

М.С. Нитежук<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей и сообщений, г. Иркутск, Российская Федерация

## ВЕРИФИКАЦИЯ И ПОИСК ПРОТИВОРЕЧИЙ В БАЗАХ ЗНАНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

**Аннотация.** В статье на примере продукционной модели знаний обсуждаются методы и подходы к верификации баз знаний интеллектуальных информационных систем. Рассматриваются как базы знаний экспертных систем, так и другие хранилища информации. Отмечается, что типичными ошибками разработки баз знаний служат их противоречивость, неполнота, избыточность. Рассматриваются средства борьбы с этими проблемами: разработка специализированных программ и алгоритмов, онтологическое моделирование для детализованного описания семантики предметной области и иное. Делается предположение о целесообразности использования для верификации баз знаний неклассических логических исчислений, способных обрабатывать информацию, обладающую существенной степенью неполноты и противоречивости: логики с векторной семантикой ( $V^{TF}$ -логику как их частный случай) и нейтрософскую логику Смарандаке.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, экспертная система, база знаний, продукционная модель, верификация, противоречия, логика с векторной семантикой.

M.S. Nitezjuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State University of Railways and Communications, Irkutsk, Russian Federation

## VERIFICATION AND SEARCH OF CONTRADICTIONS IN KNOWLEDGE BASES OF THE INTELLIGENT SYSTEMS

**Abstract.** The article discusses the methods and approaches to the verification of knowledge bases of intelligent information systems on the example of the production model of knowledge. Both expert systems knowledge bases and other information storages are considered. It is noted that the typical mistakes in the development of knowledge bases are their inconsistency, incompleteness, redundancy. Means of struggle with these problems are considered: development of specialized programs and algorithms, ontological modeling for the detailed description of semantics of a subject area and other. The assumption is made about the purposefulness of using non-classical logical calculi for the verification of knowledge bases, capable of processing information with a significant degree of incompleteness and inconsistency: logic with vector semantics (VTF-logic as their special case) and neutrosophic Smarandake logic.

**Keywords:** artificial intelligence, expert system, knowledge base, rule-based model, verification, contradictions, logic with vector semantic.

**Введение.** Работа со знаниями – одна из важных особенностей интеллектуальных информационных систем (ИИС). Несмотря на самые разнообразные подходы, применяемые в искусственном интеллекте (экспертные системы, распознавание образов, многоагентные системы, генетические и эволюционные алгоритмы, искусственные нейронные сети и т.д.) [1-3], знаниевые технологии – одна из основ этого направления.

Знания извлекаются различными способами. Это и работа с экспертами, и экспериментальные данные, и обработка текстовой информации. Источником знаний могут служить хранилища данных, лабораторные журналы, практический опыт специалистов и многое другое. Будучи обработанными и представленными в формализованном виде они загружаются в ИИС, составляя так называемые базы знаний (БЗ), – «совокупность знаний предметной области, записанная на машинный носитель в форме, понятной эксперту и пользователю (обычно на некотором языке, приближенном к естественному)» [3].

Формирование БЗ – всегда непростой процесс, сопряженный с обработкой различных источников. При этом полученные исходные сведения формализуются на основе тех или иных моделей знаний (одной либо нескольких). Сегодня известны четыре основных модели знаний [3]:

- логическая;

- производственная;
- сетевая;
- фреймовая.

Остальные так или иначе сводятся к ним.

В настоящее время специалисты выделяют также знания, представленные искусственными нейронными сетями [2]. Однако в связи неясностью таких знаний, трудностью или невозможностью их вербального или наглядного представления, в профессиональной литературе упор делается главным образом на первые четыре модели.

Извлечением и формализацией знаний занимаются определенные специалисты, называемые инженерами знаний, а само это направление – инженерией знаний. Итогом работы инженера знаний с экспертами и иными источниками является БЗ интеллектуальной системы.

БЗ – это особый тип моделей предметной области, характеризующихся высокой степенью субъективности [4]. Если проводить аналогию с классическим математическим моделированием, то классические модели с той или иной степенью точности отражают свойства и отношения непосредственно самой предметной области (модели первого типа [5]), тогда, как БЗ – это чаще всего отражение того, как предметная область отражается в голове эксперта (модели второго типа [5], рис. 1). На это двойное отражение дополнительно накладываются особенности восприятия этого отражения инженером знаний. То есть, БЗ – это в высокой степени субъективная конструкция.

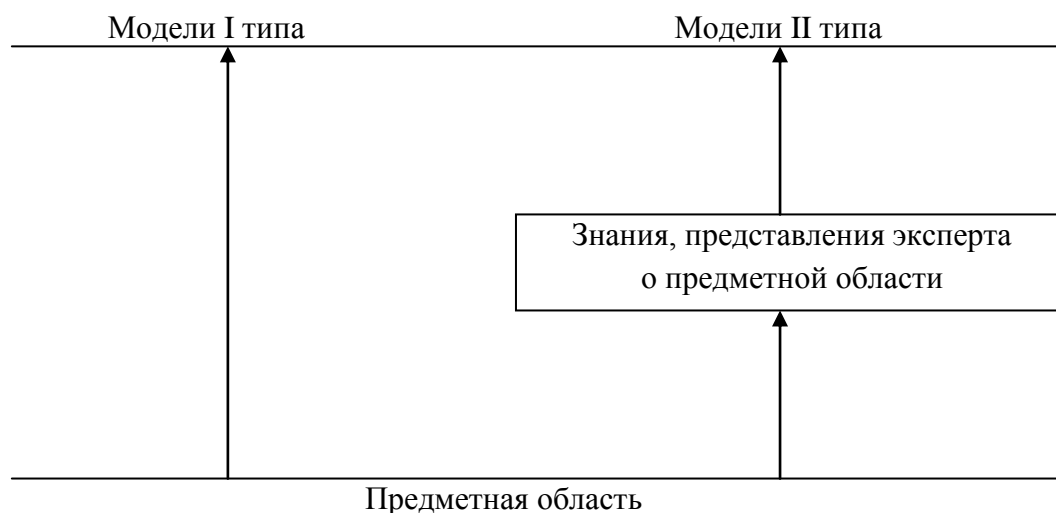


Рис.1. Классическое математическое моделирование и моделирование на основе знаний

Помимо знаний и представлений эксперта (экспертов), полученных непосредственно от него самого, или из написанных им (ими) трудов, сегодня в качестве источника знаний могут выступать также т.н. «большие данные» (big data). БЗ, построенные на этой основе, ближе к моделям первого типа, однако и здесь сведения, предлагаемые системами анализа данных, обрабатываются специалистами и сверяются с их субъективным представлением о предметной области.

Высокая степень субъективности БЗ порождает ряд особенностей. Это в первую очередь известные в литературе НЕ-факторы [6]: недостоверность (возможная), неопределенность, нечеткость, неполнота, недоопределенность. В [4] отмечается, что в ходе общения инженера знаний с экспертами теряется до 76% информации. В работе [7] приводятся данные, что процент ошибок человека-эксперта при внесении информации в БЗ в среднем равен 15%. Влияние этих факторов порождает фундаментальную проблему качества БЗ.

В [8] отмечается также, что неполнота БЗ «может характеризоваться недостижимыми, пропущенными, терминирующими продуктами (которые могут быть выполнены, но их за-

ключения не являются целью вопроса и отсутствуют среди посылок других продукций)». В свою очередь избыточность имеет вид дублирующих продукций и продукций, не ведущих ни к какой цели [8].

Таким образом, к основным сложностям, с которыми сталкиваются разработчики БЗ, относятся: противоречивость, неполнота, избыточность, наличие нигде не используемых терминов. Это порождает проблемы [8-10]:

- невозможность получить достоверные заключения;
- наличие не определенных понятий и терминов, невозможность вывода в определенных ситуациях;
- наличие не используемых фактов, правил, терминов, наличие понятий, совпадающих по смыслу с введенными ранее.

В связи с этим важным этапом разработки БЗ является процесс верификации – доказательства того, что она не содержит перечисленных ошибок [11, 12]. Важнейшей частью верификации при этом является проверка БЗ на непротиворечивость. Этот тип ошибки способен привести к проблемам логического вывода, а значит – к невозможности использования БЗ в качестве модели предметной области.

**Верификация баз знаний. Противоречия в знаниях.** Противоречия БЗ считаются самой существенной ошибкой [13]. Основные результаты в сфере поиска и устранения противоречий в знаниях получены для продукционной модели. В ее основу положены идеи Э. Поста, который в 1943 г. доказал, что продукционная система эквивалентна машине Тьюринга [14]. Это означает, что любая формальная система, оперирующая символами, может быть реализована на основе продукций «Если ..., то ...» [8]. Последнее означает, что продукционная модель есть одна из форм универсальной алгоритмической модели и с её помощью может быть реализована любая алгоритмическая процедура. В том числе – процедура логического вывода.

Учитывая, что эта модель является и наиболее распространенной, проблему поиска и устранения противоречий опишем главным образом именно для этого случая.

Противоречия в продукционных БЗ могут проявляться различным образом [14].

Во-первых, в форме внутренне противоречивых правил, когда факты или антецедент и консеквент взаимно исключают друг друга.

Во-вторых, в виде противоречий между двумя правилами, что в ходе вывода приводит к противоречивым заключениям.

В-третьих, как внутренне противоречивые цепочки рассуждений, когда в систему добавляется факт, противоречащий исходным фактам или уже полученным выводам.

Наконец, в виде противоречий цепочек вывода, когда одни и те же исходные данные порождают взаимоисключающие утверждения.

В [15] предложено считать непротиворечивой БЗ, в которой из допустимых состояний можно вывести только допустимые. Но это понятие может использоваться только в том случае, если имеется полное и точное описание предметной области и реализуются все допустимые состояния, что для сложных предметных областей такое не всегда возможно. В связи с этим в [15] предлагается не учитывать подобные варианты и рассматривать только «действительно нетерпимые противоречия» [8]. Другими словами, предлагается считать ЭС внутренне непротиворечивой, если её можно сделать вполне непротиворечивой и эффективной, сузив множество допустимых состояний. Претендующая на доверие ЭС может быть «вполне непротиворечивой». Это означает, что БЗ не должна содержать «внутренних» противоречий, но может допускать «внешние», когда БЗ в отдельных аспектах противоречит предметной области [8]. Обнаружение и ликвидация внутренних противоречий – первостепенная задача верификации БЗ ИИС.

Источником противоречий могут выступать содержательные связи между фактами. Так, в некоторых предметных областях могут существовать несовместимые системы взглядов. Причем несовместимость проявляется не сразу. Предположим имеется пара продукций [8]: «ЕСЛИ животное теплокровное И имеет крылья, ТО птица» и «ЕСЛИ животное тепло-

кровное И имеет 4 лапы, ТО зверь». Они не рассматриваются как противоречивые, пока не появится такой объект как летучая мышь. Для летучей мыши система сделает вывод «птица И зверь». Но зверь – это НЕ птица. Налицо не сразу выявляемое противоречие [8].

В [8] также отмечается, что наиболее грубая ошибка в продукциях «Если..., то...» связана с тем, что факт  $f_i$  предметной области невозможно установить в присутствии фактов  $\{f_1, \dots, f_k\}$ .

Наиболее сложная для выявления ошибка – это «забывание об исключении», когда правило выполняется всегда, за исключением случаев, когда установлен набор фактов  $\{f_1, \dots, f_k\}$ . Единственным способом обнаружения такой ошибки является тестирование [8].

Противоречие возникает при наличии в БЗ семантически несовместимых элементов. Например – несовместимых пар свойств или отношений [16].

В связи со всем вышесказанным важное значение приобретает разработка автоматизированных методов поиска противоречий. Например в [10] для этого предлагается метод целенаправленного перебора, основанный на понятии эффективного множества истинности продукции. В этой же работе определены понятия полной и частичной противоречивости продукционных БЗ и обоснован механизм их выявления.

В [10] обращается внимание на то, что лишь о некоторых видах противоречивости можно с уверенностью говорить как о об ошибках, подлежащих устранению. В остальных случаях «допустимость того или иного дефекта БЗ определяется индивидуально и может зависеть от целей системы, семантики конкретной предметной области, формы представления знаний» [10].

Автоматизированные методы обнаружения противоречий применяются также при анализе текстов на естественном языке, например, правовых текстов [9]. К противоречиям здесь относят противоречия в понятиях, противоречия в предикатах, иные виды противоречий. Примерами противоречий в понятиях служат включение в текст документа понятия и его прямого отрицания. Противоречие в предикатах может выражаться использованием формулировок, противоречащих другим законодательным актам. К иным противоречиям может относиться несоответствие заголовка документа его содержанию.

Несмотря на определенную специфику здесь тем не менее прослеживаются параллели с противоречиями БЗ.

Интересно, что в документах такого типа встречаются уже упомянутые проблемы, знакомые разработчикам БЗ: неполнота (наличие не определенных понятий и терминов), избыточность (введение нового понятия, совпадающего по смыслу с определенным ранее), наличие нигде не используемых терминов.

Поиск противоречий документах может реализовываться на основе онтологий предметной области [9]. Онтология в [9] представляется семантической сетью. Ею же представляется и смысл отдельного текстового документа, а общая онтология представляет собой объединение в единую сеть всех семантических представлений текстов предметной области.

В [9] также вводятся модели противоречий, которые представлены продукциями, записанными на языке предикатов первого порядка. Продукции оперируют с элементами семантической структуры онтологии и самого текста.

Для онтологий, основанных на дескриптивных логиках и постулатах рациональности [17, 18], предлагается различать два вида противоречий: несогласованность и классическую противоречивость, естественным образом появляющихся в динамических базах знаний [19].

Несмотря на то, что казалось бы проблема противоречия выросла из классической логики с его законами противоречия и исключенного третьего, понятие противоречивости известно и для нечетких логик, где закон противоречия, вообще говоря, не выполняется. Например в [19] степень принадлежности объекта управления сразу нескольким несовместимым классам (например, «Значительное падение» и «Значительный рост») по отношению к нечеткой выходной переменной (например, «Прогноз курса валюты») рассматривают как степень нечеткости суждения «Пересечение всех результатов нечеткого вывода множества применимых при некотором входе правил есть пустое множество». Т.е. множество-носитель

выходного результата образуется непересекающимися интервалами [19]. В то же время источником ошибок в этом случае может считаться как раз противоречивость и размытость самой сложной предметной области [20].

Возможность построения логических систем без принципа противоречия обсуждалась в начале XX в. работах русского логика Васильева Н.А. В результате им был сделан вывод, что причиной отрицания может являться эмпирическая несовместимость признаков, когда сведения о них поступают из разных источников [21, 22].

В работе [23] описывается подход к верификации спецификаций сложных систем на примере политик безопасности компьютерных сетей. Политики встречаются в настройках различных приложений и могут описываться продукциями «Если ..., то ...». Проверка на непротиворечивость, обсуждаемая в [23], основана на переборе состояний, в которые может перейти система в зависимости от запросов пользователей и ответов на них. Сам перебор управляется условиями, выраженными на языке темпоральной логики и отражающими корректные состояния системы.

В [24] отмечается, что проверка базы знаний на наличие противоречий требует семантического анализа содержимого БЗ. Если предметная область к тому же сложна, результатом консультации с использованием БЗ могут стать в том числе противоположные по смыслу значения, выведенные с разным коэффициентом уверенности (истинностью, вероятностью). Например, ответ «да» с вероятностью 30% и «нет» с вероятностью 70%. В этой ситуации окончательное принятие решения остается за человеком. Однако определенные рекомендации по исключению противоречий с помощью автоматизированных систем верификации БЗ получить можно [24]. Здесь же обсуждаются логические противоречия, возникающие при решении одной из логических задач (задача о лжецах). С точки зрения [24] возникающие противоречия можно анализировать с позиции различных «миров». В этом случае конфликтующие утверждения бывают двух типов:

- между высказываниями об одном и том же мире, но, возможно, в разных контекстах;
- между высказываниями о разных мирах.

Для анализа вариантов возникновения противоречий в [24] предлагаются следующие правила.

Для первой из указанных ситуаций:

- обнаруживается противоречие между предположением и высказыванием, которые существуют в одном и том же контексте (например, если из предположения  $T(A)$  непосредственно следует заключение  $F(A)$ );
- обнаруживается противоречие между предположением и одним из дизъюнктов составного высказывания:  $T(B) \vee F(A)$ .

Вторая ситуация (противоречие существует между высказываниями в разных мирах) также делится на два случая:

- текущий мир рассматривается в предположении, что персонаж говорит правду;
- текущий мир рассматривается в предположении, что персонаж лжет.

Анализ каждого варианта выполняется отдельно. Выполняется он автоматизированной системой. При этом правилам, анализирующим противоречие в пределах одного и того же мира, присваивается более высокий приоритет, чем правилам, анализирующим противоречие между разными мирами [24].

Несмотря на достаточную нетривиальность задачи верификации БЗ, отмечается, что в случае относительно небольших БЗ (до нескольких сотен продукций) они могут проверяться экспертами. Так в [25] отмечается, что в среднем 50% всей работы по проверке БЗ способен выполнить эксперт. Однако для систем с большим объемом знаний экспертная проверка БЗ практически невыполнима [26]. Отмечается, что с ростом БЗ растет число вариантов вывода, ветвлений и взаимосвязей между цепочками вывода, анализ которых необходим в ходе верификации, и анализ баз становится сложным [27]. Причем, даже если в БЗ аномалии отсутствуют вывод все равно может приводить к ошибочным результатам [8]. Причина – наличие смысловых ошибок, возможных при моделировании с помощью знаний. Это, в частности,

может являться следствием механистичности вывода, неучета отношений между концептами предметной области, необъявленными смысловыми связями между ними [12].

В связи [12] с этим предлагается:

- описывать необходимую для вывода информацию о взаимосвязях правил посредством онтологии и анализировать возможные конфликты с ее помощью;
- организовывать управление выводом с учетом онтологии.

Одним из распространенных приемов верификации продукционных БЗ является статическая верификация – поиск формальных аномалий в базе знаний (БЗ). Для выполнения статической верификации разработано множество программных средств. Методы статической верификации, на которых основываются эти программные средства, можно условно структурировать на методы, основанные [27, 28]:

- 1) на таблицах решений;
- 2) на генерации меток;
- 3) на графах, использующих ориентированные графы и сети Петри.

Перечисленные методы имеют недостатки, ограничивающие их применимость. Так, на основе таблиц решений могут быть обнаружены только простейшие случаи аномалий. Успешность методов на основе меток и графов зависит от полноты семантических ограничений, задаваемых пользователем. Также эти алгоритмы имеют экспоненциальную сложность [27, 28].

В работе [29] дополнительно отмечается, что вышеуказанные подходы абстрагируются от предметной области и основываются только на синтаксисе правил. Семантика при этом отходит на второй план. В связи с этим рекомендуется отслеживать неявные предположения и другую подразумеваемую информацию, на которой основывается моделирование. Основой семантического описания предметной области, как уже говорилось, предлагается брать онтологическое моделирование. Также предлагается применять рассуждения на основе прецедентов для корректного разрешения конфликтов единиц знаний. В связи с тем, что «ручное» описание всех возможных конфликтов правил – задача трудновыполнимая, в [12] также предлагается использовать конструкционную адаптацию для модификации имеющихся прецедентов в соответствии с новым конфликтом [31]. Перечисленные соображения вошли в исследования по применению интеллектуальных систем в задачах энергетической безопасности [29, 30].

**Заключение.** Исследования по верификации и обнаружению противоречий БЗ ИИС имеет долгую историю, сопоставимую по времени с самой идеей знаниевого моделирования. Многочисленные исследования в этой области посвящены главным образом наиболее распространенной – продукционной модели знаний, что объясняется ее относительной простотой при необходимой полноте и выразительности. Продукционные БЗ легко модифицируются. Это провоцирует на внесение в них разнообразных изменений и дополнений, что в конце концов может снизить качество соответствующей модели, а то и привести к ее неработоспособности.

Представленные выше методы и приемы с разных сторон подходят к проблеме верификации БЗ. Вместе с тем её, и в первую очередь проблему обнаружения противоречий, интересно изучить, используя возможности логических исчислений, способных осуществлять вывод в условиях существенной неполноты и противоречивости данных. Это может превратить верификацию в формальную процедуру логического вывода, явным образом приводящую к неопределенным и противоречивым результатам при тех или иных комбинациях входных данных. Появление таких результатов будет сигнализировать о «неисправностях» в БЗ, а соответствующая объяснительная компонента позволит отследить причины и источники их появления. Подходящими кандидатами на эту роль могут быть логики, сохраняющие свою работоспособность при грубых нарушениях принципов противоречия и исключенного третьего. Например, логики с векторными семантиками [32-34], а также близкая к ним нейтрософская логика Ф. Смарандаке [35-37]. Хорошим инструментом, в частности, может стать  $V^{TF}$ -логика, впервые описанная в [38].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаскаров Д.В. Интеллектуальные информационные системы. Учеб. для вузов. М.: высш. шк., 2003. 431 с.
2. Советов Б.Я., Цехановский В.В., Чертовский В.Д. Интеллектуальные системы и технологии: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2013. 320 с.
3. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб: Питер, 2000. 384 с.
4. Макаренко С.И. Интеллектуальные информационные системы: учеб. пособие. – Ставрополь: СФ МГТУ им М.А. Шолохова, 2009. – 206 с.
5. Аршинский Л.В. Теоретические основы искусственного интеллекта: учебное пособие. Иркутск: ИрГУПС, 2016. 142 с.
6. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных информационных систем: учеб. пособ. М.: Финансы и статистика, ИНФРА-М. 2010. 432 с.
7. Marcot V. Testing your knowledge base // AI Expert. August. 1987. pp 43-47.
8. Долина О.Н. Классификация ошибок в базах знаний экспертных систем // Вестник СГТУ. 2010. № 4 (50). Вып. 2. С. 125–130.
9. Андреев А.М., Березкин Д.В., Симаков К.В. Особенности проектирования модели и онтологии предметной области для поиска противоречий в правовых электронных библиотеках. – <http://inteltec.ru/publish/articles/textan/RCDL2004.shtml>
10. Пронина И.Г. Методы и инструментальные средства поддержки продукционных баз знаний, содержащих правила с интервальными значениями характеристик в предикатах: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.11. М., 1994. 160 с.
11. Preece A.D., Shinghal R., Batarekh A. Verifying expert systems: a logical framework and a practical tool // Expert systems with applications. 1992. Vol. 5. P. 421–436.
12. Проскуряков Д.П. Управление разрешением конфликтов в продукционных экспертных системах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 8. С. 47-51.
13. Поспелова Л.Я., Чуканова О.В. Поиск противоречий в продукционных базах знаний. – <http://www.vmest.ru/nuda/poisk-protivorechij-v-produkcionnih-bazah-znanij/main.html>.
14. Post E.L. Formal Reductions of the General Combination Decision Problem // American Journal of Mathematics. V. 65. 1943. pp. 197-215.
15. Tepandi J. Comparison of Expert System Verification Criteria: Redundancy // Proc. ECAI 90 Conf. Stockholm, 1990. pp 49-62.
16. Технология баз знаний. – <http://konesh.ru/lekciya-11-tehnologiya-baz-znanij.html>.
17. Alchourron C., Gardenfors P., Makinson D. On the logic of theory change: partial meet contraction and revision functions // Journal of Symbolic Logic. 1985. Vol. 50, No. 4. P. 510-530.
18. Flouris G., Huang Z., Pan J.Z., Plexousakis D., and Wache H. Inconsistencies, Negations and Changes in Ontologies // Proceedings of the 21st National Conference on Artificial Intelligence AAI-06. 2006. P. 1295-1300.
19. Поспелова Л.Я. Мера согласованности нечеткой базы знаний и методика ее оценки // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва. 16-19 июня 2014 г. – С. 4010-4017. – <http://docplayer.ru/45831239-Mera-soglasovannosti-nechetkoj-bazy-znaniy-i-metodika-ee-ocenki.html>.
20. Иванов А.С. Математические модели и алгоритмы функционирования продукционных баз знаний: диссертация ... кандидата физико-математических наук: 05.13.18. Саратов, 2008. 117 с.
21. Васильев Н.А. О частных суждениях, о треугольнике противоположностей, о законе исключенного четвертого. Казань, 1910.
22. Васильев Н.А. Воображаемая логика. Избранные труды. – М.: Наука, 1989. – 264 с.

23. Тишков А.В. и др. Обнаружение и устранение противоречий в спецификациях сложных систем. – <http://skachate.ru/informatika/8252/index.html>.
24. Выявление противоречий. – <https://studfiles.net/preview/964885/page:13>.
25. Davis R. Use of meta level knowledge in the construction and maintenance of large knowledge bases: Ph.D. dissertation, Computer Science Department, Stanford University, Stanford, California, 1976, 197 p.
26. Долина О.С. Разработка метода тестирования продукционных баз знаний экспертных систем с учетом ошибок типа «забывание об исключении»: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.14. Саратов, 1999. 174 с.
27. Проскуряков Д.П. Поиск противоречий с помощью стратегии управления производствами на основе онтологии предметной области // Труды XIX Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Ч. III. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. С. 166–170.
28. Яловец А.Л. Представление и обработка знаний с точки зрения математического моделирования. Проблемы и решения [Knowledge representation and processing in terms of mathematical modeling. Problems and solutions]. Kiev: Наукова Думка, 2011, 339 с.
29. Проскуряков Д.П. Интеграция онтологического моделирования и рассуждений по прецедентам для обработки контекста в исследованиях энергетической безопасности // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. том 21 № 4(123). С. 90-99.
30. Аршинский В.Л., Проскуряков Д.П. Применение онтологий и рассуждения по прецедентам для обработки контекста в событийном моделировании в исследованиях энергетики // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 4 (52). С. 94-100.
31. Plaza E., Arcos J.L. Constructive adaptation // Advances in case-based reasoning. Springer Verlag. 2002. Vol. 2416. P. 306-320.
32. Аршинский Л.В. Содержательный и формальный выводы в логиках с векторной семантикой // Автоматика и телемеханика, 2007. № 1. С. 153-162.
33. Аршинский Л.В. Многозначные логики с векторной семантикой. Деп. в ВИНТИ 13.02.03 №281-B2003. 46 с.
34. Аршинский Л.В. Исследование и разработка математических моделей обработки неполных и противоречивых данных на основе логик с векторной семантикой: автореферат диссертации ... доктора технических наук: 05.13.18. Иркутск, 2007. 40 с.
35. Smarandache F. Neutrosophy: Neutrosophic Probability, Set and Logic. American Research Press, Rehoboth, 1998. 105 p.
36. Smarandache, F. An Introduction to Neutrosophy, Neutrosophic Logic, Neutrosophic Set, and Neutrosophic Probability and Statistics // Proc. of the First International Conference on Neutrosophy, Neutrosophic Logic, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability and Statistics. University of New Mexico-Gallup, 1-3 December 2001. Phoenix: Xiquan, 2001. P. 5-21.
37. Смарандаке Ф. Сущность нейтрософии: Пер. с англ. Hexis Publishers, Феникс, Аризона, 2006. 33 с.
38. Аршинский Л.В. Применение векторного формализма в логике и логико-математическом моделировании // Онтология проектирования. 2016. Т. 6. № 4 (22). С. 436-451.
39. Аршинский Л.В. Методы обработки нестрогих высказываний. Иркутск: Изд-во Восточно-Сибирского института МВД России, 1998. 40 с.

## REFERENCES

1. Gaskarov D.V. *Intellektualnyye informatsionnyye sistemy*. Ucheb. dlya vuzov. [Intelligent information systems: textbook for high schools] M.: vysh. shk.. 2003. 431 s. (in Russian).
2. Sovetov B.Ya., Tsekhanovskiy V.V., Chertovskiy V.D. *Intellektualnyye sistemy i tekhnologii: uchebnyk dlya stud. uchrezhdeniy vysh. prof. obrazovaniya*. [Intelligent Systems: text-



- book for students of high professional schools] M.: Izdatelskiy tsentr «Akademiya». 2013. 320 s. (in Russian).
3. Gavrilova T.A., Khoroshevskiy V.F. Bazy znaniy intellektualnykh system [Knowledge Bases of the Intelligent Systems]. SPb: Piter. 2000. 384 s. (in Russian)
  4. Makarenko S.I. Intellektualnyye informatsionnyye sistemy: ucheb. posobiye. [Intelligent information systems: textbook]. Stavropol: SF MGTU im M.A. Sholokhova. 2009. 206 s. (in Russian).
  5. Arshinskiy L.V. Teoreticheskiye osnovy iskusstvennogo intellekta: uchebnoye posobiye [Theoretical foundations of artificial intelligence: textbook]. Irkutsk: IrGUPS. 2016. 142 s. (in Russian).
  6. Rybina G.V. Osnovy postroyeniya intellektualnykh informatsionnykh sistem: ucheb. posob. [Fundamentals of building intelligent information systems: textbook] M.: Finansy i statistika. INFRA-M. 2010. 432 s. (in Russian)
  7. Marcot B. Testing your knowledge base // AI Expert. August. 1987. pp 43-47.
  8. Dolinina O.N. Klassifikatsiya oshibok v bazah znaniy ehkspertnykh sistem [Classification of errors in knowledge bases of expert systems] // Vestnik SGTU. 2010. № 4 (50). Vyp. 2. S. 125–130. (in Russian)
  9. Andreyev A.M., Berezkin D.V., Simakov K.V. Osobennosti proyektirovaniya modeli i ontologii predmetnoy oblasti dlya poiska protivorechiy v pravovykh elektronnykh bibliotekakh [Design features of the model and ontology of the subject area for the search of contradictions in legal electronic libraries] – <http://inteltec.ru/publish/articles/textan/RCDL2004.shtml> (in Russian).
  10. Pronina I.G. Metody i instrumentalnyye sredstva podderzhki produktsionnykh baz znaniy, sodержashchikh pravila s intervalnymi znacheniyami kharakteristik v predikatakh: dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.13.11 [Methods and tools for support of production knowledge bases containing rules with interval values of characteristics in predicates: dissertation ... candidate of technical sciences]. M., 1994. 160 s. (in Russian).
  11. Preece A.D., Shinghal R., Batarekh A. Verifying expert systems: a logical framework and a practical tool // Expert systems with applications. 1992. Vol. 5. P. 421–436.
  12. Proskuryakov D.P. Upravleniye razresheniyem konfliktov v produktsionnykh ehkspertnykh sistemakh [Managing conflict resolution in rule-based expert systems] // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. № 8. S. 47-51. (in Russian).
  13. Pospelova L.Ya., Chukanova O.V. Poisk protivorechiy v produktsionnykh bazakh znaniy [The search for contradictions in the rule-based knowledge bases]. – <http://www.vmest.ru/nuda/poisk-protivorechij-v-produkcionnih-bazah-znaniy/main.html>. (in Russian).
  14. Post E.L. Formal Reductions of the General Combination Decision Problem // American Journal of Mathematics. Vol. 65. 1943. pp. 197-215.
  15. Tepandi J. Comparison of Expert System Verification Criteria: Redundancy // Proc. ECAI 90 Conf. Stockholm, 1990. pp 49-62.
  16. Tekhnologiya baz znaniy [Knowledge base technology]. – <http://konesh.ru/lekciya-11-tehnologiya-baz-znaniy.html>. (in Russian).
  17. Alchourron C., Gardenfors P., Makinson D. On the logic of theory change: partial meet contraction and revision functions // Journal of Symbolic Logic. 1985. Vol. 50, No. 4. P. 510-530.
  18. Flouris G., Huang Z., Pan J.Z., Plexousakis D., and Wache H. Inconsistencies, Negations and Changes in Ontologies // Proceedings of the 21st National Conference on Artificial Intelligence AAI-06. 2006. P. 1295-1300.
  19. Pospelova L.Ya. Mera soglasovannosti nechetskoy bazy znaniy i metodika ee otsenki [Measure of consistency of fuzzy knowledge base and methods of its evaluation] // XII Vserossiyskoye soveshchaniye po problemam upravleniya VSPU-2014. Moskva. 16-19 iyunya 2014 g. – S. 4010-4017. – <http://docplayer.ru/45831239-Mera-soglasovannosti-nechetkoy-bazy-znaniy-i-metodika-ee-ocenki.html>/ (in Russian).

20. Ivanov A.S. Matematicheskiye modeli i algoritmy funktsionirovaniya produktsionnykh baz znaniy: dissertatsiya ... kandidata fiziko-matematicheskikh nauk: 05.13.18 [Mathematical models and algorithms of production knowledge bases functioning: dissertation ... candidate of physical and mathematical Sciences]. Saratov. 2008. - 117 s. (in Russian).
21. Vasilyev N.A. O chastnykh suzhdeniyakh, o treugolnike protivopolozhnostey, o zakone isklyuchennogo chetvertogo [On particular judgments, on the triangle of opposites, on the law of the excluded fourth]. Kazan. 1910. (in Russian).
22. Vasilyev N.A. Vobrazhayemaya logika. Izbrannyye Trudy [Imaginary logic. Selected works]. M.: Nauka. 1989. 264 s. (in Russian).
23. Tishkov A.V. et al. Obnaruzheniye i ustraneniye protivorechiy v spetsifikatsiyakh slozhnykh system [Detection and elimination of contradictions in the specifications of complex systems]. – <http://skachate.ru/informatika/8252/index.html> (in Russian).
24. Vyyavleniye protivorechiy [Identification of contradictions]. – <https://studfiles.net/preview/964885/page:13> (in Russian).
25. Davis R. Use of meta level knowledge in the construction and maintenance of large knowledge bases: Ph.D. dissertation, Computer Science Department, Stanford University, Stanford, California, 1976, 197 p.
26. Dolina O.S. Razrabotka metoda testirovaniya produktsionnykh baz znaniy ekspertnykh sistem s uchetom oshibok tipa «zabyvaniye ob isklyuchenii»: dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.13.14 [Development of the method of testing the production knowledge bases of expert systems taking into account errors such as "forgetting about exclusion": dissertation ... candidate of technical Sciences]. Saratov. 1999. 174 s. (in Russian).
27. Proskuryakov D.P. Poisk protivorechij s pomoshch'yu strategii upravleniya produkciyami na osnove ontologii predmetnoj oblasti [The search for contradictions with management strategy of the production rules on the basis of domain ontology] // Trudy XIX Bajkal'skoj Vserossijskoj konferencii «Informativnyye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii». CH. III. Irkutsk: ISEHM SO RAN, 2014. S. 166–170. (in Russian)
28. Yalovets A.L. Predstavleniye i obrabotka znaniy s tochki zreniya matematicheskogo modelirovaniya. Problemy i resheniya [Knowledge representation and processing in terms of mathematical modeling. Problems and solutions]. Kiev. Naukova Dumka, 2011, 339 c. (in Russian)
29. Proskuryakov D.P. Integratsiya ontologicheskogo modelirovaniya i rassuzhdeniy po pretsedentam dlya obrabotki konteksta v issledovaniyakh energeticheskoy bezopasnosti [Integration of ontological modeling and reasoning in the precedents for the processing of context in studies of energy security] // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2017. vol. 21 N 4(123). pp. 90-99. (in Russian)
30. Arshinskiy V.L., Proskuryakov D.P. Primeneniye ontologiy i rassuzhdeniya po pretsedentam dlya obrabotki konteksta v sobytiynom modelirovanii v issledovaniyakh energetiki [Application of ontologies and precedent reasoning for context processing in event modeling in energy research] // Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye. 2016. № 4 (52). pp. 94–100. (in Russian)
31. Plaza E., Arcos J.L. Constructive adaptation // Advances in case-based reasoning. Springer Verlag. 2002. Vol. 2416. pp. 306–320.
32. Arshinskii L.V. Substantial and formal deductions in logics with vector semantics // Automation and remote control, 2007. Vol. 68, № 1. pp. 139-148.
33. Arshinskiy L.V. Mnogoznachnyye logiki s vektornoy semantikoy [Multivalued logic with vector semantics]. Dep. v VINITI 13.02.03 №281-V2003. 46 p. (in Russian)
34. Arshinskiy L.V. Issledovaniye i razrabotka matematicheskikh modeley obrabotki nepolnykh i protivorechivnykh dannykh na osnove logik s vektornoy semantikoy: avtoreferat dissertatsii ... doktora tekhnicheskikh nauk: 05.13.18. [Research and development of mathematical models of incomplete and contradictory data processing based on logic with vector semantics: dissertation abstract ... doctor of technical Sciences] Irkutsk. 2007. 40 p. (in Russian)

35. Smarandache F. Neutrosophy: Neutrosophic Probability. Set and Logic. American Research Press. Rehoboth. 1998. 105 p.
36. Smarandache, F. An Introduction to Neutrosophy, Neutrosophic Logic, Neutrosophic Set, and Neutrosophic Probability and Statistics // Proc. of the First International Conference on Neutrosophy, Neutrosophic Logic, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability and Statistics. University of New Mexico-Gallup, 1-3 December 2001. Phoenix: Xiquan, 2001. P. 5-21.
37. Smarandache F. Sushchnost neytrosofii [The essence of neutrosophy]. Hexis Publishers. Feniks. Arizona. 2006. 33 p. (in Russian)
38. Arshinskiy L.V. Primeneniye vektornogo formalizma v logike i logiko-matematicheskom modelirovaniy [Application of vector formalism in logic and logical-mathematical modeling] // Ontologiya proyektirovaniya. 2016. Vol. 6. N4 (22). pp. 436-451.
39. Arshinskiy L.V. Metody obrabotki nestrogikh vyskazyvaniy [Methods of processing of non-strict proposition]. Irkutsk: East-Siberian Institute of MIA of Russia. 1998. 40 p. (in Russian)

### **Информация об авторах**

*Нитежук Марина Сергеевна* – аспирант кафедры «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей и сообщений, г. Иркутск, e-mail: marino\_@mail.ru

### **Authors**

*Nitezhuik Marina Sergeevna* – Postgraduate Student, Postgraduate Student of the Department "Informatics Systems and Information Security", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: marino\_@mail.ru

### **Для цитирования**

Нитежук М.С. Верификация и поиск противоречий в базах знаний интеллектуальных систем [Электронный ресурс] / М.С. Нитежук // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2018. – №2. – Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/22-2018>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 17.12.2018)

### **For citation**

Nitezhuik M.S. *Verifikaciya i poisk protivorechij v bazah znaniy intellektual'nykh sistem* [Verification and search of contradictions in knowledge bases of the intelligent systems]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2018, no. 2. [Accessed 17/12/18]