алгебраической структуры (решетки, полурешетки, бирешетки, и пр.), визуализированной с помощью диаграммы Хассе. В реализации этого принципа должны быть задействованы как *гранулярные логические прагматики*, опирающиеся на обобщенные значения истинности, так и *прагматические логики*, т.е. логические системы, основанные на прагматических (ценностных) трактовках истины [Ajdukiewicz, 1974; Будбаева и др., 1974, Ивин, 2016].

Наконец, логико-алгебраическая обработка результатов измерений с помощью истинностных значений и деонтических оценок предполагает синтез различных теорий истины. В современной логике известны три основные теории истины [Финн, 2004]: а) *теория соответствия* Аристотеля-Тарского, по которой истина есть соответствие логического предложения фактам внешнего мира, причем первичными являются именно реальные факты; б) *теория когерентности*, согласно которой

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); в) *прагматическая теория* истины, где истинность отождествляется с *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 – Неопределенность измерений. Руководство по выражению неопределенности измерений), а истина характеризует их полезность и применимость в жизни определенного сообщества.

Помимо этих классических теорий следует рассмотреть и ряд других, полезных для построения логических моделей понимания интерпретаций истины, предложенных в XX-м веке. Так А.Пуанкаре [Пуанкаре, 1990] трактует истину как результат соглашения, договоренности; его подход получил название «*конвенциональная теория истины*» и представляет особый интерес для логического моделирования процессов взаимопонимания.

В различных приложениях логических моделей могут появляться другие нестандартные трактовки истины. Так в логике аргументации В.К. Финна (см. [Финн, 2011]) введено понятие «*фактической истины*» как предельного случая ситуации аргументации, задаваемого непустым множеством аргументов и пустым множеством контраргументов. В логических моделях переговоров [Тарасов, 2009] определена «*согласованная истина*» как результат соглашения между агентами, причем ее отрицание есть неподвижная точка.

В контексте когнитивных измерений на первый план выходят классическая и прагматическая трактовки истины: первая приобретает вид соответствия между числовыми результатами измерений и их качественными оценками («измеренная истина»), а вторая связана с полезностью результата измерения для решения некоторой комплексной проблемы, например, задачи мониторинга или управления.

#### 1.4. Когнитивные сенсоры и модели понимания

Инструментальными средствами реализации когнитивных измерений выступают когнитивные сенсоры – датчики, способные не только измерять значения некоторого параметра рассматриваемого объекта, но и «понимать» полученную информацию, а также проводить рассуждения в интересах формирования рекомендаций, способствующих решению задач мониторинга [Тарасов и Святкина, 2012]. *Когнитивный сенсор* представляет собой не только информационно-измерительное, но и интерпретирующее устройство, снабженное логико-лингвистической прагматикой, т.е. способное

выражать результат измерения в терминах ограниченного естественного языка. При этом происходит грануляция информации: исходная мелкозернистая информация сенсорного уровня превращается в обобщенную крупнозернистую информацию речемыслительного (логико-лингвистического) уровня [Тарасов, 2013]. В общем случае когнитивные сенсоры строятся по схемам, представленным на рисунке 2.

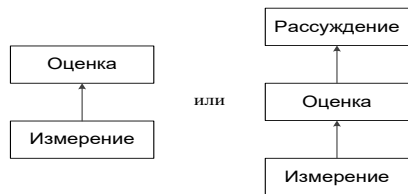


Рисунок 2 – Схемы построения когнитивных сенсоров

Ниже приведем примеры оценок и рассуждений, основанных на измерениях. Например, результат измерения скорости ветра на мосту с помощью анемометра равен 25-26 м/с. Тогда когнитивный анемометр диагностирует шторм и выдает деонтическую оценку «движение по мосту запрещено». Другой вариант: измеряются два параметра – скорость ветра анемометром и величина деформация конструкции моста тензометром. Результатом интерпретации полученных числовых значений являются нечеткие лингвистические оценки «Скорость ветра – довольно большая» и «Величина деформации» – «близкая к предельно допустимой». Тогда можно построить нечеткое продукционное правило типа «ЕСЛИ скорость ветра – довольно большая И величина деформации моста – близкая к предельно допустимой, ТО ввести ограничения на массу движущихся по мосту поездов в 3500 т».

Поскольку когнитивный сенсор трактуется здесь не только как инструментальное средство познания объекта мониторинга и получения знаний на основе измерений, но и как понимающая искусственная система, рассмотрим ниже основные определения, концепции и модели понимания.

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. Понимание может рассматриваться и как способность, и как операция, и как процесс, и как результат, и как средство (технология) усвоения знаний.

Сам термин «понимание» обычно раскрывается с помощью категорий «смысл», «значение», «истина», «ценность», «норма», например, понять мотивы поведения, понять предпосылки возникновения ситуации, установить ценность сведений, найти истину, и пр. Его часто уточняют с помощью дихотомий, например, «познание-понимание» (сама возможность познания во-многом определяется достигнутым уровнем понимания, но

понимание, в свою очередь, сильно зависит от исходных знаний, когнитивных способностей и структуры языка), «обучение-понимание» (цель обучения – понимание), «объяснение-понимание» (понимание – способность что-либо объяснить), «понимание-интерпретация» (прямой очевидный смысл связан с пониманием, тогда как интерпретация подразумевает выявление скрытого смысла или порождение нового смысла; таким образом, понимание является необходимым условием всякой интерпретации).

Формализации постановки и решения проблемы понимания уделяли значительное внимание еще классики искусственного интеллекта Т.Виноград, [Winograd et al., 1986], А.Ньюэлл, Г.Саймон, Э.В.Попов [2004], Д.А.Поспелов [1989], и др. Так в работе [Moore and Newell, 1973] 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 [Simon, 1977] предложил задачно-ориентированное определение понимания: система  $S$  понимает задачу  $T$ , если она имеет знания и процедуры  $K$ , необходимые для выполнения  $T$ . Таким образом, понимание выражается тернарным отношением, связывающим  $S$ ,  $T$  и  $K$ .

Согласно Э.В.Попову, понимание собеседника означает определение тех целей (намерений), которые тот преследовал, формируя некоторый текст [Попов, 2004]. В этом плане «понять» смысл сообщения означает найти его взаимосвязь с целью общения. Если это взаимосвязь не установлена, то следует говорить о непонимании сообщения.

По [Карнап, 2007], основным средством прагматики, с помощью которого можно уточнить идею «понимания», являются «предложения о мнениях», т.е. высказывания вида  $BEL(a, t, p)$  – 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 варианты неопределенности, неполноты информации, противоречия.

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  $sit$ . В общем случае, имеем градации понимания, т.е. предикаты понимания являются нечеткими.

Подробный анализ самой междисциплинарной проблемы понимания и основных концепций понимания, разработанных в различных научных дисциплинах, проведен в работе [Тарасов, 2015]. Далее воспользуемся *аксиологической* трактовкой понимания, восходящей к классикам герменевтики и основоположнику «психологии понимания» В. Дильтею. В ее русле *понимание* – это универсальная операция мышления, которая является *оценкой объекта* с определенных позиций, на основе некоторого *образца, стандарта, нормы, принципа* и т.п. [Философия, 2004]. По сути, это определение отражает общую идею понимания как сравнения, сопоставления с образцом. Оно опирается на *теорию ценностей*, которая изучает вопросы, связанные с природой ценностей, их местом в реальной жизни, соотношениями между ними.

Оценка есть способ установления ценности (или вывод из принятых ценностей с использованием общих правил) [Ивин, 2016], а главными ценностями деятельности являются ее результаты. При этом именно *потребности* и *ценности* определяют мотивы любой деятельности и ее направленность на достижение определенных целей.

Частным случаем оценок являются *нормы*, которые можно рассматривать как общественно апробированные и закрепленные оценки. Нормы и стандарты являются основой для выработки *требований* и *предписаний*; они обычно формализуются в виде *деонтических модальностей* «обязательно», «разрешено», «запрещено». Также предписания выражаются с помощью глаголов «может» и «должен».

По М.М. Бахтину [Бахтин, 1979], 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, образца) и обоснование его приложения в конкретной ситуации.

Следуя Ч.С. Пирсу в представлении логики как *нормативной науки* и рассмотрении истины как «логического блага», получаем прагматическое выражение истины как ценности (полезности), связанной с достижением нужного результата [Пирс, 2000]. Таким образом, и истинностные значения, и модальные оценки можно использовать в качестве логических значений для интерпретации результатов измерений. При этом прагматизм, допуская сосуществование не одной, а множества разных логик, утверждает, что выбор между ними не произволен, а определяется различными факторами эффективности.

В целом, анализируемый механизм понимания имеет двойственную описательно-оценочную природу [Ивин, 2016]. В основе предпонимания измерений лежит укрупненное описание результата измерений с помощью логических (истинностных) значений. При этом пониматься может все, для чего

найден общий образец, а непонимание обычно обусловлено необоснованностью, неочевидностью или отсутствием такого образца.

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.

Для пояснения принципа работы когнитивного сенсора как «понимающего» датчика следует рассмотреть два мира – собственно мир измерений *W* и мир норм (стандартов) *M*. На рисунке 3 показано, что в когнитивном сенсоре, использующем логическую прагматику, должны быть воплощены, по крайней мере, две концепции истины: 1) истина как соответствие оценочных значений фактам, полученным в результате измерений; 2) истина как полезная норма (а ложь – как полезная антинорма), позволяющая определить выделенные (или антивыведенные) логические значения.

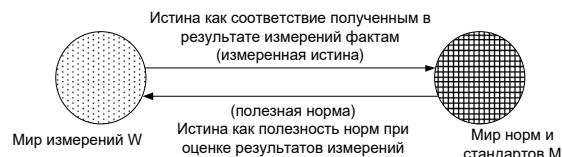


Рисунок 3 – Иллюстрации двух концепций истины для когнитивных сенсоров

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

## 2. Многозначные логики и методы когнитивной графики в толковании результатов измерений

Многозначными логиками называются такие формальные логики, в которых допускается более двух значений истинности для высказываний. 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, «половинчатая истина» в трехзначной логике А. Гейтинга, «бессмыслица» в трехзначной логике Д.А. Бочвара, «неопределенность» в трехзначной логике С.К. Клини, и пр. [Карпенко, 2010; Gottwald, 2001]. В свою очередь, нечеткие логики (в узком смысле) составляют подкласс многозначных логик с градуальными значениями истинности из интервала  $[0,1]$  и расширенными операциями конъюнкции и дизъюнкции, представленными в виде треугольных норм и конорм [Hájek, 1998; Новак и др., 2006].

В логике с давних пор применяют наглядные модели типа диаграмм. Здесь классическими примерами служат круги Эйлера и диаграммы Венна. Так круги Эйлера обеспечивают наглядное

толкование силлогизмов Аристотеля (например, знаменитого силлогизма *Modus Barbara*), а диаграммы Венна удобны для анализа логических высказываний. В алгебраической логике для наглядного представления семантических структур и реализации подхода «от семантики к исчислению» используют диаграммы Хассе. Еще одним характерным примером является графическое представление отношений логики Аллена.

Эти и подобные им методы имеют решающее значение на самых начальных этапах построения логических систем, когда речь идет об установлении некоторых главных принципов или аксиом, которые принимаются без доказательств и обосновываются лишь интуитивно.

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, пурпурным и розовым, розовым и голубым, голубым и синим.

В работе берется естественная «светофорная» интерпретация значений истинности для трехзначных и четырехзначных логических прагматик: 1) «истина» (значение параметра «в норме») – «зеленый цвет»; 2) «ложь» («не в норме») – «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».

В свою очередь, все модальности можно классифицировать по двум критериям – знак и сила. Тогда основные модальные значения, в частности, деонтические и доксистические модальности, представлены следующими цветами: а) сильная положительная модальность («обязательно» или «уверенность») – «малахитовый (темно-зеленый) цвет»; б) слабая положительная модальность («разрешено» или «предположение») – «зеленый цвет»; в) слабая отрицательная модальность («необязательно», «безразлично» или «сомнение») – «розовый цвет»; г) сильная отрицательная модальность («запрещено» или «отвержение») – «красный цвет».

Здесь наглядно демонстрируются свойства операции отрицания в четырехзначной модальной системе, например, в доксистической системе  $M_4 = \{O, P, B, Z\}$ : так отрицание слабой положительной модальности есть сильная отрицательная модальность (например,  $\neg P = Z$  – противоположность красного и зеленого цветов), а отрицание сильной положительной модальности – слабая отрицательная модальность (например,  $\neg O = B$  – противопоставление темно-зеленого и розового цветов).

Другая удобная метафора для наглядного представления прагматики многозначных и модальных логик – это «метафора геометрического узора», построенного путём чередования в определенном порядке (ритме) точек, линий, повторяющихся элементов-мотивов. При узорчатой интерпретации логических значений будем использовать следующие приемы: 1) ритмический повтор косых (для значений истинности) или прямых (для модальностей) линий; 2) зеркальная симметрия и/или поворот (для логических значений, связанных между собой операцией отрицания, например для Т и F, Р и Z); 3) наложение нескольких элементов (создание сетки) для составных логических значений, т.е. подмножеств множества значений истинности; 4) отсутствие всякого узора для неопределенности, описываемой пустым множеством  $\emptyset$  значений истинности.

Графическое узорчатое представление значений истинности, в том числе, выделенных и антивыделенных значений, позволяет реализовать в логике идеи интерактивной (иллюстративной и когнитивной) графики А.А.Зенкина [Зенкин, 1991; Пospelов, 1992] и наглядно изобразить различные логические миры.

Общее изложение основ 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; спецификация выделенных значений;
- разработка системы логических миров и пространств;
- построение логических операций для выбранных логических миров;
- построение итоговой расширенной логической матрицы.

## 2.1. Типы логических предложений

Разработка логических моделей понимания требует определения и формального представления основных логических предложений – суждений, оценок, норм. Далее воспользуемся следующими основными определениями из [Ивин и др., 1998], [Ивин, 2016], [Борисов и др., 2006].

*Суждением* называется любое высказывание в форме повествовательного предложения, которое является истинным или ложным. Правдоподобные суждения могут связываться с промежуточными, градуальными значениями истинности. Они выражаются в виде  $v(p)$ , где  $p = X \text{ is } A$  есть высказывание, характеризующее значение истинности  $v \in V$ , например,  $V = [0, 1]$  ( $X$  – переменная,

принимаяющая свои значения в универсуме  $U$ ,  $A$  – ограничение на  $X$ ).

Согласно Л.Заде [Zadeh,1997], обобщенное ограничение можно определить в виде  $p = X \text{ is } r A$ , где  $r$  – переменная связка, выражающая способ ограничения (например, равенство, неравенство, распределение вероятности, распределение возможности). В русле теории измерений чаще всего рассматривают вероятностные распределения.

Оценкой (оценочным суждением) называется высказывание, устанавливающее абсолютную или сравнительную ценность некоторого объекта. Оценки обычно включают следующие компоненты [Ивин, 2016]: 1) субъект (или агент) оценки, т.е. лицо или группа лиц, приписывающая ценность некоторому объекту; 2) предмет оценки, т.е. объекты, которым приписывают 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),... >}.

Оценки обычно выражаются с помощью *аксиологических* (оценочных) *модальностей*: как абсолютных («хорошо», «плохо», «безразлично»), так и относительных («лучше», «хуже», «равноценно»). По фон Вригту [Вригт фон, 1986], связь между абсолютными и относительными оценками может задаваться следующим образом:  $q$  – «хорошо», если  $q$  – «лучше, чем его отрицание  $\neg q$ ».

Могут также привлекаться праксеологические модальности: «полезно-вредно», «эффективно-неэффективно» и пр. Для правильного понимания оценок важную роль играет контекст, в котором они формулируются.

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. [Ивин,2016]).

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 чистых описаний из оценок, 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) есть дедуктивное умозаключение вида:

Всякое  $A$  должно быть  $B$   
 $C$  есть  $A$   
Следовательно,  $C$  должно быть  $B$

Например, всякий неисправный объект должен ремонтироваться.

Локомотив – неисправен.

Значит, локомотив 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.

Простые модальные оценки агентов имеют вид:  $m(X \text{ есть } F)$ ,  $m(X \text{ не есть } F)$ , где  $F$  – ограничение на значение переменной  $X$ ,  $m \in M$ ,  $M = \{\Box, \Diamond, \nabla, \Uparrow\}$  – множество модальных операторов,  $\Box$  – сильный положительный оператор, например оператор обязательства,  $\Diamond$  – слабый положительный оператор, например, оператор разрешения,  $\Uparrow$  – сильный отрицательный оператор, к примеру, оператор запрещения,  $\nabla$  – слабый отрицательный оператор, к примеру, оператор безразличия. Схема вывода на основе простой модальной оценки: «плохо, что скорость ветра на мосту значительно выше нормы, значит, движение по мосту следует закрыть».

Оценки можно также 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  $m(X \text{ есть } F \text{ и } X \text{ не есть } F)$  (противоречивое суждение с модальностями),  $m(X \text{ есть } F^+ \text{ или } X \text{ есть } F^-)$  (дизъюнктивное оценочное суждение с модальностями на оппозиционной шкале) и т.д.

Для логического описания сравнительных оценок служит исчисление предпочтений. В [фон Вригт, 1986], 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 как:  $Ind(x, y) = \neg Pr(x, y) \wedge \neg Pr(y, x)$ . Это отношение рефлексивно и симметрично.

Пусть заданы отношения предпочтения  $Pr(x, y)$  и равноценности  $Ind(x, y)$ . Приведем аксиомы классической логики предпочтений [Ивин, 2010]:

1.  $Pr(x, x) \geq Pr(x, y)$  (ничто не лучше самого себя);
2.  $Pr(x, y) \rightarrow \neg Pr(y, x)$  (если первое лучше второго, то обратное невозможно). Иная формулировка:



$\neg (Pr(x, y) \wedge Pr(y, x))$  (ничто не может быть и лучше, и хуже другого);

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

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

Нечеткие отношения предпочтения для логического анализа сравнительных оценок описаны в [Тарасов и др., 2010].

## 2.2. Логические матрицы, логические миры и их наглядные модели

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, цепей, решеток, полурешеток и произведений решеток, так и на задание различных порядков в этих структурах.

Следуя А.С.Карпенко [Карпенко, 2010] и Я.В.Шрамко [Шрамко, 2009], будем называть *логическим миром* любую непустую совокупность логических (истинностных или ценностных) значений. Тремя основными принципами формирования любого 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). Отметим, что эти принципы фактически определяют *логическую онтологию*. Варианты построения гранулярных, в частности, нечетких и лингвистических онтологий, изложены в [Тарасов и др., 2012].

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

$$LM = \langle V, O, D \rangle, \quad (1)$$

где  $V$  есть непустое множество значений истинности;  $O$  – множество операций над этими значениями истинности  $v$  из  $V$ ; а  $D \subset V$  – множество выделенных значений истинности.

Очевидно, что логическая матрица (1) может задаваться парой

$$LM = \langle UA, D \rangle, \quad (1^*)$$

где  $UA$  – универсальная алгебра с сигнатурой  $O$ .

В качестве конкретных примеров можно привести логическую матрицу классической логики  $LM_{C2} = \langle \{0, 1\}, \{\neg, \wedge, \vee, \rightarrow\}, \{1\} \rangle$  или логическую

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

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

$$LM_{ML} = \langle \{0, 1\}, \{\neg, \wedge, \vee, \rightarrow, \Diamond\}, \{1\} \rangle, \quad (2)$$

где  $\Diamond$  есть слабый положительный модальный оператор, например, «разрешено». Связь между сильным  $\Box$  и слабым  $\Diamond$  положительными модальными операторами задается в виде  $\Box p = \neg \Diamond \neg p$ , 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  $S$

$$LM_{GFL} = \langle [0, 1], \{n, T, S, I\}, [\alpha, 1] \rangle, \quad (3)$$

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 многозначных логиках различают собственно выделенные (т.е. подобные истине) значения  $D^+$ , позволяющие обобщить понятие тавтологии и антивыведенные (т.е. подобные лжи) значения  $D^-$ , позволяющие обобщить понятие лжи или противоречия, причем нередки случаи, когда

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

Тогда обобщенная логическая матрица (квазиматрица) для многозначной логики принимает вид

$$QLM = \langle V, QF, D^+, D^- \rangle, \quad (1^{**})$$

где  $QF$  – множество квазифункций.

В [Тарасов, 2004] понятие логической матрицы было расширено на случай ценностей и оценок. Была предложена так называемая *псевдологическая матрица*

$$PLM = \langle M, O, E \rangle, \quad (4)$$

где  $M$  есть непустое множество оценок (модальных значений) истинности;  $O$  – множество операций над оценками (значениями ценности)  $m$  из  $M$ ; а  $E \subset M$  – множество выделенных оценок. Здесь также можно рассматривать эталоны (положительные образцы)  $E^+$  и антиэталонные оценки (отрицательные образцы)  $E^-$ .

Развитие аппарата логических матриц в плане построения гранулярных логических структур

может опираться на обобщенную матрицу Вуйцицкого  $LM_W$ :

$$LM_W = \langle A, C \rangle, \quad (5)$$

где  $A$  – алгебра соответствующего типа с универсумом  $V$ , а  $C$  – произвольное семейство подмножеств  $A$ .

Отметим, что в матрице Лукасевича-Тарского (1) 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 (1), записав ее в виде гранулярной матрицы

$$GLM = \langle A, V, 2^V O_g, D_g^+, D_g^- \rangle, \quad (6)$$

где  $A$  – множество типов логических значений (например, истинностные значения, ценностные значения),  $V$  – множество логических значений,  $2^V$  – множество гранулярных логических значений,  $O_g$  – множество логических операций с гранулярными логическими значениями,  $D_g^+ \subset 2^V$ ,  $D_g^- \subset 2^V$  – множества выделенных и антивыведенных гранул соответственно.

Для представления простейших логических миров вполне достаточно указать состав и мощность множества значений истинности  $V$ , состав, мощность и знак множества выделенных значений истинности  $D$ , где  $D \subset V$ , а также отношения порядка на множестве  $V$  с помощью диаграмм Хассе.

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

$$LW = \langle V_i, R, D_j^c \rangle, \quad (7)$$

где  $i=1,2,\dots,n,\dots,\infty$ ,  $j < i$ ,  $Z=\{+, -\}$  (см.[Тарасов, 2014]). 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  $LW_{Cl2} = \langle V_2, <_V, D^+ \rangle$ , где  $V_2 = \{T, F\}$ ,  $D^+ = \{T\}$ ,  $D^- = \{F\}$ , причем: 1)  $D^+ \cap D^- = \emptyset$ , 2)  $D^+ \cup D^- = V_2$ , а логический мир модализированных истинностей Н.Решера определяется как  $LW_{R4} = \langle MV_4, <_M, <_V, D^+ \rangle$ , где  $MV_4 = M_2 \times V_2$ ,  $M_2 = \{L, Q\}$ ,  $L$  – «необходимо»,  $Q$  – «случайно»,  $<_M$  – отношение порядка на  $M_2$ ,  $<_V$  – отношение порядка на  $V_2$ ,  $D^+ = \{L, T\}$  (или иначе  $M_2^* = \{P, 3\}$ ,  $P$  – «разрешено»,  $3$  – «запрещено»,  $<_M^*$  – отношение порядка на  $M_2^*$ ).

Логический мир Лукасевича выражается тройкой  $LW_{L3} = \langle V_{L3}, <_V, D^+ \rangle$ , где  $V_{L3} = \{T, N, F\}$ ,  $D^+ = \{T\}$ , а нейтральное значение  $N$  («ни истина, ни

ложь») понимается как «возможность» или «безразличие».

В свою очередь, парapolный логический мир Клини уже содержит два отношения порядка  $<_V$ ,  $\leq_I$ , (порядок истинности и информационный порядок), а  $N$  трактуется как «неопределенность». Его можно формализовать в виде

$$LW_{K3} = \langle V_{K3}, <_V, \leq_I, D^+ \rangle, \quad (8)$$

где  $V_{K3} = \{T, N, F\}$ ,  $D^+ = \{T\}$ .

Отметим, что для мира Клини справедливо условие 1) для классического мира Фреге, но не выполняется условие 2).

Паранепротиворечивый мир Васильева-Приста описывается в виде

$$LW_{VP3} = \langle V_{VP3}, <_V, \leq_I, D^+ \rangle, \quad (9)$$

где  $V_{VP3} = \{T, B, F\}$ ,  $D^+ = \{T, B\}$ ,  $B$  – «и истина, и ложь одновременно», что означает «противоречие».

Наконец, логический мир Данна-Белнапа имеет вид

$$LW_{DB4} = \langle V_{DB4}, \leq_V, \leq_I, D^+ \rangle, \quad (10)$$

где  $V_{DB4} = \{T, B, N, F\}$ ,  $\leq_V$  – порядок истинности,  $\leq_I$  – информационный порядок,  $D^+ = \{T, B\}$  (см.[Тарасов, 2014]).

Примеры наглядного представления различных логических миров даны на рис. 4а-г. Вариант визуализации мира Данна-Белнапа изображен на рис.5.

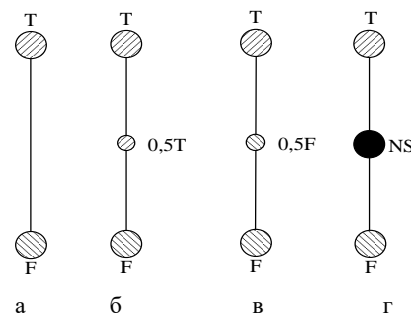


Рисунок 4 – Наглядное представление логических миров цепями с помеченными (заштрихованными) значениями истинности: а) логический мир Фреге; б) логический мир Гейтинга  $LW_{H3}$ , где 0.5 T есть «половинчатая истина»; в) логический мир Брауэра  $LW_{Br3}$ , 0.5 F – «половинчатая ложь» г) логический мир Бочвара,  $LW_{B3}$ , значение NS (Non-Sence) есть сильная бессмыслица.

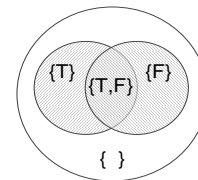


Рисунок 5 – Вариант графического представления логического мира Данна-Белнапа

При выборе направления косой штриховки для  $T$  и  $F$  мы исходили из ряда принципов организации образного мышления, описанных в [Поспелов, 1998], 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 по второму направлению – для значения «ложь». Появление двойной штриховки (сетки) на рисунке 5 соответствует составному значению истинности  $V = \{T, F\}$ .

Логический мир для модальностей (рисунок 6) 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.

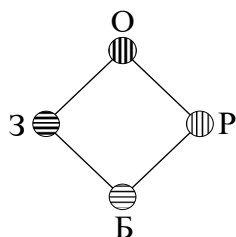


Рисунок 6 – Логический мир деонтических модальностей (норм):  
О – обязательно, Р – разрешено, Б – безразлично, З – запрещено

Логический мир де Клира (рисунок 7), 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»).

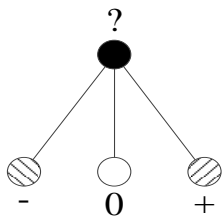


Рисунок 7 – Иллюстрация логического мира Де Клира

Наконец, диалогические миры иллюстрируют коммуникативную (распределенную) трактовку истины как продукта согласия (см. решетку согласия в [Тарасов, 2008]) или сведение ценности к победе в споре (рисунок 8).



Рисунок 8 – Представление диалогических миров:  
а) мир переговоров (согласованная истина);  
б) мир спора (ценность как победа в споре).

### 3. Трехзначные логические прагматики Васильева и его последователей

Логические модели понимания результатов измерений могут опираться на многозначные, паранепротиворечивые и парapolные логики. 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 [Васильев, 1989]. 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 принятой системы 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 металогическую.

В результате Н.А.Васильев предложил многомерную (воображаемую) логику [Васильев, 1989], а также ввел двухуровневую логическую структуру (эмпирическая логика и металогика). Он неоднократно подчеркивал, что существуют глубокие внутренние аналогии между геометрией Н.И.Лобачевского и воображаемой логикой. Исходным пунктом геометрии Лобачевского являлся отказ от знаменитого пятого постулата Евклида 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 экспериментальному и

сравнительному методам в естествознании [Васильев, 1989].

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

Хорошей иллюстрацией варианта укрупненного представления результатов измерений средствами трехзначной логики и графики служит треугольник Васильева с заштрихованными вершинами (рисунок 9), описывающими положительное, отрицательное и противоречивое высказывание

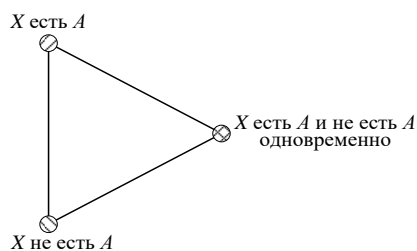


Рисунок 9 – Треугольник Васильева с заштрихованными вершинами

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, т.е. промежуточную область 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*. Тогда паранепротиворечивой логикой называется такая логика, которая не позволяет выводить из противоречия произвольное предложение. Иными словами, в ней не имеет место фундаментальный принцип классической логики: «из противоречия следует все, что угодно».

Объективной причиной появления и развития паранепротиворечивых логик явилось стремление отразить средствами логики специфику человеческого понимания переходных состояний. Примерами паранепротиворечивых логик служат: логика да Коста, логика Асеньо, логика Приста и др. (см.[Павлов, 2004]).

Как уже отмечалось, паранепротиворечивый логический мир характеризуется тройкой  $V_{VP3} = \{T, B, F\}$ , 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 прямо пропорционально мощности множества, тогда  $F <_I B$  и  $T <_I B$ . Диаграммы Хассе со штриховкой, изображающие структуры паранепротиворечивого мира, представлены на рисунках.10 а и б, где упорядоченное множество  $\langle V_3, <_V \rangle$  образует решетку  $L_3$ , а  $\langle V_3, <_I \rangle$  – верхнюю полурешетку. На рисунках 11 а, б и в показаны варианты задания выделенных и антивывделенных значений в трехзначных паранепротиворечивых логиках.

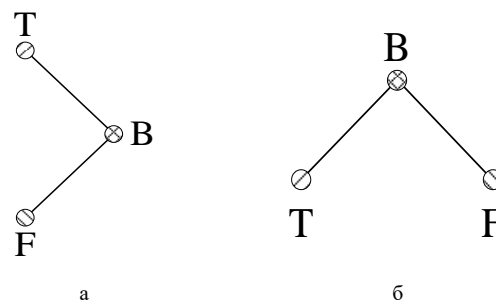


Рисунок 10 – Структуры паранепротиворечивого логического мира: а) логическая решетка  $L_3$ ; б) информационная полурешетка, полученная поворотом  $L_3$  на  $90^\circ$  влево.

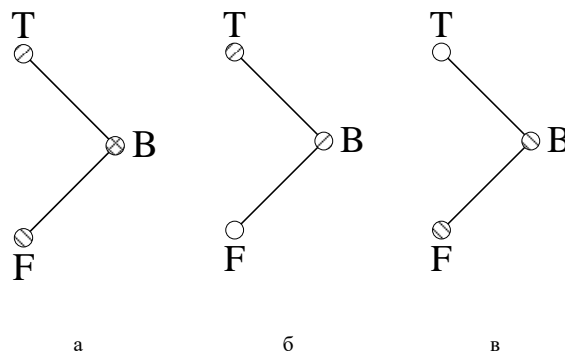


Рисунок 11 – Варианты задания выделенных (а, б) и антивывделенных (а, в) значений в трехзначных паранепротиворечивых логиках

### 3.1. Трехзначная логика Асеньо $A_3$

Канонической паранепротиворечивой логикой может считаться трехзначная логика Асеньо  $A_3$ , которая описывается логической матрицей

$$LM_{A3} = \langle \{T, B, F\}, \{\neg, \wedge\}, \{T, B\} \rangle \quad (11)$$

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

Паранепротиворечивые логики Васильева и его последователей служат основой для представления трехзначной прагматики когнитивного *сенсора Васильева*, в котором полученная путем измерений информация гранулируется следующим образом:

- 1) Т – «измеренная истина» («параметр в норме» – показания сенсора находятся в «зеленой зоне»);
- 2) F – «измеренная ложь» («параметр не в норме», «отказ» – показания сенсора попали в «красную зону»);
- 3) В – «измеренное противоречие» или антиномия («пограничная ситуация», «предотказ» – показания сенсора локализованы в «желтой зоне»).

### 3.2. 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 – Т).

«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  $K_3$  (см. далее), отличаясь только двумя выделенными значениями.

### 3.3. Трехзначная логика осмысленности В.К.Финна $F_3$

Одним из новых примеров логики оценок является трехзначная логика осмысленности В.К.Финна [Финн, 2010], родственная трехзначной логике Д.А.Бочвара (см. рис.4г). Она соответствует концепции понимания как осмысления. Ее логическая матрица записывается в виде

$$LM_{F_3} = (\{O, H, B\}, \{\neg, \rightarrow, \wedge, \vee\}, \{O\}), \quad (12)$$

где О,Н,Б суть логические значения «осмысленно», «неопределенно», «бессмысленно» соответственно, причем различаются логики с «сильной и слабой бессмыслицей». Основные логические связи определяются с помощью следующих логических таблиц.

$x$	$\neg x$
О	Б
Н	Н
Б	О

$x \rightarrow y$	О	Н	Б
О	О	Н	Б
Н	О	О	Н
Б	Б	Н	О

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

$x \wedge y$	О	Н	Б
О	О	Н	Б
Н	Н	Н	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».

## 4. 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. [Клини, 2009]) С.К.Клини предложил трехзначную логику со значениями Т – истинно, F – ложно и N – не определено, 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 естественность ее использования в информатике [Fitting, 1991]. По С.К.Клини, 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 берется для F.

Параполный логический мир характеризуется тройкой  $V_{K_3} = \{T, N, F\}$ , где  $T = \{T\}$  и  $F = \{F\}$  – два одноэлементных множества, а  $N = \emptyset$ . Таким образом, логический мир Клини является основой для определения когнитивного *сенсора Клини* с трехзначной логической прагматикой:

- 1) Т – «измеренная истина» («параметр в норме» – показания сенсора находятся в «зеленой зоне»);
- 2) F – «измеренная ложь» («параметр не в норме», «отказ» – показания сенсора в «красной зоне»);
- 3) N – «неопределенность» (значения параметра неизвестны, что будем изображать синим цветом; это возможная ситуация в беспроводной сенсорной сети, когда сенсор исчерпал свой ресурс и «спит»).

Определим на множестве  $V_{K_3}$  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  $\langle V_{K_3}, <_v \rangle$  образует решетку, а  $\langle V_{K_3}, <_i \rangle$  – верхнюю полурешетку (рисунок 12).

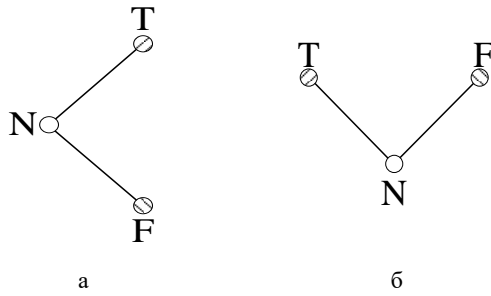


Рисунок 12 - Структуры параконного логического мира:  
а) решетка сильной логики Клини  $K_3$ ;  
б) нижняя полурешетка;

Логика Клини  $K_3$  описывается логической матрицей

$$LM_{K_3} = \langle \{T, N, F\}, \{\neg, \vee\}, \{T\} \rangle, \quad (13)$$

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

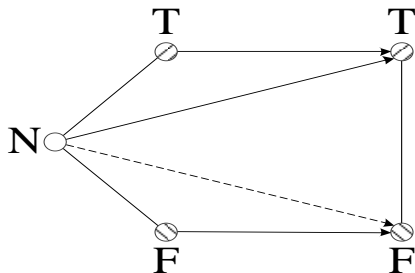


Рисунок 13 –Трехзначная прагматика логики Клини с неполной информацией и переход к металогики

Наконец, в случае интерпретации значения  $N$  как недоопределенности, неполноты информации можно в случае получения нужной информации в следующий интервал времени перейти к двузначной металогики, т.е. подтвердить значения «измеренная истина» или «измеренная ложь».

## 5. Четырехзначные логические прагматики Данна-Белнапа

Одним из известных способов грануляции информации в логической семантике является переход к *обобщенным значениям истинности* (по Дж. Данну [Dunn, 1976]), 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).

При построении своей четырехзначной логики Белнап [Belnap, 1977; Белнап и др., 1981] рассмотрел два отношения частичного порядка: порядок истинности  $\leq$ , 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  $\emptyset \subset \{T\} \subset \{T, F\}$  и  $\emptyset \subset \{F\} \subset \{T, F\}$ , т.е.  $T$  и  $F$  являются несравнимыми. Первый порядок задает полную решетку значений истинности, которая названа Белнапом логической решеткой  $L_4$  (рисунок 14), а второму порядку соответствует решетка Скотта  $A_4$  (рисунок 15), которую в данном контексте следует именовать информационной решеткой. При этом решетка Скотта получается путем поворота логической решетки Белнапа против часовой стрелки на  $90^\circ$ .

Соответственно логика Белнапа служат основой для представления четырехзначной прагматики когнитивного *сенсора Белнапа*, в котором полученная путем измерений информация гранулируется следующим образом:

- 1)  $T$  – «измеренная истина» («параметр в норме» – показания сенсора находятся в «зеленой зоне»);
- 2)  $F$  – «измеренная ложь» («параметр не в норме», «отказ» – показания сенсора попали в «красную зону»);
- 3)  $B$  – «измеренное противоречие» или антиномия («пограничная ситуация», «предотказ» – показания сенсора локализованы в «желтой зоне»);
- 4)  $N$  – «неопределенность» (значения параметра неизвестны, поскольку датчик неисправен или «спит»; оценку  $N$  будем ассоциировать с синим цветом).

При этом в случае задачи мониторинга опасных состояний объектов инфраструктуры в логической матрице для белнаповского сенсора  $LM_{B_4}$  будем использовать антивыделенные значения  $F$  и  $N$

$$LM_{B_4} = \langle \{T, B, N, F\}, \{\neg, \wedge, \vee, \rightarrow\} \{F, N\} \rangle. \quad (14)$$

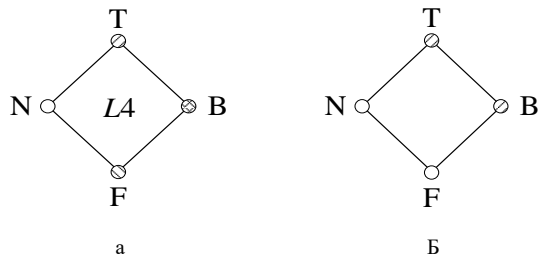


Рисунок 14 – Диаграммы Хассе со штриховкой для решетки Белнапа (а) и выделенных значений в логике Белнапа (б)

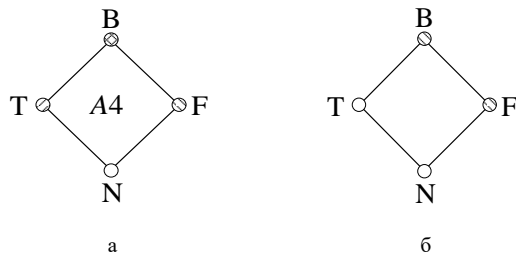


Рисунок 15 – Диаграммы Хассе со штриховкой для решетки Скотта (а) и антивыделенных значений в логике Скотта (б)

## 6. Интерпретации мультисенсорных данных: бирешеточные прагматики

Прагматика когнитивной сенсорной сети [Святкина и др.,2012], состоящей из  $n$  васильевских сенсоров, будет описываться формулой  $3^n$ , а сети из  $n$  белнаповских сенсоров – формулой  $4^n$ , где  $n$  – целое число,  $n > 1$ . Так простейшая структура из двух белнаповских сенсоров образует множество прагматических значений  $4^2=16$ , сеть из трех датчиков –  $4^3=64$  и т.д.

При построении логических гранул на основе мультисенсорных данных будем использовать произведения решеток и мультирешетки. Следуя Я.В.Шрамко [Шрамко,2002], назовем  $n$ -мерной мультирешеткой (или просто  $n$ -решеткой) структуру вида

$$ML = \langle X, \leq_1, \dots, \leq_n \rangle, \quad (15)$$

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  $\langle X, \leq_1 \rangle, \dots, \langle X, \leq_n \rangle$  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.

Далее 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. Бирешетку естественно определять с помощью понятий биупорядоченного множества и предбирешетки [Fitting, 1989].

Биупорядоченное множество есть структура вида  $BOS = \langle X, \leq_1, \leq_2 \rangle$ , 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  $\langle X, \leq_1 \rangle$ , и другие операции объединения  $\oplus$  и пересечения  $\otimes$  на решетке  $\langle X, \leq_2 \rangle$ . 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.[Ginsberg,1988]) делает это с помощью специальной операции составного неоднородного отрицания, которая является естественным расширением отрицания Белнапа.

Отрицание Гинзберга есть функция

$$\neg: X \rightarrow X, \quad (16)$$

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 [Ginsberg, 1988]

$$BL = \langle X, \leq_1, \leq_2, \neg \rangle, \quad (17)$$

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

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

$$BL = \langle X, \wedge, \vee, \otimes, \oplus, \neg \rangle, \quad (17^*)$$

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  $\langle X, \otimes, \oplus \rangle$ .

Прагматика бисенсорных данных для двух сенсоров Белнапа изображена в виде двойной диаграммы Хассе (рисунок 16), а соответствующая общая карта отказов и предотказов приведена на рисунке 17. В логике Белнапа значения В и N рассматривают независимо друг от друга, поэтому при ее консервативном расширении значения  $B_1N_2$  и  $N_1B_2$  запрещены. Таким образом, для двух белнаповских сенсоров имеем  $|V| = 14$ .

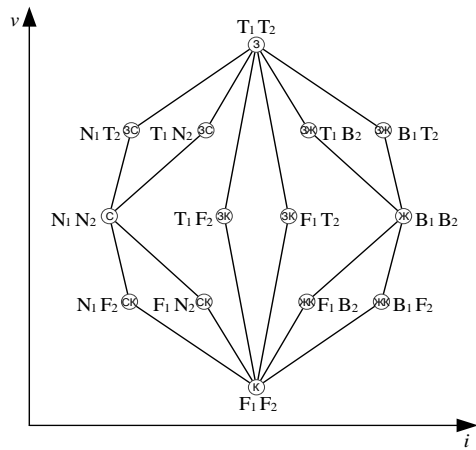


Рисунок 16 – Бирешеточное представление прагматики логических значений для структуры из двух белнаповских сенсоров

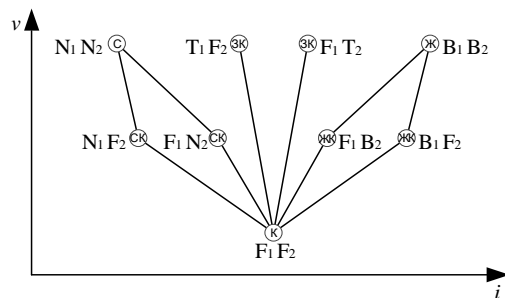


Рисунок 17 – Логическая карта отказов и предтоказов

Рассмотрим все прагматические значения для структуры из двух белнаповских сенсоров. Здесь  $T_1T_2$  – «измеренная согласованная истина» (показания обоих сенсоров характеризуются значением «норма»);  $F_1F_2$  – «измеренная согласованная ложь» (оба сенсора сигнализируют о состоянии отказа);  $T_1B_2 \sim B_1T_2$  – «измеренное частичное противоречие как предтоказ 1-го рода» (один сенсор показывает значение «норма», а другой – «предтоказ»);  $T_1N_2 \sim N_1T_2$  – «измеренная частичная истина с неопределенностью» (один сенсор показывает значение «норма», а другой «спит»);  $T_1F_2 \sim F_1T_2$  – «измеренное противоречие» (один сенсор показывает значение «норма», а другой – «отказ»);  $B_1B_2$  – «измеренное согласованное противоречие» (оба сенсора передают состояние «предтоказ»);  $N_1N_2$  – «согласованная неопределенность» (оба сенсора исчерпали свои ресурсы или оба сенсора «спят»);  $F_1B_2 \sim B_1F_2$  – «измеренное частичное противоречие как предтоказ 2-го рода» (один сенсор показывает значение «отказ», а другой – «предтоказ»);  $F_1N_2 \sim N_1F_2$  – «измеренная частичная ложь с неопределенностью» (один сенсор показывает значение «отказ», а другой спит).

## 7. Методика логико-алгебраического синтеза когнитивных сенсоров

В результате предложена общая методика построения когнитивных сенсоров, представленная в виде алгоритма синтеза. Блок-схема этого алгоритма приведена на рисунке 18.

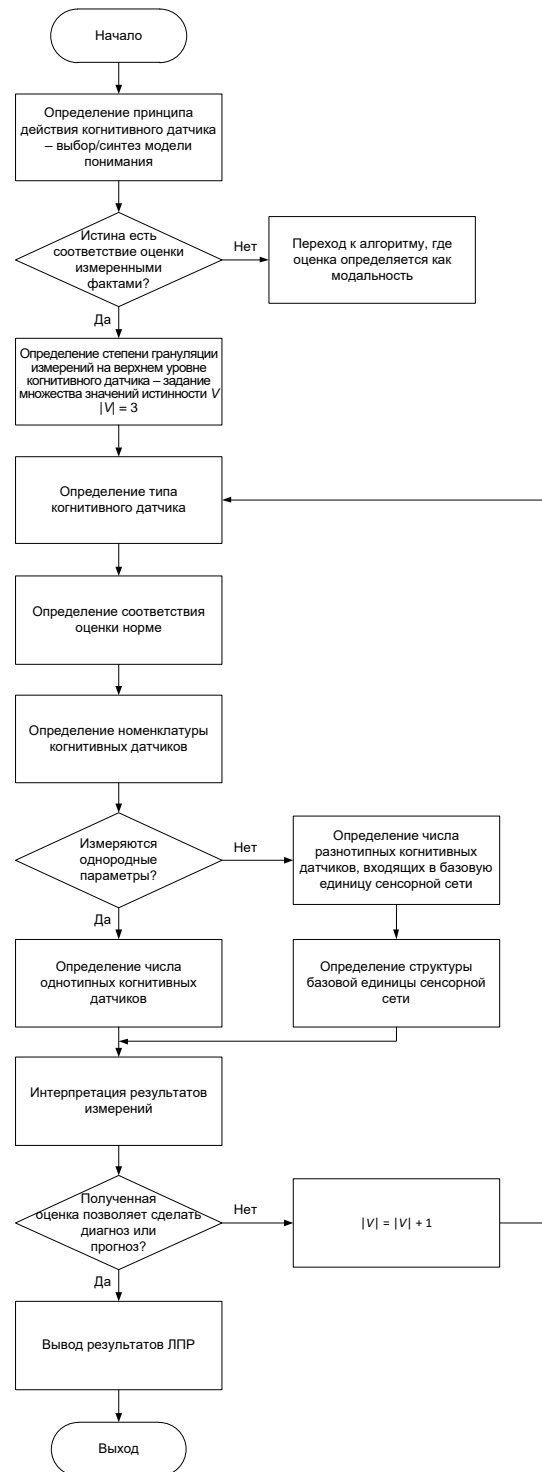


Рисунок 18 – Блок-схема алгоритма построения когнитивных датчиков для мониторинга объектов инфраструктуры

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



результатов измерений в контексте решения проблем мониторинга.

## Заключение

Главные результаты данной работы состоят в формировании теоретических основ разработки открытых прагматических технологий синтеза интеллектуальных систем, развитии формального аппарата логических миров и логических матриц применительно к разработке когнитивных сенсоров, приложении идей и подходов иллюстративной и когнитивной графики в многозначных логиках для представления прагматики логических значений, создании методики логико-алгебраического синтеза когнитивных сенсоров.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты №14-07-00846, №14-07-00653 и №14-07-31317.

## Библиографический список

- [Бахтин, 1979] Бахтин, М.М. К методологии гуманитарных наук/ М.М. Бахтин // Эстетика словесного творчества. – М.: Искусство, 1979.
- [Белнап и др., 1981] Белнап, Н. Логика вопросов и ответов: Пер. с англ./ Н. Белнап, Т. Стил / Под ред. В.А. Смирнова, В.К. Филина. – М.: Прогресс 1981.
- [Борисов и др., 2006] Борисов, А.В. Моделирование мнений агентов в многоагентных системах на основе четырехзначных семантик / А.В. Борисов, В.Б. Тарасов // Программные продукты и системы. – 2006. – №2. – С.47-50.
- [Будбаева и др., 1974] Будбаева, С.П. К исследованию и построению прагматических логик/С.П.Будбаева, Б.Н.Пятницкий // Философия и логика. – М.: Наука, 1974. – С.220-278.
- [Васильев, 1989] Васильев, Н.А. Воображаемая логика / Н.А. Васильев. – М.: Наука, 1989.
- [Вригт фон, 1986] Вригт фон, Г.Х. Логико-философские исследования. Избранные труды: Пер. с англ. / Г.Х. Вригт фон; – М.: Прогресс, 1986.
- [Голенков и др., 2013] Голенков, В.В. Открытый проект, направленный на создание технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем/ В.В.Голенков, Н.А. Гулякина//Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Материалы III-й международной научно-технической конференции (Минск, БГУИР, 21-23 февраля 2013 г.). – Минск: Изд-во БГУИР, 2013. – С.55-77.
- [Зенкин, 1991] Зенкин, А.А. Когнитивная компьютерная графика./ А.А.Зенкин; – М.: Наука, 1991.
- [Ивин, 2016] Ивин, А.А. Логика оценок и норм. Философские, методологические и прикладные аспекты. / А.А. Ивин; – М.: Проспект, 2016.
- [Ивин и др., 1998] Ивин, А.А. Словарь по логике/ А.А. Ивин, А.Л. Никифоров; – М.: ГИЦ ВЛАДОС, 1997.
- [Карнап, 2007] Карнап Р., О некоторых понятиях прагматики /Р.Карнап// Значение и необходимость. Исследование по семантике и модальной логике. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007.
- [Карпенко, 2010] Карпенко, А.С. Развитие многозначной логики/ А.С. Карпенко; – М.: Изд-во ЛКИ, 2010.
- [Клини, 2009] Клини, С.К. Введение в метаматематику. 2-е изд. / С.К. Клини. – М.: Изд-во УРСС, 2009.
- [Кнорринг, 1992] Кнорринг, В.Г. Гносеотехника – техника познания/ В.Г. Кнорринг// Измерения. Контроль. Автоматизация. – 1992. – №1-2. – С.3-12.
- [Кузнецов, 2008] Кузнецов, О.П. Формальный подход к понятию «знание» и проблема моделирования различных типов знания/ О.П.Кузнецов// Когнитивные исследования: Сборник научных трудов. Вып.2/ Под ред. В.Д.Соловьева, Т.В. Черниговской.–М.: Институт психологии РАН, 2008. –С.265-275.
- [Лукаевич, 1993] Лукаевич, Я. О детерминизме/ Я. Лукаевич// Логические исследования. Вып.2. – М.: Наука, 1993. – С. 190-205.
- [Новак и др., 2006] Новак, В. Математические принципы нечеткой логики: Пер. с англ. / В. Новак, И.Г. Перфильева, И. Мечкарж; – М.: Физматлит, 2006.
- [Павлов, 2004] Павлов, С.А. Логика с операторами истинности и ложности / С.А. Павлов; – М.: ИФ РАН, 2004.
- [Пирс, 2000] Пирс, Ч.С. Начала прагматизма. / Ч.С. Пирс; – СПб: Алетейя, 2000.
- [Попов, 2004] Попов, Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке. 2-е изд. / Э.В. Попов; – М.: Едиториал УРСС, 2004.

- [Поспелов, 1989] Поспелов, Д.А. Интеллектуальные интерфейсы для ЭВМ новых поколений/ Д.А. Поспелов // Электронная вычислительная техника. Сборник статей. Вып.3. – М.: Радио и связь, 1989. – С.4-20.
- [Поспелов, 1992] Поспелов, Д.А. Когнитивная графика – окно в новый мир / Д.А. Поспелов // Программные продукты и системы. – 1992. – №3. – С.4-6.
- [Поспелов, 1998] Поспелов, Д.А. Метафора, образ и символ в познании мира/ Д.А.Поспелов// Новости искусственного интеллекта. – 1998. – №3. – С.94-114.
- [Прокопчина, 2010] Прокопчина, С.В. Когнитивные измерения на основе байесовских интеллектуальных технологий/ С.В.Прокопчина// Сборник докладов XIII-й международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2010, Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 23-25 июня 2010г.). – СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. –С.28-34
- [Пуанкаре, 1990] Пуанкаре, А. О науке: Пер с франц./ А. Пуанкаре. – М.: Наука, 1990.
- [Розенберг, 1975] Розенберг, В.Я. Введение в теорию точности измерительных систем/ В.Я. Розенберг. – М.: Сов. Радио, 1975.
- [Святкина и др., 2012] Святкина, М.Н. Логика сенсорных сетей/М.Н.Святкина, В.Б.Тарасов//Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика. Материалы 1-го международного симпозиума (ГИСИС'2012, Калининград, Светлогорск, 29 июня – 2 июля 2012г.). – Калининград: Изд-во БФУ им. И.Канта, 2012. – Часть 2. – С.42-54.
- [Святкина и др., 2014] Святкина, М.Н. Системы приобретения знаний третьего поколения на основе когнитивных измерений/ М.Н.Святкина, В.Б.Тарасов // Труды 14-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2014, Казань, 24-27 сентября 2014г.). Т.3. – Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. – С. 58-67.
- [Смирнова, 1986] Смирнова, Е.Д. Логическая семантика и философские основания логики/Е.Д.Смирнова. – М.: МГУ, 1986.
- [Тарасов, 2004] Тарасов, В.Б. От алгебраической модели Тарского к логико-семиотической матрице/ В.Б. Тарасов // 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.
- [Тарасов, 2009] Тарасов, В.Б. От монологических к диалогическим подходам в искусственном интеллекте/ В.Б. Тарасов // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник трудов V-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 28-30 мая 2009 г.). – М.: Физматлит, 2009 – Т.1. – С.149-162.
- [Тарасов, 2013] Тарасов, В.Б. Гранулярные структуры измерений в интеллектуальных средах: васьевские и белнаповские сенсоры и модели их взаимодействия/ В.Б. Тарасов // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2013. – №5. – С.65-74.
- [Тарасов, 2014] Тарасов, В.Б. О методах построения гранулярных логических значений и структур / В.Б. Тарасов // Нечеткие системы и мягкие вычисления. Труды VI-й Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, СПИИРАН, 27-29 июня 2014 г.). Т.2. – СПб: Политехника-сервис, 2014. – С.33-44.
- [Тарасов, 2015] Тарасов, В.Б. Проблема понимания: настоящее и будущее искусственного интеллекта/ В.Б. Тарасов // 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.
- [Тарасов и др., 2010] Тарасов, В.Б. Нечеткие лингвистические модели предпочтений когнитивных агентов/ В.Б. Тарасов, А.П. Калущая// Труды международного конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям (IS-IT'2010, Дивноморское, 2-9 сентября 2010 г.). – М.: Физматлит, 2010. – Т.2. – С.277-284.
- [Тарасов и др., 2012а] Тарасов, В.Б. Гранулярные, нечеткие и лингвистические онтологии для обеспечения взаимопонимания между когнитивными агентами/ В.Б.Тарасов, А.П.Калущая, М.В.Святкина// Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Материалы II-й Международной научно-технической конференции (Минск, БГУИР, 16-18 февраля 2012 г.). – Минск: Изд-во БГУИР, 2012.
- [Тарасов и др., 2012б] Тарасов, В.Б. Интеллектуальная среда: когнитивно-регулятивный мета-агент на основе сенсорных сетей/ В.Б. Тарасов, А.П. Калущая, М.Н. Святкина // 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.
- [Тарасов и др., 2012в] Тарасов, В.Б. Логическая прагматика и анализ сенсорных данных: белнаповские сенсоры и их взаимодействия / В.Б.Тарасов, М.Н.Святкина // 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.
- [Тарасов и др., 2013] Тарасов, В.Б. Интеллектуальные системы на основе когнитивных измерений/ В.Б. Тарасов, М.Н. Святкина // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VII-й международной научно-практической конференции (ИММВ-2013, Коломна, 20-22 мая 2013 г.). – М.: Физматлит, 2013. – Т.2. – С.611-623.

[Тарасов и др., 2014] Тарасов, В.Б. Логическая прагматика в когнитивных измерениях / В.Б. Тарасов, М.Н. Святкина // Нечеткие системы и мягкие вычисления. Труды VI-й Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, СПИИРАН, 27-29 июня 2014 г.). Т.1. – СПб: Политехника-сервис, 2014. – С.155-168.

[Тарский, 1999] Тарский, А. Понятие истины в языках дедуктивных наук. Философия и логика Львовско-Варшавской школы. / А. Тарский; – М.: РОССПЭН, 1999. – С.19-155.

[Финн, 2004] Финн, В.К. Об интеллектуальном анализе данных/ В.К. Финн // Новости искусственного интеллекта. – 2004. – №3. – С. 3-18.

[Финн, 2010] Финн, В.К. О логико-семиотических проблемах теории понимания текстов/ В.К. Финн // Научно-техническая информация. Серия 2. Информационные процессы и системы. – 2010. – №9. – С.1-11.

[Финн, 2011] Финн, В.К. Искусственный интеллект: методология, применения, философия. / В.К. Финн; – М.: КРАСАНД, 2011.

[Философия, 2004] Философия: Энциклопедический словарь/ Под ред. А.А.Ивина – М.: Гардарики, 2004.

[Фреге, 2012] Фреге, Г. Логика и логическая семантика: Пер. с нем. Изд.2-е, испр./ Фреге – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.

[Шабельников и др., 2009] Шабельников, А.Н. Интеллектуальные системы распределенного мониторинга на основе беспроводных сенсорных сетей с использованием системы мобильных объектов/ А.Н. Шабельников, В.А. Шабельников, С.М. Ковалев// 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. Т.1. – М.: Физматлит, 2009. – С. 538-543.

[Шрамко, 2002] Шрамко, Я.В. Обобщенные истинностные значения: решетки и мультирешетки / Я.В. Шрамко// Логические исследования. Вып.9. – М.: Наука, 2002. – С.264-291.

[Шрамко, 2009] Шрамко, Я.В. Истина и ложь: что такое истинностные значения и для чего они нужны? / Я.В. Шрамко // Логос. – 2009. – №2(70). – С.96-121.

[Ajdukiewicz, 1974] Ajdukiewicz, K. *Pragmatic Logic*. / K. Ajdukiewicz; – Warsaw: D. Reidel Publishing Company, 1974.

[Belnap, 1977] Belnap, N. A Useful Four-Valued Logic / N. Belnap// *Modern Uses of Multiple-Valued Logic*/ Ed. by J.M.Dunn and G.Epstein. – Dordrecht: D.Reidel, 1977. – P.8-37.

[Dunn, 1976] Dunn, J.M. An Intuitive Semantics for First Degree Entailment and Coupled Trees / J.M. Dunn// *Philosophical Studies*. – 1976. – Vol.29. – P.149-168.

[Dunn et al., 2001] Dunn, J.M. *Algebraic Methods in Philosophical Logic*/ J.M. Dunn, G. Hardegree; – Oxford: Oxford University Press, 2001.

[Fitting, 1989] Fitting, M. Bilattices and the Theory of Truth / M.Fitting//*Journal of Philosophical Logic*. – 1989. – Vol.18. – P.225-256.

[Fitting, 1991] Fitting, M. Kleene's Logic, Generalized/ M. Fitting// *Journal of Logic Computation*. – 1991. – Vol.1. – P.797-810.

[Ginsberg, 1988] Ginsberg, M. Multivalued Logics: A Uniform Approach to Reasoning in Artificial Intelligence/ M. Ginsberg // *Computational Intelligence*. – 1988. – Vol.4. – P. 265-316.

[Gottwald, 2001] Gottwald, S. *A Treatise on Many-Valued Logics*. / S. Gottwald; – Baldock: Research Studies Press, 2001.

[Hajek, 1998] Hajek, P. *Metamathematics of Fuzzy Logics*. / P. Hajek; – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997.

[Moore et al., 1973] Moore, J. How Can MERLIN Understand? / J. Moore, A. Newell // *Knowledge and Cognition*. – Baltimore: Lawrence Erlbaum Associates, 1973.

[Simon, 1977] Simon, H. Artificial Intelligence Systems that Understand / H. Simon // *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Joint Conference on Artificial Intelligence*. – Boston: MIT, 1977. – P.1059-1073.

[Shramko et al., 2012] Shramko, Y. Truth and Falsehood – An Inquiry into Generalized Logical Values./ Y. Shramko, H. Wansing. – Heidelberg: Springer, 2012.

[Svyatkina et al., 2013] Svyatkina, M.N. On Granules and Granular Structures for Multi-Valued Logics / M.N. Svyatkina, V.B. Tarassov // *Handbook of the 4<sup>th</sup> 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.

[Tarassov et al., 2013a] Tarassov, V.B. On Soft Measurements and Data Mining Based on Granular Pragmatics, Multi-Valued and Fuzzy Logics / V.B. Tarassov, M.N. Svyatkina// *Proceedings of the 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting*/ Ed. by W. Pedrycz, M.Z. Reformat (IFSA/NAFIPS' 2013, Edmonton, Canada, June 24- 28, 2013). – Edmonton: IEEE, 2013. – P. 968-973.

[Tarassov et al., 2013b] Tarassov, V.B. Cognitive Measurements for Intelligent Systems/ V.B.Tarassov, M.N.Svyatkina // *Proceedings of the 7<sup>th</sup> 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.

[Tarassov et al., 2014] Tarassov, V.B. Using Zadeh's Granulation Concept: Granular Logics and Their Application to Sensor Data Analysis/ V.B. Tarassov, M.N. Svyatkina // *Recent Developments and New Directions in Soft Computing*. – New York: SpringerVerlag, 2014. – P.453-466.

[Winograd et al., 1986] Winograd, T. Understanding Computers and Cognition: a New Foundation for Design/ T. Winograd, F. Flores.– Norwood: Ablex, 1986.

[Zadeh, 1997] Zadeh, L.A. Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic/ L.A.Zadeh// *Fuzzy Sets and Systems*. –1997. – Vol.90. – P.111-127.

## LOGICAL-ALGEBRAIC METHODS IN CONSTRUCTING COGNITIVE SENSORS

Svyatkina M.N., Tarassov V.B.

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*

maria.svyatkina@gmail.com

vbulbov@yahoo.com

The main goal of the paper is the development of open pragmatic technologies for intelligent systems. To show some basic ideas of this approach a complex problem of monitoring railway infrastructure objects is faced. A core component of intelligent monitoring system is a hybrid knowledge acquisition/ discovery subsystem that includes sensor minind facilities, expert knowledge elicitation and ontological engineering tools. Various measurements play a leading part in performing monitoring tasks. Therefore, some particular features of measurement as a cognitive process are considered. Here measurement is tightly connected with evaluation and reasoning procedures. The earlier introduced concept of cognitive measurement is discussed in detail. Cognitive measurement is viewed as a hierarchical information granulation process performed with using cognitive sensors. A cognitive sensor is conceived as both information-measurement and understanding device able to judge about quantitative measurement results and reason for the sake of object's diagnostics and its future state prognosis. The operation of cognitive sensor is based on logical pragmatics of measurement. In this context some definitions, concepts and formal models of understanding are discussed. A general logical-algebraic approach to constructing understanding models on the basis of logical values and norms is proposed. In this context various logical systems are represented in an algebraic way by chains, lattices, semi-lattices and product lattices with employing different order relations. A keystone of our approach consists in merging formal specification and visual representation of logical world concepts. Therefore, some new pragmatic representations of logical values based on colour metaphor and geometric patterns are introduced. These representations implementing the ideas of both illustrative and cognitive graphics into logics underly the concepts of specific cognitive sensors – Vasiliev's sensor, Kleene's sensor, Belnap's sensor, as well as bilattice- and multilattice-based cognitive sensor networks. As a result, a general logical-algebraic methodology of synthesizing cognitive sensors has been developed and the appropriate algorithm has been presented.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Intelligent Monitoring System, Knowledge Acquisition, Sensor Data Mining and Knowledge Discovery, Multi-Valued Logics, Cognitive Measurements, Information Granulation, Pragmatics, Understanding, Cognitive Sensor, Comprehension, Interpretation, Cognitive Graphics.