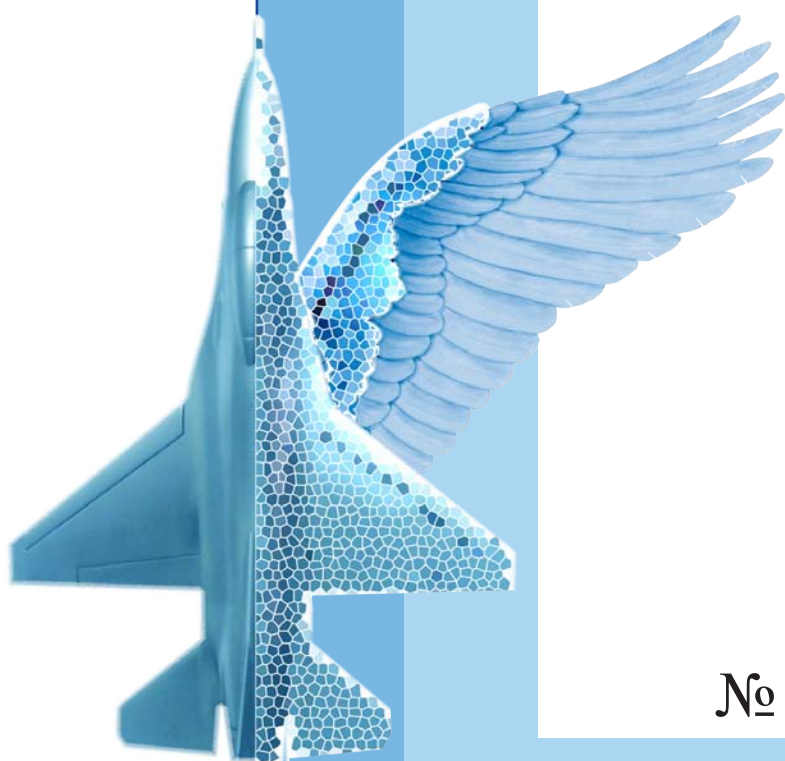


ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



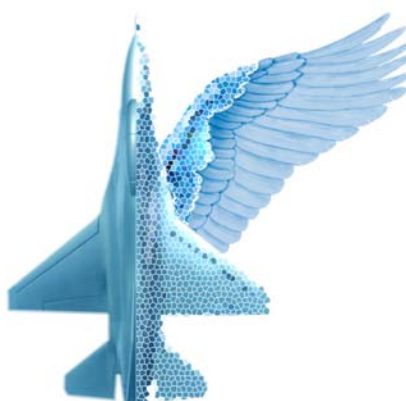
Том **5**
№ **1**(15)/2015

ОНТОЛОГИЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Научный журнал

Том 5

№ 1(15)



EDITORIAL BOARD – РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Anatoly I. Belousov	Белоусов Анатолий Иванович, д.т.н., профессор, СГАУ, г. Самара
Nikolay M. Borgest	Боргест Николай Михайлович, к.т.н., профессор СГАУ, член ИАОА, г. Самара
Yuri R. Valkman	Валькман Юрий Роландович, д.т.н., профессор, МНУЦ ИТиС НАН и МОН Украины, г. Киев
Stanislav N. Vasiliev	Васильев Станислав Николаевич, академик РАН, ИПУ РАН, г. Москва
Vladimir A. Vittikh	Виттих Владимир Андреевич, д.т.н., профессор, ИПУСС РАН, г. Самара
Vladimir V. Golenkov	Голенков Владимир Васильевич, д.т.н., профессор, БГУИР, г. Минск
Vladimir I. Gorodetsky	Городецкий Владимир Иванович, д.т.н., профессор, СПИИРАН, г. Санкт-Петербург
Nicholay G. Zagoruiko	Загоруйко Николай Григорьевич, д.т.н., профессор, ИМ СО РАН, г. Новосибирск
Alexander S. Kleshchev	Клещёв Александр Сергеевич, д.ф.-м.н., профессор, ИАПУ ДВО РАН, г. Владивосток
Valery A. Komarov	Комаров Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, СГАУ, г. Самара
Sergey M. Krylov	Крылов Сергей Михайлович, д.т.н., профессор, СамГТУ, г. Самара
Victor M. Kureichik	Курейчик Виктор Михайлович, д.т.н., профессор, Технологический институт ЮФУ, г. Таганрог
Lyudmila V. Massel	Массель Людмила Васильевна, д.т.н., профессор., ИСЭМ СО РАН, г. Иркутск
Dmitry A. Novikov	Новиков Дмитрий Александрович, член-корреспондент РАН, ИПУ РАН, г. Москва
Semyon A. Piyavsky	Пиявский Семён Авраамович, д.т.н., профессор, СГАСУ, г. Самара
George Rzevski	Ржевский Георгий, профессор, Открытый университет, г. Лондон
Peter O. Skobelev	Скобелев Петр Олегович, д.т.н., НПК «Разумные решения», г. Самара
Sergey V. Smirnov	Смирнов Сергей Викторович, д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
Anatoly V. Sollogub	Соллогуб Анатолий Владимирович, д.т.н., профессор, АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара
Peter I. Sosnin	Соснин Петр Иванович, д.т.н., профессор, УлГТУ, г. Ульяновск
Dzhavdet S. Suleymanov	Сулейманов Джавдет Шевкетович, академик, вице-президент АН РТ, г. Казань
Robert I. Tuller	Таллер Роберт Израилевич, д.филос.н., профессор, СГАУ, г. Самара
Boris E. Fedunov	Федунов Борис Евгеньевич, д.т.н., профессор, ГосНИИ Авиационных систем, г. Москва
Altynbek Sharipbay	Шарипбай Алтынбек, д.т.н., профессор, Институт искусственного интеллекта, г. Астана
Boris Ya. Shvedin	Шведин Борис Яковлевич, к.психол.н., ООО «Дан Роуз», член ИАОА, г. Ростов-на-Дону

Executive Editorial Board - Исполнительная редакция

Chief Editor	Smirnov S.V.	Главный редактор	Смирнов С.В.	директор ИПУСС РАН
Executive Editor	Borgest N.M.	Выпускающий редактор	Боргест Н.М.	директор изд-ва «Новая техника»
Editor	Kozlov D.M.	Редактор	Козлов Д.М.	профессор СГАУ
Technical Editor	Simonova A.U.	Технический редактор	Симонова А.Ю.	редактор изд-ва «Новая техника»
Translation Editor	Korovin M.D.	Редактор перевода	Коровин М.Д.	аспирант СГАУ
Proofreader	Shustova D.V.	Корректор	Шустова Д.В.	аспирант СГАУ

CONTACTS – КОНТАКТЫ

ИПУСС РАН

443020, Самара, ул. Садовая, 61.
тел.: +7 (846) 332 39 27, факс.: +7 (846) 333 27 70

Смирнов С.В.
smirnov@iccs.ru

СГАУ

443086, Самара, Московское шоссе 34, корп. 10, кафедра КиПЛА
тел.: +7 (846) 267 46 47, факс.: +7 (846) 267 46 46

Боргест Н.М.
borgest@yandex.ru

Издательство «Новая техника»

443010, Самара, ул.Фрунзе, 145, тел.: +7 (846) 332 67 84, факс: +7 (846) 332 67 81

Сайт журнала: http://agora.guru.ru/scientific_journal/

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Номер контракта 64-03/2012.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС 77-46447 от 7.09.2011 г.



Отпечатано в издательстве «Новая техника»
Подписано в печать 30.03.2015. Тираж 300 экз.

© Все права принадлежат авторам публикуемых статей
© Издательство «Новая техника», 2011-2015
© ИПУСС РАН, 2015
© СГАУ, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

От редакции	
ПОНИМАНИЕ ГРЕЧЕСКОЙ ФИЛОСОФИИ	5-6
Н.Г. Загоруйко, И.А. Борисова, О.А. Кутненко, В.В. Дюбанов, Д.А. Леванов	7-18
КОНКУРЕНТНОЕ СХОДСТВО КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ БАЗОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ КОГНИТИВНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ	
Н.М. Боргест	19-29
РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ ПРИ СОЗДАНИИ АРТЕФАКТОВ КАК МЕТАФОРА И КАК ПРИКЛАДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	
Ю.А. Загоруйко	30-46
СЕМАНТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ, ОРИЕНТИРОВАННАЯ НА ЭКСПЕРТОВ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ	
Н.В. Лукашевич, Б.В. Добров	47-69
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ШИРОКИХ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ	
Д.В. Шустова	70-84
ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ ОСНОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ	
В.В. Попков	85-109
АРИФМЕТИКА СОЗНАНИЯ ДЖ. СПЕНСЕРА-БРАУНА	
В.И. Левин	110-123
АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ФУНКЦИЙ, ЗАДАНЫХ С ТОЧНОСТЬЮ ДО ИНТЕРВАЛА	
НАУЧНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ 2015	124-125
РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИЗДАНИЯ	126
КРУГОСВЕТНОЕ ПУТЕШЕСТВИЕ ЖУРНАЛА	127
ЮБИЛЕЙНЫЕ ЗАМЕТКИ	128

CONTENT

From the Editors	
UNDERSTANDING GREEK PHILOSOPHY	5-6
N.G. Zagoruiko, I.A. Borisova, O.A. Kutenko, V.V. Dyubanov, D.A. Levanov	7-18
RIVAL SIMILARITY AS AN UNIVERSAL BASIC TOOL OF COGNITIVE DATA MINING	
N.M. Borgest	19-29
PATTERN RECOGNITION BY DESIGNING ARTIFACTS IS AS METAPHOR AND AS APPLIED TECHNOLOGY OF ONTOLOGY OF DESIGNING	
Yu.A. Zagorulko	30-46
SEMANTIC TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS ORIENTED TO EXPERTS IN SUBJECT DOMAIN	
N.V. Loukachevitch, B.V. Dobrov	47-69
DEVELOPING LINGUISTIC ONTOLOGIES IN BROAD DOMAINS	
D.V. Shustova	70-84
APPROACH TO DEVELOPING A SEMANTIC BASIS OF INFORMATION SYSTEMS FOR DESIGN AND PRODUCTION AIRCRAFT	
V.V. Popkov	85-109
G. SPENCER–BROWN’S ARITHMETIC OF CONSCIOUSNESS	
V.I. Levin	110-123
ANALYSIS OF FUNCTIONS WHICH SPECIFIED UP TO INTERVAL	
SCIENTIFIC CONFERENCE 2015	124-125
RECOMMENDED BOOKS	126
TRIP AROUND THE WORLD FOR DEVELOPMENT OF OUR JOURNAL	127
ANNIVERSARY NOTE	128



ПОНИМАНИЕ ГРЕЧЕСКОЙ ФИЛОСОФИИ
UNDERSTANDING GREEK PHILOSOPHY
活用希臘哲學

*Пока Земля ещё вертится, пока ещё ярок свет,
Господи, дай же ты каждому, чего у него нет...*

Б. Ш. Окуджава

...А «нет» чаще всего системного видения, понимания, нет в головах выпускников наших ВУЗов онтологии предметной области и онтологии решаемых в ней задач. Причём потребность в специалистах, обладающих такими знаниями, неуклонно растёт вместе с объёмом данных, которые обрушиваются на каждого из нас со скоростью размещения и производства информации разного толка в компьютерных сетях.

Направление Big Data и важнейшая его часть - *семантический анализ* - уже неоднократно освещались в статьях нашего журнала. Во 2-м номере за 2014 год был даже размещён перевод на русский язык «Коммюнике онтологического саммита 2014: Прикладные онтологии в семантической сети и больших данных (Semantic Web and Big Data Meets Applied Ontology)», в котором представители сообществ Семантической сети (Semantic Web), Связанных данных (Linked Data) и Прикладных онтологий (Applied Ontology) обсуждали вопросы разработки онтологий и семантической интеграции.

Модное течение Big Data теперь нашло свою прописку и в Самарском государственном аэрокосмическом университете имени академика С.П. Королёва (СГАУ), в котором создана лаборатория по обработке данных сверхбольшого объёма. В ближайшее время СГАУ и Международному институту рынка (г. Самара) предстоит разработать программы подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров, обладающих знаниями в области принятия управленческих решений на основе технологий Big Data¹...

Семантическому анализу и семантическим технологиям в основном посвящен и этот 1-й номер уже 5-го тома нашего журнала.

Фундаментальным основам анализа данных посвящена статья ушедшего от нас **Н.Г. Загоруйко** и его коллег из Института математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск) и Новосибирского государственного университета. В обзоре научных результатов последних лет показан потенциал предложенной Николаем Григорьевичем функции конкурентного сходства, которая расценивается как универсальный базовый инструмент когнитивного анализа данных, оценки компактности и делимости образов.

Тему распознавания образов продолжает в своей статье *Н.М. Боргест* (ИПУСС, СГАУ). Онтологический анализ проектирования и распознавания образов позволил ему выйти на аналогии в этих видах деятельности и установить «подобие по Аристотелю». В статье предлагается метод построения образа будущего артефакта на основе матрицы проекта этого объекта с применением мультиагентной технологии при её формировании и выполнении.

Заведующий лабораторией Института систем информатики им. А.П. Ершова Сибирского отделения Российской академии наук *Ю.А. Загоруйко* (г. Новосибирск) посвятил свою статью оригинальной семантической технологии разработки интеллектуальных систем. Отличие предлагаемой технологии состоит, прежде всего, в ориентации на экспертов предметной области, а также в использовании недоопределённой модели данных А.С. Нариньяни.

¹ В СГАУ создана лаборатория по обработке данных сверхбольшого объёма на основе Big Data.

<http://www.ssau.ru/news/11240-V-SGAU-sozdana-laboratoriya-po-obrabotke-dannykh-sverkhbolshogo-obema-na-osnove-Big-Data/>

В статье сотрудников Научно-исследовательского вычислительного центра МГУ им. М.В.Ломоносова *Н.В. Лукашевич* и *Б.В. Доброва* (г. Москва) рассматривается модель лингвистической онтологии для автоматической обработки текстов предметной области, в состав которой входят тысячи разных классов сущностей, имеющих между собой неограниченные типы отношений и ситуаций. По мнению авторов, предложенная система отношений отражает наиболее существенные взаимосвязи между сущностями и может применяться для описания отношений между понятиями в самых разных предметных областях.

Д.В. Шустова из СГАУ представила в своей статье основные фазы современного подхода к разработке семантических основ информационных систем на примере проектирования и производства авиационной техники.

В статье директора Международного института Александра Богданова (г. Екатеринбург) *В.В. Попкова* на конкретных примерах показана онтологическая асимметрия логики Аристотеля и её преодоление с помощью алгебры и арифметики Спенсера–Брауна, разъясняется роль исчисления индикаций как математического аппарата для моделирования когнитивных процессов.

На основе аппарата интервальной математики и интервально-дифференциального исчисления *В.И. Левиным* из государственного технологического университета (г. Пенза) предложен алгоритм детерминизации, который позволяет свести задачу вычисления и анализа поведения неполностью определённой функции к двум аналогичным – для верхней и нижней граничных функций.

В своём обращении от редакции мы традиционно «заряжаем» нашего читателя порцией информации о достижениях великих учёных прошлого и, в частности, об основателях онтологического подхода и выработанных формализмах проектной деятельности. Сегодняшнее обращение мы связали с этой темой лишь символично, озаглавив его так же, как именуется курс Национального университета Тайваня, размещенный на сайте Coursera² (<https://www.coursera.org>). Это курс «Понимание греческой философии». На этом же образовательном ресурсе наше внимание привлекли также курсы: «Введение в системное проектирование», который подготовлен в университете Австралии (University of New South Wales - Университет Нового Южного Уэльса) и поддержан учебным пособием по практике системного проектирования³, и «Анализ процессов: обработка и анализ данных в действии», разработанный в Техническом университете Эйндховена (Eindhoven University of Technology, Netherlands) и поддержанный монографией⁴.

Редакция журнала выражает уверенность, что и российский курс «**Онтология проектирования**», подготовленный в СГАУ и изучаемый магистрантами ряда направлений, внесёт свой вклад в формирование системного подхода при решении проектных задач будущими исследователями и конструкторами.



² Coursera - образовательная платформа, предлагающая бесплатные онлайн-курсы для каждого. На март 2015 года зарегистрировано около 12 миллионов пользователей Coursera. Всего доступно 986 различных учебных курсов, предоставленных ведущими университетами и организациями мира (116 партнеров).

³ R.I. Faulconbridge and M.J. Ryan, Systems Engineering Practice, Argos Press, Canberra, 2014. – 320 p.

⁴ Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes by W.M.P. van der Aalst, Springer Verlag, 2011. – 352 p. (ISBN 978-3-642-19344-6)

УДК 519.95

КОНКУРЕНТНОЕ СХОДСТВО КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ БАЗОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ КОГНИТИВНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Н.Г. Загоруйко¹, И.А. Борисова¹, О.А. Кутненко², В.В. Дюбанов³, Д.А. Леванов⁴

Институт Математики им. С.Л. Соболева СО РАН,
Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН,
Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия
¹biamia@mail.ru, ²olga@math.nsc.ru

Институт Математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
³vladimir.dyubanov@gmail.com, ⁴levanovd@gmail.com

Аннотация

При решении задач анализа данных (классификации, таксономии, выбора признаков, прогнозирования) человек применяет некий универсальный психофизиологический механизм познания, ключевую роль в котором, по нашему мнению, играют способность оценивать меру сходства между объектами и стремление к максимальной компактности и простоте описания мира в терминах этой меры сходства. Николаем Григорьевичем Загоруйко была предложена модель для оценивания сходства объекта с образом, основанная на учете конкурентной ситуации. В статье определяется функция конкурентного сходства (FRiS-функция) и описываются возможности её использования для оценки компактности и разделимости образов. Эти оценки легли в основу алгоритмов для решения задач построения решающего правила (алгоритм FRiS-Stolp), выбора информативных признаков (алгоритм FRiS-GRAD) и цензурирования (алгоритм FRiS-Censor). Основные идеи и свойства этих алгоритмов, а также результаты их применения к модельным и реальным задачам представлены в данной статье.

Ключевые слова: когнитивный анализ данных, распознавание, выбор признаков, цензурирование, функция конкурентного сходства.

Введение

Когнитивный анализ данных направлен на изучение методов, с помощью которых человек извлекает закономерности из информации об окружающем мире и затем использует их для получения новых знаний, для более эффективного принятия решений. Эти исследования служат основой для построения компьютерных систем анализа данных, которые, имитируя простейшие когнитивные способности человека, позволяют решать задачи больших объемов, извлекать закономерности тогда, когда человеческих ресурсов на это не хватает. Ярким примером такой задачи могут служить результаты микрочипирования (microarrays) – технологии измерения активности большого количества генов одновременно, которая активно развивается, в том числе, в связи с задачей установления связей между различными заболеваниями и особенностями функционирования генома пациента. Результатом таких исследований становятся таблицы, содержащие информацию о сотнях пациентов и десятках тысяч генов, обработка которых вручную не представляется возможным.

Анализ данных, как направление кибернетики, начал активно развиваться с середины прошлого века, а в связи с появлением компьютеров и непрерывным ростом их мощностей стал неотъемлемой частью исследований в самых разных областях медицины, биологии, геологии, социологии, экономики и пр. У истоков этого направления наряду с такими учеными как С.А. Айвазян [1], Э.М. Браверманн [2], В.Н. Вапник [3], Ю.И. Журавлев [4],

А.Г. Ивахненко [5], М.И. Шлезингер [6] стоял и Николай Григорьевич Загоруйко [7-9], заслуги которого, как учёного и популяризатора анализа данных, сложно переоценить.

Благодаря усилиям большого количества исследователей к настоящему времени в области анализа данных разработано огромное количество разных методов решения одних и тех же задач. Создаются всё новые и новые методы, ориентированные отдельно на большие и малые выборки, на тот или иной закон распределения, на два образа или на большее их число, на линейно или нелинейно делимые образы и т. д. Подобное многообразие можно объяснить различием моделей, в рамках которых каждый исследователь формулирует и решает ту или иную задачу анализа данных. Причём высокая специфичность модели, несмотря на точность и математическую обоснованность решений, получаемых в ней, может приводить к тому, что для большинства реальных прикладных задач она не будет работать.

Идея, которую Н.Г. Загоруйко продвигал в последние годы работы, заключалась в том, что модель для решения различных задач анализа данных должна быть универсальной, отражать человеческую способность обработки информации и благодаря этому успешно способствовать решению задачи, которые может ставить человек. Он исходил из гипотезы о том, что когнитивные способности человека основаны на двух ключевых принципах: на использовании специфической меры сходства между объектами и на стремлении к максимальной компактности и простоте описания мира в терминах этой меры сходства. В качестве модели человеческого способа оценки сходства между объектами он предложил использовать функцию конкурентного сходства (FRiS-функцию, от *Function of Rival Similarity*) [10]. Использование FRiS-функции позволяет найти количественную оценку компактности классов. Эти два элемента – FRiS-сходство и FRiS-компактность лежат в основе алгоритмов для решения различных типов задач анализа данных. Примеры их успешного использования для решения прикладных задач самой разной природы подтверждают работоспособность модели конкурентного сходства.

1 Функция конкурентного сходства. Алгоритм FRiS-Stolp

При измерении таких характеристик объектов, как вес, длина, сопротивление и т.п., обычно используются эталонные объекты. Результат измерения определяется свойствами только самого объекта и измеряющего эталона и *не зависит от свойств других объектов*. По этой причине он имеет характер абсолютной величины. Но объекты описываются и такими характеристиками, как «похож–не похож», «близок–далёк», «добрый–злой» и т.д. Эталонов для подобных понятий не существует, два объекта с несовпадающими свойствами могут считаться «сходными» или «не сходными», «близкими» или «далёкими» *в зависимости от свойств других объектов*. Так, на рисунке 1 расстояние между объектами *a* и *z* остается неизменным, но ответы на вопрос «достаточно ли они близки друг к другу, чтобы можно было объединить их в один класс?» для случаев 1, 2, и 3 будут разными.



Рисунок 1 – Иллюстрация относительности сходства объектов *a* и *z*

Чтобы ответить на этот вопрос, нужно знать ответ на вопрос «по сравнению с чем?». Хорошо известная бытовая фраза «всё познается в сравнении» на самом деле отражает фундаментальный закон познания. Адекватная мера сходства должна определять величину сходства, зависящую от особенностей конкурентного окружения объекта z . При распознавании принадлежности объекта z к одному из двух образов A или B важно знать не только его расстояние до образа A , но и расстояние до конкурирующего образа B . Следовательно, сходство в распознавании образов является категорией не абсолютной, а относительной.

Все статистические алгоритмы распознавания учитывают конкуренцию между классами. Например, в методе kNN (*k*-Nearest Neighbors¹) новый объект z распознаётся как объект образа A , если среднее расстояние до k ближайших объектов этого образа не только мало, но и меньше, чем среднее расстояние до k ближайших объектов конкурирующего образа B . Оценка сходства в этом алгоритме делается в шкале порядка.

Более сложная мера сходства используется в алгоритме RELIEF [11]. Чтобы определить сходство объекта z с ближайшим объектом a из образа A в конкуренции с ближайшим объектом b из образа B используется величина, которая учитывает нормированную разницу в расстояниях $r(z, a)$ и $r(z, b)$:

$$W(z, a | b) = \frac{r(z, b) - r(z, a)}{r_{\max} - r_{\min}}.$$

Здесь $r_{\min}$ и $r_{\max}$ – минимальное и максимальное расстояния между всеми парами объектов анализируемого множества.

В работе [12] при оценке «Ширины Силуэта» (*Silhouette Width*) измеряется среднее расстояние $R(z, A)$ от объекта z до всех объектов образа A , к которому относят z , и расстояние $r(z, b)$ от z до ближайшего к нему объекта b , не принадлежащему образу A . Мера различия (несходства) объекта z и объектов кластера A принимается равной

$$S(z, A | b) = \frac{R(z, A) - r(z, b)}{\max\{R(z, A), r(z, b)\}}.$$

Для вычисления конкурентного сходства объекта z с объектом a в конкуренции с ближайшим объектом b предлагается использовать следующую величину:

$$F(z, a | b) = \frac{r(z, b) - r(z, a)}{r(z, b) + r(z, a)}.$$

По мере передвижения объекта z от объекта a к объекту b можно говорить вначале о большом сходстве объекта z с объектом a , об умеренном их сходстве, затем о наступлении одинакового сходства, равного 0, как с объектом a , так и с b . При дальнейшем продвижении z к b возникает умеренное, а затем и большое отличие z от a . Совпадение объекта z с объектом b означает максимальное отличие z от a , что соответствует сходству z с a , равному -1.

Сходство F между объектами не зависит от положения начала координат, поворота координатных осей и одновременного умножения их значений на одну и ту же величину. Но независимые изменения масштабов разных координат меняют вклад, вносимый отдельными характеристиками в оценку и расстояния, и сходства. Так что сходство между объектами зависит от того, с какими весами учитываются разные характеристики. Меняя веса характеристик, можно подчеркнуть сходство или различие между заданными объектами, что обычно и делается при выборе информативных признаков и построении решающих правил в распознавании образов.

¹ *k* Nearest Neighbor (*k* Ближайших Соседей) — один из самых простых алгоритмов классификации, используемый также в задачах регрессии. *Прим. ред.*

Конкурентное сходство объектов с образами будем определять по тому же принципу, что и конкурентное сходство объектов с объектами:

$$F(z, A | B) = \frac{r(z, B) - r(z, A)}{r(z, B) + r(z, A)}.$$

При этом расстояние от объекта z до образов A и B может вычисляться по-разному. В качестве него может использоваться и расстояние $r(z, a)$ до ближайшего объекта a образа A , и среднее расстояние до всех объектов образа, и среднее расстояние до k ближайших объектов образа, и расстояние до центра тяжести образа и т.п. В дальнейшем, в качестве расстояния от объекта до образа по умолчанию будет использоваться расстояние до ближайшего объекта этого образа.

Сходство в шкале порядка, используемое в методе kNN, отвечает на вопрос «на объекты какого образа объект z похож больше всего?». Конкурентное сходство, измеряемое с помощью FRiS-функции, отвечает на этот вопрос и, кроме того, на вопрос «какова абсолютная величина сходства z с образом A в конкуренции с образом B ?». Оказалось, что дополнительная информация, которую даёт абсолютная шкала по сравнению со шкалой порядка, позволяет существенно улучшить методы анализа данных.

В таблице 1 приводится сравнение различных критериев для выбора информативных признаков. FRiS-критерий сравнивался с такими критериями выбора признаков как, Silhouette Width (SW), ошибка скользящего контроля по правилу ближайшего соседа (NN), критерий Фишера (Fisher) и RELIEF. Сравнение осуществлялось на двух сериях выборок. В первом случае образы были представлены нормальными распределениями, искусственно «испорченными» добавлением зашумленных и случайных признаков (V1). Во втором случае образы изначально имели сложную полимодальную структуру, которая маскировалась добавлением зашумлённых и случайных признаков (V2). Решалась задача выбора информативной подсистемы признаков. Для оценки эффективности того или иного критерия использовалась надёжность распознавания тестовой выборки в выбранном с помощью критерия признаковом пространстве.

Таблица 1 – Сравнение различных критериев для выбора информативных признаков

	V1			V2		
\N	50	100	150	50	100	150
FRiS	0.930308	0.938042	0.939497	0.818071	0.856152	0.866458
SW	0.924218	0.937614	0.943244	0.655248	0.690778	0.702515
NN	0.895255	0.894467	0.906625	0.735635	0.772785	0.80093
Fisher	0.935972	0.943948	0.942755	0.598515	0.60059	0.605303
RELIEF	0.899302	0.932148	0.930718	0.710267	0.754834	0.791442

Анализ представленных результатов позволяет заключить, что если в простых случаях унимодальных образов с небольшой зоной пересечения все критерии работают примерно одинаково, то в случае сложных полимодальных структур FRiS-критерий значительно опережает другие критерии.

Одним из способов проявить особенности данных в задаче распознавания является переход к их сжатому описанию с помощью множества эталонных представителей каждого образа, сохраняющему основные закономерности, необходимые для хорошего распознавания как объектов исходной выборки, так и новых объектов. Такие эталонные объекты будем называть *столпами*. Чем сложнее структура образов, чем сильнее они пересекаются, тем больше столпов потребуется для описания таких данных. Если удастся построить такое описание данных и перейти от образов A и B к множествам столпов этих образов S_A и S_B , соответст-

венно, то вычислять конкурентное сходство объекта z с образом A в конкуренции с образом B можно как $F(z, S_A|S_B)$. Вычисление конкурентного сходства не по всей выборке, а по её сжато описанию позволяет адаптировать данную меру к особенностям решаемой задачи.

Для построения сжатого описания данных в виде системы столпов используется алгоритм FRiS-Stolp [13]. Алгоритм работает при любом соотношении количества объектов к количеству признаков и при произвольном виде распределения образов. В качестве столпов выбираются объекты, которые обладают высокими значениями двух свойств: *обороноспособности* по отношению к объектам своего образа и *толерантности* по отношению к объектам других образов. Чем выше обороноспособность эталона, тем меньше будет ошибок первого рода (пропуск цели). Чем выше толерантность эталона, тем меньше будет ошибок второго рода (ложная тревога). Набор столпов считается достаточным для описания выборки, если сходство F всех объектов обучающей выборки с ближайшими своими столпами в конкуренции с ближайшими объектами других образов превышает пороговое значение F^* , например, $F^* = 0$.

Отметим некоторые особенности алгоритма FRiS-Stolp. Вне зависимости от вида распределения обучающей выборки столпами выбираются объекты, расположенные в центрах локальных сгустков и защищающие максимально возможное количество объектов с заданной надёжностью. При нормальных распределениях столпами в первую очередь будут выбраны объекты, ближайшие к точкам математического ожидания. Следовательно, при приближении закона распределения к нормальному, решение задачи построения решающих функций стремится к статистически оптимальному. Если распределения полимодальны и образы линейно неразделимы, столпы будут стоять в центрах мод. Сжатое описание образов через множество столпов также можно использовать для распознавания новых объектов.

2 FRiS-компактность. Алгоритм FRiS-GRAD

Практически все алгоритмы распознавания в том или ином виде основаны на использовании гипотезы компактности. При этом в зависимости от модели образы признаются компактными при выполнении одного из нижеперечисленных условий: если они имеют простую форму, разделяются границей простой формы, объекты одного образа похожи друг на друга и не похожи на объекты других образов. Для получения количественной оценки компактности каждого образа в отдельности и качества (информативности) признакового пространства предлагается использовать описанную выше FRiS-функцию, формализующую представление о компактности образа, в соответствии с которым «внутреннее» сходство его объектов друг с другом велико, а «внешнее» сходство с объектами других образов мало.

Действительно, для произвольного объекта $a \in A$ мера конкурентного сходства этого объекта со своим образом в конкуренции с образом B показывает, насколько этот объект похож на свой образ и не похож на образ B . Если эта величина для всех объектов образа A положительна, то можно считать данный образ компактным. Таким образом, вычисляя среднее значение FRiS-функции по всем объектам образа A , можно оценить компактность данного образа. Если при этом вычислять FRiS-функцию с опорой на столпы, то такая оценка компактности будет автоматически адаптироваться к особенностям данных.

Более формально процедура вычисления компактности для случая двух образов выглядит следующим образом.

- 1) С помощью алгоритма FRiS-Stolp строятся множества столпов S_A и S_B образов A и B .
- 2) Для каждого элемента $a \in A$ оценивается сходство с ближайшим столпом из множества S_A в конкуренции с ближайшим столпом из S_B . Затем вычисляется FRiS-компактность образа A в конкуренции с образом B :

$$C_{A|B} = \frac{1}{|S_A||A|} \left(\sum_{a \in A} F(a, S_A | S_B) - |S_A| \right).$$

Отметим, что количество столпов образа зависит от структуры распределения объектов и величины порога F^* : с ростом F^* увеличивается как число столпов, так и точность описания распределения, но растёт и сложность его описания, т. е. множитель $1/|S_A|$ является штрафом за структурную сложность образа.

- 3) Аналогично вычисляется величина $C_{B|A}$ FRiS-компактности образа B в конкуренции с A .
- 4) Далее получим оценку компактности образов A и B как усреднение величин $C_{A|B}$ и $C_{B|A}$:

$$C = C_{A|B} + C_{B|A}.$$

Умение оценивать компактность выборки полезно для нахождения информативной подсистемы признаков, так как величина компактности может использоваться как критерий качества набора признаков. В настоящее время преобладают задачи, в которых количество признаков N на порядки превышает количество объектов M . При этом информация, полезная для решения конкретной классификационной задачи, обычно представлена в нескольких признаках $n \ll N$. Выбор этих n признаков позволяет в дальнейшем не только существенно сократить затраты машинных ресурсов, но и повышает надёжность распознавания образов. Признаки могут зависеть друг от друга, что не позволяет по оценкам индивидуальной информативности каждого признака выбрать подмножество в виде списка из n наиболее информативных признаков. Если n задано, точное решение можно получить, проверив все сочетания из N признаков по n , что в реальных задачах часто практически невозможно. По этой причине используются эвристические алгоритмы направленного перебора, например, алгоритмы AdDel [7] или GRAD [8].

Величина FRiS-компактности используется в качестве критерия информативности в алгоритме выбора признаков FRiS-GRAD [14]. Данный критерий применим к любому виду распределений и любому соотношению M и N . Так как для вычисления FRiS-компактности требуется строить систему столпов, описывающую выборку в каждом из рассматриваемых подпространств, то можно считать, что алгоритм FRiS-GRAD формирует не только набор информативных признаков, но и решающее правило, представленное в виде системы столпов.

Для оценки эффективности алгоритма FRiS-GRAD проводилось его масштабное тестирование на девяти медицинских задачах, объектами в которых выступали пациенты с различными заболеваниями, а признаками — экспрессия генов, полученная с помощью микрочипирования. Особенностью этих задач была их плохая обусловленность, а именно: число признаков на несколько порядков превышало число объектов в выборке.

Результаты работы алгоритма сравнивались с более ранними результатами, полученными четырьмя наиболее часто используемыми алгоритмами распознавания (метод опорных векторов, межгрупповой анализ, байесовский классификатор и метод k ближайших соседей) в информативных подпространствах, выбранных десятью известными алгоритмами выбора признаков.

Для оценки качества работы алгоритмов использовалась перекрёстная проверка: 50% выборки использовалось для обучения, а на оставшихся 50% оценивалась надёжность распознавания. Все результаты (кроме относящихся к FRiS-GRAD) были взяты из [15], где для каждой задачи приводилось 40 различных вариантов решений, полученных всеми возможными сочетаниями алгоритмов. Для сравнения были выбраны лучшие результаты по каждой задаче. Результаты сравнения представлены в таблице 2. Здесь показаны: имя задачи, размерность признакового пространства N , отношение количества объектов первого образа $M1$ к количеству объектов второго образа $M2$ и два столбца результатов - ожидаемая надёжность

распознавания для лучшего сочетания алгоритмов и ожидаемая надёжность распознавания для алгоритма FRiS-GRAD.

Таблица 2 - Результаты решения девяти задач

Задачи	N	M1/M2	Рекорды	FRiS-GRAD
ALL1	12625	95/33	100.0	100.0
ALL2	12625	24/101	78.2	93.7
ALL3	12625	65/35	59.1	75.3
ALL4	12625	26/67	82.1	93.7
Prostate	12625	50/53	90.2	94.1
Myeloma	12625	36/137	82.9	93.9
ALL/AML	7129	47/25	95.9	100.0
DLBCL	7129	58/19	94.3	96.0
Colon	2000	22/40	88.6	94.2
Average			85.7	93.4

Анализ представленных результатов показывает уверенное превосходство алгоритма FRiS-GRAD перед наиболее популярными алгоритмами анализа данных при решении сложных, плохо обусловленных задач, в которых количество признаков на порядки превосходит количество объектов в выборке.

3 Оценка разделимости классов. Алгоритм FRiS-Censor

Алгоритм FRiS-Stolp наращивает количество столпов до тех пор, пока все объекты не станут надёжно защищенными. Надёжно защищённым считается объект, сходство которого с ближайшим столпом своего образа в конкуренции со столпами образа-конкурента превышает заданный порог F^* . Каждый столп с множеством надёжно защищаемых им объектов образует кластер. Но на последних шагах работы алгоритма возникают столпы, которые защищают малые количества объектов, вплоть до того, что они защищают только самих себя. На роль таких столпов могут попасть «шумовые» объекты (выбросы), свойства которых сильно отличаются от свойств остальных объектов образа. Иногда это говорит об уникальных свойствах таких объектов, однако, более часто причина отличий состоит во влиянии неучитываемых факторов, таких как сбой измерительных приборов, ошибки занесения данных в протокол и пр. Встречаются и объекты, которые не являются «ошибочными», но находятся на периферии распределения и оказываются глубоко в зоне пересечения с соседним образом. Они тоже могут неоправданно сильно усложнить решающие правила, делая их «вычурными». Таким образом, «погоня» за мелкими и единичными кластерами ведёт к переобучению.

Качество описания обучающей выборки (или оценка разделимости классов) зависит от набора выбранных эталонов. В случае, когда каждый объект выборки является столпом, информация о ней сохраняется полностью, но для распознавания такое описание не пригодно. О том, насколько хорошо некоторая система столпов описывает классы в заданном признаковом пространстве, будем судить по оценке качества описания обучающей выборки, опирающейся на понятие компактности.

В случае двух классов для каждого элемента обучающей выборки оценивается его сходство с ближайшим столпом своего образа в конкуренции с ближайшим объектом из конкурирующего образа и затем вычисляется качество описания обучающей выборки L столпами:

$$H(L) = \frac{1}{|S_A \cup S_B| |A \cup B|} \left(\sum_{a \in A} F(a, S_A | B) + \sum_{b \in B} F(b, S_B | A) \right).$$

При изменении количества столпов L меняется качество описания H обучающей выборки и ошибка распознавания E тестовой выборки. Выдвигается и проверяется гипотеза о том, что между функциями $H(L)$ и $E(L)$ имеется закономерная связь, используя которую можно найти такое количество столпов, что дальнейшее увеличение числа столпов ведёт к переобучению.

Проверка этой гипотезы проводилась на модельной задаче распознавания двух образов, каждый из которых представлял собой суперпозицию нескольких (от 2-х до 4-х) нормально распределённых кластеров в двумерном пространстве признаков. Рассматривалось 10 распределений, которые отличались друг от друга количеством образующих нормальных компонентов, их дисперсиями, координатами математических ожиданий и количеством объектов в компонентах. Каждый образ был представлен 250 объектами. При каждом распределении выборка 100 раз случайным способом делилась на две части: обучающую (по 50 объектов первого и второго образов) и контрольную (по 200 объектов каждого образа). Количество экспериментов при различных численных реализациях исходных данных было равно 1000.

Результаты отдельных экспериментов, приведенные на рисунке 2, служат подтверждением выдвинутого предположения. Таким образом, сформулирована и экспериментально подтверждена гипотеза о том, что точка перегиба кривой (первый локальный максимум функции H), описывающей разделимость классов, может служить сигналом о начале переобучения. Объекты, оставшиеся незащищёнными, считались выбросами и исключались из рассмотрения.

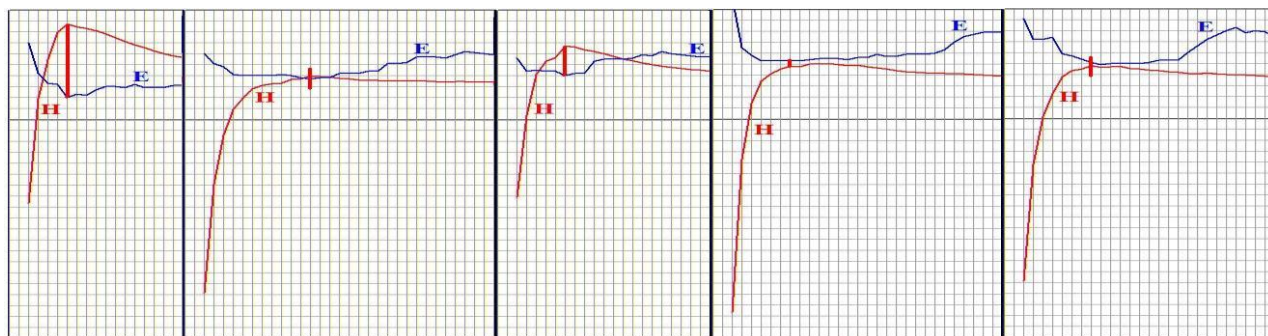


Рисунок 2 - Графики качества описания обучающей выборки (H) и графики ошибки распознавания (E) в зависимости от числа выбранных эталонов

Алгоритм FRiS-Censor [16], отыскивающий эту точку перегиба, позволил улучшить качество распознавания в сравнении со стандартным алгоритмом FRiS-Stolp на 3-5%. При этом число столпов, достаточных для описания выборки, снижалось в среднем в 3 раза относительно числа столпов, достаточных для защиты всех объектов выборки.

Заключение

Функция конкурентного сходства оказалась универсальным инструментом для разработки алгоритмов решения различных типов задач когнитивного анализа данных. Наиболее интересные и убедительные результаты работоспособности этой модели были получены для задачи выбора информативной системы признаков в случае плохо обусловленных задач сложной структуры. Помимо задач, описанных выше, с её помощью удалось решить задачу таксономии (алгоритм FRiS-Tax [17]), задачу частичного обучения (алгоритм FRiS-TDR [18]), задачу заполнения пробелов в двух- и трёхмерных таблицах данных (FRiS-ZET и 3D-ZET [19]). Все эти алгоритмы показали свою эффективность и активно используются для решения прикладных задач в самых разных областях.

Достижение таких результатов было бы невозможным без светлых идей и чуткого руководства Загоруйко Николая Григорьевича. Мы благодарны судьбе за возможность работать с этим удивительно талантливым и мудрым человеком. **Светлая ему память.**

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 14-01-00039.

Список источников

- [1] Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
- [2] Arkadev, A.G. Computers and Pattern Recognition / A.G. Arkadev, E.M. Braverman. - Thompson Book Company, 1967. – 115 p.
- [3] Vapnik, V.N. Statistical Learning Theory / V.N. Vapnik. – NY: Wiley-Interscience, 1998. – 740 p.
- [4] Журавлев, Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации / Ю.И. Журавлев // Проблемы кибернетики. – 1978. – Т. 33. – С. 5-68.
- [5] Ivakhnenko, A.G. Cybernetics and forecasting techniques / A.G. Ivakhnenko, V.G. Lapa. – NY.: Elsevir Publishing Company, 1967. – 168 p.
- [6] Шлезингер, М.И. Математические средства обработки изображений / М.И. Шлезингер. - К.: Наукова думка, 1989. – 198 с.
- [7] Загоруйко, Н.Г. Когнитивный анализ данных / Н.Г. Загоруйко. – Новосибирск: Академическое изд-во ГЕО, 2013. – 186 с.
- [8] Загоруйко, Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний / Н.Г. Загоруйко. – Новосибирск: Изд-во ИМ СО РАН, 1999. – 270 с.
- [9] Загоруйко, Н.Г. Методы распознавания и их применение / Н.Г. Загоруйко. – М.: Советское радио, 1972. – 208 с.
- [10] Zagoruiko, N.G. A quantitative measure of compactness and similarity in a competitive space / N.G. Zagoruiko, I.A. Borisova, V.V. Dyubanov, O.A. Kutnenko // Journal of Applied and Industrial Mathematics. – 2011. - V. 5. - №1. – P. 144-154.
- [11] Kira, K. The Feature Selection Problem: Traditional Methods and a New Algorithm / K. Kira, L. Rendell // Proc. 10 Nat. Conf. Artificial Intelligence (AAAI-92). - Menlo Park: AAAI Press, 1992. – P. 129-134.
- [12] Rousseeuw, P.J. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis / P.J. Rousseeuw // J. Comput. Appl. Math. – 1987. - V. 20. – P. 53-65.
- [13] Zagoruiko, N.G. A construction of a compressed description of data using a function of rival similarity / N.G. Zagoruiko, I.A. Borisova, V.V. Dyubanov, O.A. Kutnenko // Journal of Applied and Industrial Mathematics. – 2013. - V. 7. - № 2. – P. 275-286.
- [14] Zagoruiko, N. Attribute selection through decision rule construction (algorithm FRiS-GRAD) / N. Zagoruiko, I. Borisova, V. Dyubanov, O. Kutnenko // Proc. of 9 Intern. Conf. Pattern recognition and Image Analysis (PRIA-2008). – Nizhny Novgorod. 2008. V. 2. – P. 335-338.
- [15] Jeffery, I. Comparison and evaluation of methods for generating differentially expressed gene lists from microarray data / I. Jeffery, D. Higgins, A. Culhane // BMC Bioinformatics. – 2006. – DOI:10.1186/1471-2105-7-359. – <http://www.biomedcentral.com/1471-2105/7/359>. (актуально на 03.03.2015).
- [16] Загоруйко, Н.Г. Обучение распознаванию без переобучения / Н.Г. Загоруйко, О.А. Кутненко, А.О. Зырянов, Д.А. Леванов // Машинное обучение и анализ данных. – 2014. - Т. 1. - №7. – С. 891-901.
- [17] Борисова, И.А. Алгоритм таксономии FRiS-Tax / И.А. Борисова // Научный вестник НГТУ – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. - №3. – С. 3-12.
- [18] Borisova, I.A. Feature selection by using the FRiS-function in the task of generalized classification / I.A. Borisova, N.G. Zagoruiko // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2011. -V. 21. - №2. – P. 117-120.
- [19] Zagoruiko, N.G. Error detection and gap filling in cubes of data / N.G. Zagoruiko, V.V. Tatarnikov // Journal of Applied and Industrial Mathematics. – 2014. - V. 8. - Issue 3. – P. 444-451.

RIVAL SIMILARITY AS AN UNIVERSAL BASIC TOOL OF COGNITIVE DATA MINING

N.G. Zagoruiko, I.A. Borisova¹, O.A. Kutenko², V.V. Dyubanov³, D.A. Levanov⁴

Sobolev Institute of Mathematics, SB RAS

Design Technological Institute of Digital Techniques, SB RAS

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

¹biamia@mail.ru, ²olga@math.nsc.ru

Sobolev Institute of Mathematics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

³vladimir.dyubanov@gmail.com, ⁴levanovd@gmail.com

Abstract

During Data Mining tasks solving a person use a specific universal psycho and physiological cognitive technique. Key points of the technique are in a way of estimating a measure of similarity between objects and in necessity to maximize compactness and simplicity of a world description according to the measure. Nikolay Zagoruiko offered a measure of similarity, which takes into account a rival environment. In the paper the Function of Rival Similarity (FRiS-function) and some possibilities of its usage for patterns compactness and separability estimating are presented. These estimations are used in algorithms for solving classification (FRiS-Stolp algorithm), feature selection (FRiS-GRAD algorithm) and censoring (FRiS-Censor algorithm) tasks. Main ideas, some properties of the algorithms and their results on model and real tasks of data mining are described in the paper as well.

Key words: cognitive data mining, pattern recognition, feature selection, censoring, function of rival similarity.

Acknowledgment

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, investigations, project № 14-01-00039.

References

- [1] **Aivazian, S.A.** Prikladnaja statistika. Osnovy modelirovaniya i pervichnaya obrabotka dannyh [Applied statistics. Essential principles of modeling and data preprocessing / S.A. Aivazian, I.S. Enyukov, L.D. Meshalkin. – Moscow: Finansy i statistika, 1983. – 471 p. (In Russian).
- [2] **Arkadev, A.G.** Computers and Pattern Recognition / A.G. Arkadev, E.M. Braverman. - Thompson Book Company, 1967. – 115 p.
- [3] **Vapnik, V.N.** Statistical Learning Theory / V.N. Vapnik. – NY: Wiley-Interscience, 1998. – 740 p.
- [4] **Zhyravlev, U.I.** Ob algebraicheskom podhode k resheniju zadach raspoznavaniya ili klassifikacii [About algebraic approach to solving tasks of recognition and classification] / U.I. Zhyravlev // Problemy kibernetiki. – 1978. – V. 33. – P. 5-68. (In Russian).
- [5] **Ivakhnenko, A.G.** Cybernetics and forecasting techniques / A.G. Ivakhnenko, V.G. Lapa. – NY.: Elsevir Publishing Company, 1967. – 168 p.
- [6] **Shlezinger, M.I.** Matematicheskie sredstva obrabotki izobrazhenij [Math-based environment for image processing] / M.I. Shlezinger. – Kiev: Naukova dumka, 1989. – 198 p. (In Russian).
- [7] **Zagoruiko, N.G.** Kognitivnyj analiz dannyh [Cognitive data mining] / N.G. Zagoruiko. – Novosibirsk: Academic published house GEO, 2013. – 186 p. (In Russian).
- [8] **Zagoruiko, N.G.** Prikladnye metody analiza dannyh i znaniy [Applied methods of data and knowledge mining] / N.G. Zagoruiko. – Novosibirsk: Published house IM SB RAS, 1999. – 270 p. (In Russian).
- [9] **Zagoruiko, N.G.** Metody raspoznavaniya i ih primenenie [Methods of pattern recognition and their applications] / N.G. Zagoruiko. – Moscow: Sovetskoe radio, 1972. – 208 p. (In Russian).
- [10] **Zagoruiko, N.G.** A quantitative measure of compactness and similarity in a competitive space / N.G. Zagoruiko, I.A. Borisova, V.V. Dyubanov, O.A. Kutnenko // Journal of Applied and Industrial Mathematics. – 2011. - V. 5. - №1. – P. 144-154.

- [11] **Kira, K.** The Feature Selection Problem: Traditional Methods and a New Algorithm / K. Kira, L. Rendell // Proc. 10 Nat. Conf. Artificial Intelligence (AAAI-92). - Menlo Park: AAAI Press, 1992. - P. 129-134.
- [12] **Rousseeuw, P.J.** Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis / P.J. Rousseeuw // J. Comput. Appl. Math. - 1987. - V. 20. - P. 53-65.
- [13] **Zagoruiko, N.G.** A construction of a compressed description of data using a function of rival similarity / N.G. Zagoruiko, I.A. Borisova, V.V. Dyubanov, O.A. Kutnenko // Journal of Applied and Industrial Mathematics. - 2013. - V. 7. - № 2. - P. 275-286.
- [14] **Zagoruiko, N.** Attribute selection through decision rule construction (algorithm FRiS-GRAD) / N. Zagoruiko, I. Borisova, V. Dyubanov, O. Kutnenko // Proc. of 9 Intern. Conf. Pattern recognition and Image Analysis (PRIA-2008). - Nizhny Novgorod. 2008. V. 2. - P. 335-338.
- [15] **Jeffery, I.** Comparison and evaluation of methods for generating differentially expressed gene lists from microarray data / I. Jeffery, D. Higgins, A. Culhane // BMC Bioinformatics. - 2006. - DOI:10.1186/1471-2105-7-359. - <http://www.biomedcentral.com/1471-2105/7/359>. (valid on 03.03.2015).
- [16] **Zagoruiko, N.G.** Obuchenie raspoznavaniyu bez pereobucheniya / N.G. Zagoruiko, O.A. Kutnenko, A.O. Zyrjanov, D.A. Levanov // Mashinnoe obuchenie i analiz dannyh [Machine learning and data mining] - 2014. - V. 1. - №7. - P. 891-901. (In Russian).
- [17] **Borisova, I.A.** Algoritm taksonomii FRiS-Tax [FRiS-Tax algorithm of taxonomy] / I.A. Borisova // Nauchnyj vestnik NGTU- Novosibirsk: NSTU Publ., 2007. - №3. - P. 3-12. (In Russian).
- [18] **Borisova, I.A.** Feature selection by using the FRiS-function in the task of generalized classification / I.A. Borisova, N.G. Zagoruiko // Pattern Recognition and Image Analysis. - 2011. -V. 21. - №2. - P. 117-120.
- [19] **Zagoruiko, N.G.** Error detection and gap filling in cubes of data / N.G. Zagoruiko, V.V. Tatarnikov // Journal of Applied and Industrial Mathematics. - 2014. - V. 8. - Issue 3. - P. 444-451.

Сведения об авторах



Загоруйко Николай Григорьевич, (1931-2015). В 1953 году окончил с отличием электротехнический факультет Ленинградского института киноинженеров (ЛИКИ), получив диплом инженера-электрика по специальности «звукотехника». Работал в ЛИКИ, исследуя проблемы магнитной записи сигналов в запоминающих устройствах ЭВМ, в 1960 г. перешёл в Институт математики СО АН СССР. В 1962 году защитил кандидатскую диссертацию. Впоследствии занимался проблемами технической кибернетики, связанными с методами автоматического распознавания образов. В 1969 году защитил докторскую диссертацию.

Круг вопросов, рассматриваемых в 240 опубликованных им работах, достаточно широк. Вначале были работы, связанные с расчётами пространственных полей магнитных головок. Затем последовала большая серия работ по проблемам обмена устной информацией между человеком и машиной. В этой области созданная им в 1962 году лаборатория стала одним из ведущих научных коллективов в СССР. По инициативе Н.Г. Загоруйко в 1963 году была организована Всесоюзная школа-семинар по проблеме «Автоматическое распознавание слуховых образов» (АРСО), которая регулярно проводилась в течение почти 30 лет и объединяла в неформальный коллектив все ведущие научные организации СССР, связанные с исследованием речевых сигналов. Н.Г. Загоруйко был постоянным председателем Программного комитета АРСО, которая собиралась 17 раз в различных городах Союза. Тесное сотрудничество математиков, инженеров, психологов, акустиков и лингвистов позволяло советским учёным занимать ведущие мировые позиции в области распознавания и синтеза речи.

Занятия распознаванием речи естественным путем переросли в исследования задач распознавания образов и более общей проблемы автоматического обнаружения эмпирических закономерностей. Разрабатываемые Н.Г. Загоруйко и его сотрудниками методы автоматической классификации (таксономии), выбора информативных признаков, построения решающих функций, прогнозирования, обнаружения ошибок и заполнения пробелов в таблицах данных получили широкое применение в геологии, медицине, генетике, экономике, гидроакустике и во многих других прикладных областях.

В течение 2-х лет Н.Г. Загоруйко возглавлял группу исследователей в Международной лаборатории искусственного интеллекта в Братиславе, читал лекции в ряде зарубежных университетов (Королевский технологический институт, Швеция; Южно-Калифорнийский университет, США; Вроцлавский университет, Польша;

Киотский университет, Япония и др.). Н.Г. Загоруйко работал профессором НГУ с 1969 года, в течение 8 лет был проректором НГУ по научной работе. Среди его учеников 22 кандидата и 6 докторов наук.

С 2007 года был сопредседателем Программного комитета конференции «Знания-Онтологии-Теории» (ЗОНТ), с 2011 года - членом редколлегии журнала «**Онтология проектирования**».

Активная жизненная позиция отличала Николая Григорьевича не только в науке. Он был одним из организаторов клуба межнаучного общения «Под интегралом», директором Молодежного научно-производственного объединения «Факел», одним из инициаторов антиалкогольного общественного движения в Советском Союзе. Он являлся мастером спорта СССР и судьей Всесоюзной категории по современному пятиборью, был солистом ансамбля ЛИКИ.

Н.Г. Загоруйко был награжден Орденом Знака Почёта, двумя серебряными медалями ВДНХ СССР.

Nikolay Grigorevich Zagoruiko (1931-2015) graduated from the Leningrad Institute of Motion-picture Engineers in 1953. Received candidate's (in 1962) and doctoral (in 1969) degrees in pattern recognition. In 1988-1990 had been heading a project in the International Laboratory of Artificial Intelligence in Bratislava (Slovakia). He was a chief researcher at the Laboratory of Data Mining at the Institute of Mathematics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. He was Professor at Novosibirsk State University. He was co-author more 200 scientific articles and monographs in the field of DM and AI.



Борисова Ирина Артемовна, 1978 г. рождения. Окончила Новосибирский государственный университет в 2002 г., к.т.н. (2008). Старший научный сотрудник лаборатории анализа данных Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН. В списке научных трудов более 60 статей, в области анализа данных и распознавания образов.

Irina Artemovna Borisova (b. 1978) graduated from the Novosibirsk State University in 2002, C. Sc. Eng. (2008). She is a senior researcher of the Laboratory of Data Mining at the Institute of Mathematics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. She is a co-author of more than 60 publications in the field of Data Mining and Pattern recognition.



Кутненко Ольга Андреевна. Родилась в 1958 г. Окончила в 1980 г. Новосибирский государственный университет. В 2000 г. защитила кандидатскую диссертацию. Старший научный сотрудник лаборатории анализа данных Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН. Автор более 70 научных работ. Научные интересы: анализ данных, обнаружение эмпирических закономерностей, распознавание образов.

Olga Andreevna Kytlenko (b. 1958) graduated from the Novosibirsk State University in 1980, C. Sc. Eng. (2000). She is senior researcher of the Laboratory of Data Mining at the Institute of Mathematics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. She is co-author of more than 70 publications in the field of Data Mining and Pattern recognition.



Дюбанов Владимир Владимирович, родился в 1981 г. Окончил магистратуру Новосибирского государственного университета в 2004 г. С 2004 года является сотрудником лаборатории анализа данных Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН. Соавтор 17 статей. Научные интересы: анализ данных, машинное обучение.

Vladimir Vladimirovich Dyubanov (b. 1981) graduated from magistrate of Novosibirsk State University in 2004. Since 2004 had worked at Laboratory of Data Mining at the Institute of Mathematics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. Co-author of 17 articles. Research interests include data analysis, machine learning.



Леванов Дмитрий Александрович. Родился в 1989 г. Окончил в 2012 г. Новосибирский государственный университет. Аспирант лаборатории анализа данных Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН. Автор 3 статей. Научные интересы: анализ данных, обнаружение эмпирических закономерностей, распознавание образов.

Levanov Dmitry Alexandrovich, (b. 1989) graduated from Novosibirsk State University in 2012. Post-graduate at Laboratory of Data Mining at the Institute of Mathematics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. Author of three articles. Research interests include data analysis, information retrieval and image recognition.

УДК 004.93

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ ПРИ СОЗДАНИИ АРТЕФАКТОВ КАК МЕТАФОРА И КАК ПРИКЛАДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Н.М. Боргест*Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет), Самара, Россия**Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия
borgest@yandex.ru*

Аннотация

Онтология в информатике как эксплицитная спецификация концептуализации, где в качестве концептуализации выступает описание множества объектов и связей между ними, по своей сути является методологической основой в используемых и разрабатываемых методах распознавания образов. Онтологию проектирования, ставящую своей целью дальнейшую формализацию проектной деятельности, можно рассматривать с позиций инструментария, позволяющего распознать образ будущего изделия или системы в той проектной среде и той проектной ситуации, которые складываются в конкретный момент времени. В статье исследуются возможности использования аналогий в применении процессного подхода в таких видах деятельности, как проектирование и распознавание. Предлагается метод построения образа будущего артефакта на основе матрицы проекта этого объекта с применением мультиагентной технологии при её формировании и заполнении. Метод ориентирован на традиционные схемы и типы артефактов, которые могут быть конфигурированы в виде первоначально пустой матрицы, заполнение или распознавание которой осуществляется по мере накопления данных в процессе проектирования.

Ключевые слова: онтология, распознавание образов, методы формализации, матрица проекта, мультиагентные технологии.

Введение

В последние годы накопленные знания и практики проектирования позволили активизировать научные исследования в области интеллектуализации систем проектирования, автоматического синтеза новых решений [1-8]. Аналогичная картина складывается в области автоматического распознавания и, в частности, разрабатываемых соответствующих роботизированных систем. Важно также отметить, что наблюдается ускорение процесса дифференциации науки в целом, появления новых научных дисциплин и интеграции уже выделившихся научных направлений. Каждый раз это обусловлено различными возникающими условиями, которые определяют потребность рассматривать изучаемый объект целиком или по частям [9]. Подобные ускоренные процессы идут также и с видами деятельности, технологиями и практиками, когда на определённом этапе оказывается, что внешне далёкие и разошедшиеся друг от друга исследовательские деятельности оказываются близкими по содержанию выполняемых процедур и операций. При этом сами методики, алгоритмы и технологии в «физическом» плане значительно разнятся.

В статье рассматривается возможность использования аналогий при применении процессного подхода в таких видах деятельности как проектирование и распознавание образов. Предлагается метод построения образа будущего артефакта на основе матрицы проекта этого

объекта, формирование и заполнение которой осуществляется на основе мультиагентной технологии. Структура матрицы проекта контурно напоминает морфологическую таблицу, позволяющую вместить все возможные реализации проектируемого объекта [10]. Метод ориентирован на известные, изученные, традиционные схемы и типы артефактов, которые могут быть конфигурированы в виде первоначально пустой матрицы, заполнение или «распознавание» которой осуществляется по мере накопления данных в процессе проектирования.

Но начать дискуссию предлагается с более общей темы – это противопоставление строгих, проверяемых, так называемых, научных методов и простых, дающих быстрый результат, инженерных методов принятия решений. При этом стоит отметить, что в основе науки лежит познавательная деятельность, а в инженерной практике или инженерии – созидательная деятельность. Соответственно продуктом или результатом науки являются новые знания, а у инженерии – артефакты, построенные для удовлетворения текущих потребностей и созданные с использованием, в том числе, и научных знаний: выявленных закономерностей, построенных моделей. Научная среда – среда абстракций и умозаключений, среда инженерии ситуационно адаптируется к реальным условиям бытия, где человек включён в неё, часть этой среды.

1 Engineering vs. Science

Все процессы, будь то проектирование, производство или научный поиск, протекают во времени. **Время** – это тот ресурс, который *всегда ограничен*, независимо от того, какими знаниями и методами мы располагаем для решения конкретных задач в данный момент. Поэтому допустимое решение, удовлетворяющее основным требованиям и полученное в разумное или минимальное время, уже является *рациональным*. Обоснованность этого решения обусловлена теми данными и теми предпосылками и условиями, которые были на тот момент времени, когда нужно было найти решение заданной задачи. Говорить об оптимальности найденного решения можно лишь с позиций того, кто ввёл это понятие. Лейбниц ещё в XVIII веке писал, что существующий мир есть оптимум, т.е. «лучший из возможных миров», так как результат многочисленных процессов, происходящих в этом мире, привёл к тем решениям, которые реализовались в действительности, которые выжили и тем самым доказали своё преимущество перед другими возможными вариантами реализации. Поэтому допустимость – это существенный и неотъемлемый элемент понятия «оптимум», так как наилучшее может быть (а, пожалуй, чаще всего так и бывает) и невозможным. Профессор Стэнфордского университета Д. Уайлд писал: «Большинство инженеров удовлетворяется получением решения, достаточно близкого к оптимальному, предпочитая не тратить время на поиски путей к абсолютному и вряд ли достижимому совершенству» [11, с.13]. Контекстно зависимое Грибоедовское «хорошо там, где нас нет» не только психологическая оценка недостижимости лучшего, а констатация извечного компромисса в рассматриваемых критериях оценки тех или иных решений.

Наука способна (или нет) дать метод поиска оптимального или рационального решения, но только при известных фиксированных условиях, которые можно повторить. Главное условие для науки – это возможность повторности (или повторяемости) результата эксперимента, в котором могут быть получены те же данные, что и в предыдущем опыте.

В реальной жизни «войти в ту же реку» невозможно, так как меняются условия, данные, ситуации, которые неповторимы в принципе в абсолютном течении времени.

В простых физических моделях, где можно обеспечить неизменность начальных условий, наука, её аппарат, её методы работают хорошо, так как свойства исследуемых объектов слабо зависят от односторонне протекающего абсолютного времени.

В социальных, биологических и связанных с ними моделях (социально- и биотехнических), в моделях, в которых абсолютное время присутствует в явной форме, когда все процессы протекают эксклюзивно и необратимо, этого добиться не удаётся. Здесь время выступает как фактор, изменяющий среду, условия, данные, включая онтологию самой предметной области. Онтологические модели здесь не статичны, они изменяются со временем. Вместе с нами изменяется и наше собственное представление под влиянием новых факторов, новых данных и прочих обстоятельств.

Попытки повторить инженерный эксперимент в новых условиях в таких динамичных предметных областях не приведёт к тем же результатам. Если, конечно, не ставить цель воспроизвести, попытаться реконструировать «абсолютно» все обстоятельства. Однако новый автомобиль может походить в чём-то на предыдущий, но никогда не будет таким же. Параметры и характеристики нового артефакта всегда отличны, так как используемые знания и данные для его создания стали существенно иные. Туполев, равно как любой другой авиаконструктор, никогда бы не смог, да и не стремился «повторить» самолёт, новый проект всегда отличался, вбирал в себя полученные новые знания, технологии, материалы. В этом, пожалуй, и состоит главное отличие инженерии от науки. Инженерия не стремится и не повторяет решения, как и природа, она эволюционирует вместе с ней.

Наглядным примером эволюционных методов могут служить развивающиеся мультиагентные технологии, которые находят широкое применение в различных областях человеческой деятельности во многом благодаря тому, что эти технологии позволяют найти за приемлемое время решение, устраивающее участников моделируемого процесса. Рост числа научных конференций и публикаций за последние годы (см. рисунок 1) подтверждает интерес к мультиагентным технологиям и надежду, связанную с практическим использованием результатов мультиагентного моделирования.

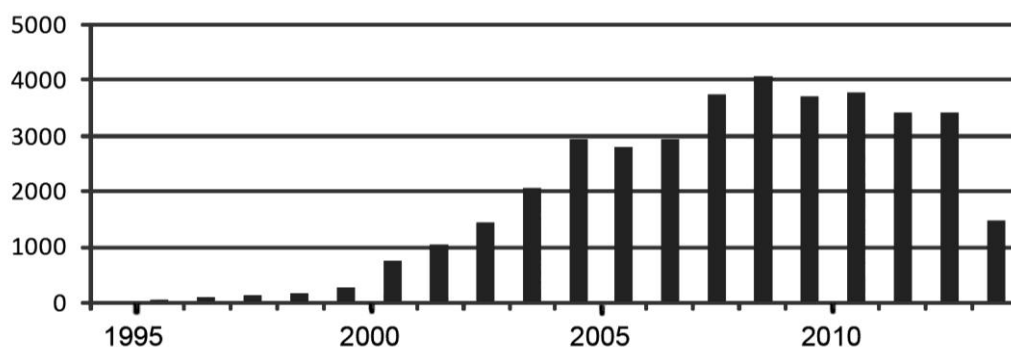


Рисунок 1 – Количество публикаций по годам в изданиях, индексируемых Scopus, по ключевому слову multi-agent (по данным на август 2014 года)

В этих технологиях программные агенты моделируют интересы сущностей, участвующих в процессах, в реальном масштабе времени. Повторить «эксперимент», решить «заново» возникшую¹ задачу можно лишь зафиксировав ситуацию со всеми теми данными, которые были уже в прошедший момент времени. Удовлетворить научный интерес «оптимальности» решения можно, но практического значения полученный ответ на вопрос: «Когда же поку-

¹ Именно *возникшую*, а не *поставленную* задачу с фиксированными и неизменными условиями. В инженерной практике постановка задачи меняется динамически вместе со средой, и зафиксировать её не удастся. Поэтому реальная задача возникает (или случается) с параметрами, которые трудно или невозможно определить за требуемое для её решения время.

пать или продавать валюту (самолёт, газету, пароход)?» - иметь уже не будет. Так как ситуация с тех пор существенно фактически изменилась.

2 Онтология распознавания образов

Разрабатываемые методы и технологии распознавания образов традиционно ориентированы на системы искусственного интеллекта. Онтологии, как способ формализации и представления знаний в таких системах, всё больше привлекают исследователей для описания своих предметных областей (ПрО) и решаемых в них задач [12-18]. Тезаурус и глоссарий ПрО [12-14], онтологии систем распознавания изображений [15-17], онтология и эпистемология синергетики [18] развивают современное представление о сущности когнитивного процесса. При этом упор всегда не просто на «передачу информации, а в ориентации ориентируемого в его собственной области» [18].

Онтологии анализа изображений [13] необходимы для:

- выработки и фиксации общего понимания рассматриваемой области знания;
- представления знания в виде, удобном для их обработки автоматизированными системами анализа изображений;
- обеспечения возможности получения, накопления новых знаний и многократного их использования.

Онтология опирается на «сущностные свойства объектов или их частей, заключенных в признаках» [17]. Для этого «вводится классификация», строятся «модели классов объектов», вводится «пространство признаков и взаимный анализ расстояний между объектами и классами» [17].

Распознаванию и проектированию как видам деятельности присуще наличие цели. Под целевой направленностью человеческого распознавания понимается познание предмета, явления, процесса, состояния. Поэтому в распознавании целью является «деятельность, направленная на объект распознавания» [17]. При этом в постановке задачи распознавания цель «является смысловым описанием операции или совокупности операций, которые должны быть произведены над исходными данными» [12], где исходные данные – это данные, над которыми производятся операции в процессе решения задач.

Схожесть рассматриваемых видов деятельности заключается не только в наличии целей, но в необходимости наличия обобщенных моделей распознаваемых и проектируемых объектов, имеющих выявленные признаки и способы их идентификации.

3 Важные понятия

Приступая к сопоставительному онтологическому анализу и распознавания, и проектирования, следует опереться на существующие понятия этих видов деятельности, различные их определения, а также на трактовки входящих в них важных сущностей.

Проектирование – вид научно-технической деятельности, представляющий из себя процесс определения (исследование, поиск, прогноз, выбор, расчет) основных параметров и характеристик объектов проектирования, необходимых для конструирования, т. е. для разработки конструкции, материализуемой в процессе изготовления [19].

Распознавание – моделирование, существо которого состоит в замене объектов и их классов моделями, называемыми образами и обобщёнными образами, в исследовании принадлежности образа неизвестного объекта обобщённым образам классов, в выделении из них наиболее близкого обобщённого образа (модели класса) и в распространении полученного

результата на принадлежность самого неизвестного объекта соответствующему классу заданного алфавита [14].

Образ – модель объекта, предъявляемого ... человеку или автомату, идеальная для человека и реальная для автомата, построенная на основе описания его сущностных свойств, инвариантных к условиям распознавания [14].

4 Распознавание как метафора проектирования

Проектант, создающий новый артефакт и движимый не всегда чётко обозначенной, полностью определённой потребностью, формирует первоначально некий образ или мыслимую модель будущего артефакта. Причём этот образ сначала нечёткий с расплывчатыми параметрами и функционалом. Затем, по мере раскрытия неопределённости в процессе проектирования, его модель от идеи и первоначальной концептуальной схемы «прорисовывается» и детализируется в эскизном и техническом проектах изделия и далее в соответствующей рабочей документации.

Предметность, целостность и обобщенность перцептивного образа изображений, о которых пишут психологи и философы [18, 20], соответствуют подобным свойствам и характеристикам образа будущего объекта, который формируется на основе онтологий ПрО и онтологий задач, решаемых создаваемым и участвующим в этой области артефактом.

Целеполагание распознавания состоит в идентификации, классификации, восприятии и, в конечном итоге, понимании сущности предъявляемых объектов на основе построенных моделей. Для сопоставления понятий распознавание и проектирование можно воспользоваться методом аналогий, когда сравниваются понятия управление и проектирование [19]. В данном случае, говоря о принципиальном различии исследуемых здесь понятий, можно утверждать лишь, что *«распознать можно то, что уже есть»*, а *«проектируют то, чего ещё нет»*.

При этом используемые модели образов объектов распознавания и проектирования являются основой и в той, и в другой деятельности.

На рисунках 2 и 3 показаны условные сценарные кадры процессов распознавания (рисунок 2) и проектирования (рисунок 3) объекта на примере самолета. Результатом в первом случае является опознанный (или распознанный) самолет конкретной марки, во втором случае спроектированный самолет с конкретными характеристиками.

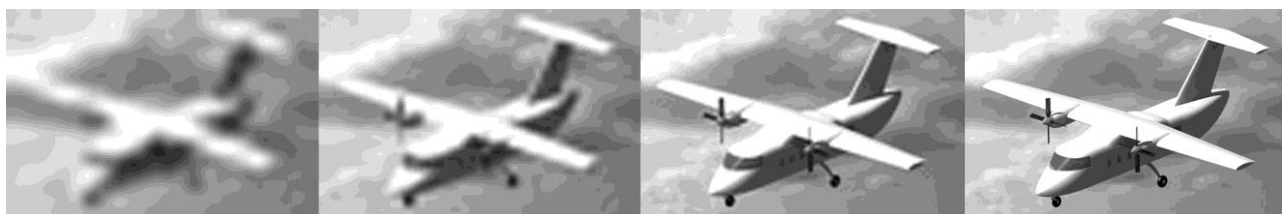


Рисунок 2 – Распознавание объекта (самолета)



Рисунок 3 – Проектирование объекта (самолета)

Человек или созданный им автомат, осуществляя распознавание, пытаются использовать тот набор известных признаков и ту имеющуюся у них классификацию, на основании которых производится сопоставление идентифицируемого объекта и возможной его модели. Первоначальный нечёткий образ картинке «проявляется» после подбора соответствующих и приемлемых для имеющихся исходных данных изображения.

Аналогично при проектировании на основании данных технического задания на проектируемый артефакт осуществляется первоначальный выбор общих схемных решений. Эти решения базируются на выявленных признаках проектируемого объекта и их возможных значений. Затем по мере выполнения расчётных исследований, аналитической и информационно-поисковой работы осуществляется разработка агрегатного и далее детального этапов формирования целостной конструкции объекта. Полученная в процессе накопления проектных данных модель артефакта должна подтвердить удовлетворение поставленным перед проектантом требованиям и заданным критериям на создаваемый артефакт.

5 Модель объекта – матрица проекта

При работе с изображением используют понятие фундаментальной матрицы. В работе [21] для нахождения фундаментальной матрицы предлагается новый подход, основанный на согласованной идентификации.

На начальном этапе формирования образа будущего объекта он может быть представлен моделью, которая контурно напоминает матрицу основных признаков объекта проектирования. При этом сама математическая модель объекта хранится в виде матрицы проекта. Матрица проекта содержит в себе всё описание объекта, соответствующее определённому этапу его проектирования. Структура матрицы проекта контурно может напоминать морфологическую таблицу, позволяющую вместить все возможные реализации проектируемого объекта. Условно сам процесс проектирования объекта можно представить в виде процесса заполнения этой абстрактной матрицы, которая по её наполнению будет содержать всё описание этого объекта или системы.

Первоначально матрица проекта пуста. После получения технического задания на проектирование начинается заполнение этой матрицы данными, первыми из которых как раз и являются значения данных самого технического задания. На рисунке 4 показана условная идеализация такой матрицы проекта, в которой строки представляют собой векторы данных (a_{nm}), связанных с определённым этапом или шагом в сценарии или алгоритме проектирования. Первый столбец матрицы фактически определяет порядок или сценарий проектирования объекта (заполнения матрицы проекта), состоящий условно из n шагов. Например, первая строка – это данные технического задания на проектирование самолета (a_{11} = дальность, a_{12} = число пассажиров...), остальные строки – результат выбора и расчёта основных параметров и характеристик самолёта (например, a_{31} = тяга двигателя, a_{32} = расход топлива, a_{33} = масса двигателя и т.д.).

1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}			
2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	a_{28}	a_{29}	...
3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}						
4	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}	a_{46}	a_{47}	a_{48}		
...										
n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	a_{n4}	a_{n5}	...				

Рисунок 4 – Матрица проекта

Проектирование - процесс всегда итерационный. Это связано с тем, что начиная от этапа постановки задачи, до принятия окончательных решений невозможно определить и согласовать все взаимосвязанные и взаимозависимые данные между собой. Поэтому размер матрицы окончательно формируется лишь в результате итерационного согласования данных между собой.

Существует несколько способов заполнения матрицы проекта, аналогичных способам получения необходимой информации конструктором-человеком: использование внешних баз данных для нахождения справочной информации; выбор информации на основе трендов, построенных на основании статистики; математический расчёт необходимых параметров объекта на основе выявленных физических закономерностей и зависимостей. Структура матрицы проекта формируется динамически, то есть количество и длина её строк являются переменными величинами, зависящими от текущей интерпретации метамодел.

6 Мультиагентные технологии в проектировании

Информационной основой для синтеза при проектировании являются данные, отобранные из баз данных, а также данные, полученные в результате выполнения логических, расчётных модулей и их комбинаций. Заполнение матрицы начинается с внешних параметров из технического задания на проектирование объекта. Незаполненные ячейки матрицы, являясь своеобразными *агентами* соответствующих параметров, в автоматическом режиме инициируют выполнение надлежащих модулей. По мере доопределения их входных данных, то есть, как только в матрице появляется достаточно данных для выполнения некоторого модуля, он начинает выполняться. Выполнение независимых модулей может идти параллельно.

Примером синтеза данных с использованием расчётных модулей может служить запуск процедуры «Вычислить» [22]. В этом случае осуществляется анализ данных, содержащихся в матрице проекта, и вектора входных данных в расчётных процедурах. Если потребные для запуска какой-либо процедуры данные имеются в матрице проекта, то расчётный модуль автоматически выполняется, тем самым получая новые данные на выходе, которые автоматически заполняют свободные ячейки в матрице проекта. Процедура инициализации таких агентов осуществляется путём сканирования матрицы проекта на предмет наличия необходимых данных для запуска модуля.

Построение итоговой схемы, по которой осуществляется вычисление, производится на основе анализа имеющихся исходных данных, в частности по результатам соотнесения входных и выходных данных различных модулей (рисунок 5). Так, например, параметр y_{12} (взлетная масса самолета), являющийся результатом расчета в модуле 1, может являться исходным параметров x_{22} для модуля 2, который вычисляет y_{21} (массу шасси).

Расчетный модуль	Входные данные					Выходные данные				
	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	...	y_{11}	y_{12}			
1	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	...	y_{11}	y_{12}			
2	x_{21}	x_{22}				y_{21}				
3	x_{31}	x_{32}	x_{33}	x_{34}	x_{35}	y_{31}	y_{32}	y_{33}		
...										
m	x_{m1}	x_{m2}	x_{m3}			y_{m1}	y_{m2}			

Рисунок 5 – Матрица входных и выходных данных расчетных модулей

Рассматриваемые расчётные модули, вычислительные или сценарные продукционные правила или структурированные информационные запросы могут интерпретироваться как программные агенты, имеющие свои потребности (в исходных или входных данных) и возможности в виде полученных выходных данных (потенциальных ресурсах). Т.е. налицо, ставшая уже известной и широко применяемая ПВ-сеть (сеть потребностей и возможностей) [23], которая успешно решается средствами мультиагентной технологии.

7 Дискуссия

Предложенный мультиагентный подход по определению образа будущего объекта (распознавания его образа) на основе матрицы проекта работоспособен лишь для известного класса объектов и ориентирован на традиционные схемы и типы артефактов, которые могут быть конфигурированы в виде первоначально пустой матрицы проекта.

Возможно, что подход на основе аналогий будет также продуктивен и при решении проблем, стоящих перед распознаванием новых, доселе неизвестных объектов и при проектировании новых, ещё не существующих артефактов.

Благодарности

Работа выполнена при проведении исследований по теме «Разработка основ теории интерсубъективного управления с применением онтологических моделей ситуаций» в рамках государственного задания Институту проблем управления сложными системами РАН на 2013-2015 годы, а также при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации мероприятий Программы повышения конкурентоспособности Самарского государственного аэрокосмического университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2013-2020 годы.

Список источников

- [1] **Choudhary, A.K., Arnold, C.B.** Automated concept generation using branched functional models / Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference. Volume 1, Issue PARTS A AND B, 2010, p. 151-166.
- [2] **Chakrabarti, A., Shea, K., Stone, R., Cagan, J., Campbell, M., Hernandez, N.V., Wood, K.L.** Computer-based design synthesis research: An overview / Journal of Computing and Information Science in Engineering. Volume 11, Issue 2, 2011, Article number 021003.
- [3] **Pan, W., Chen, X., Gao, S.** Automatic shape adaptation for parametric solid models/ CAD Computer Aided Design. Volume 62, May 2015, P. 78-97.
- [4] **Böttcher, B., Moriz, N., Niggemann, O.** From formal requirements on technical systems to complete designs-a holistic approach/ Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. Volume 263, 2014, Pages 977-978. 21st European Conference on Artificial Intelligence, ECAI 2014; Prague; Czech Republic; 18 August 2014 through 22 August 2014; Code 110850.
- [5] **Chandrasegaran, S.K., Ramani, K., Sriram, R.D., Horváth, I., Bernard, A., Harik, R.F., Gao, W.** The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems/CAD Computer Aided Design. Volume 45, Issue 2, February 2013, P. 204-228.
- [6] **Hayes, C.C., Goel, A.K., Tumer, I.Y., Agogino, A.M., Regli, W.C.** Intelligent support for product design: Looking backward, looking forward/Journal of Computing and Information Science in Engineering. Volume 11, Issue 2, 2011, Article number 021007.
- [7] **Goel, A.K., Vattam, S., Wiltgen, B., Helms, M.** Cognitive, collaborative, conceptual and creative - Four characteristics of the next generation of knowledge-based CAD systems: A study in biologically inspired design/CAD Computer Aided Design. Volume 44, Issue 10, October 2012, P. 879-900.
- [8] **Zaripova, V., Petrova, I.** System of Conceptual Design Based on Energy-Informational Model/Advances in Intelligent Systems and Computing/ Volume 1089, 2015, Pages 365-372. 23rd International Conference on Systems Engineering, ICSEng 2014; Las Vegas, NV; United States; 19 August 2014 through 21 August 2014; Code 107141.

- [9] **Боргест, Н.М.** Научный базис онтологии проектирования / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. - № 1(7). - 2013. — с. 7-25.
- [10] **Боргест, Н.М.** Робот-проектант: фантазия и реальность/ Н.М. Боргест, А.А. Громов, А.А. Громов, Р.Х. Морено, М.Д. Коровин, Д.В. Шустова, С.А. Одинцова, Ю.Е. Князина// Онтология проектирования. - №4(6). - 2012. — с. 73-94.
- [11] **Уайлд, Д.** Оптимальное проектирование: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 272 с.
- [12] **Трусова, Ю.О.** Тезаурусное представление онтологии предметной области анализа изображений/ Ю.О. Трусова, В.Н. Белоозеров, И.Б. Гуревич//Материалы международной конференции Диалог'2004 - <http://www.dialog-21.ru/Archive/2004/Trusova.htm>.
- [13] **Гуревич, И.Б.** Тезаурус и онтологии предметной области «Анализ изображений» / И.Б. Гуревич, Ю.О. Трусова// II Всероссийская конференция «ЗНАНИЯ – ОНТОЛОГИИ – ТЕОРИИ» 20–22 октября 2009 г. Новосибирск - <http://math.nsc.ru/conference/zont09/reports/95Gurevich-Trusova.pdf>.
- [14] **Белозерский, Л.А.** Анализ и обработка априорной информации в конструировании систем автоматического распознавания (САРС) / Л.А. Белозерский, А.И. Шевченко. – Донецк.: «Наука і освіта», 2007. – 180 с.
- [15] **Курбатов, С.С.** Гибридная схема анализа изображений / С.С. Курбатов, А.П. Лобзин, К.А. Найденова, Г.К. Хахалин // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2012): материалы II Междунар. научн.-техн. конф. (Минск, 16-18.02.12). Минск: БГУИР, 2012. - с.327-334.
- [16] **Жукевич, А.И.** Использование онтологий при построении систем распознавания образов/А.И. Жукевич, Е.В. Олизарович, В.Г. Родченко // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2012): материалы II Междунар. научн.-техн. конф. (Минск, 16-18.02.12). Минск: БГУИР, 2012. - с.321-324.
- [17] **Белозерский, Л.А.** Введение в системы автоматического распознавания. – Киев: Наук. Думка, 2005. – 434 с.
- [18] **Онтология и эпистемология синергетики** / отв. ред. В.В. Аршинов, Л.П. Киященко – М.: ИФРАН, 1997. – 159 с.
- [19] **Боргест, Н.М.** Ключевые термины онтологии проектирования / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – 2013. - № 3(9). – С. 9-31.
- [20] **Веккер, Л.** Психика и реальность. Единая теория психических процессов. Часть III. Человек воспринимающий. Глава 9. Эмпирические характеристики перцептивного образа. // Центр гуманитарных технологий. 22.10.2010 - ISSN 2310-1792 - <http://gtmarket.ru/laboratory/basis/6487/6496#contents>.
- [21] **Гошин, Е.В.** Метод согласованной идентификации в задаче определения соответственных точек на изображениях / Е.В. Гошин, В.А. Фурсов // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36 № 1. - с.131-135.
- [22] **Боргест, Н.М.** Автоматизация предварительного проектирования самолета. – Самара: САИ, 1992. – 96 с.
- [23] **Виттих, В.А.** Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах / В.А. Виттих, П.О. Скобелев // Автоматика и телемеханика. – 2003. №3. – с.177-185.

PATTERN RECOGNITION IN DESIGNING ARTIFACTS IS AS METAPHOR AND AS AN APPLIED TECHNOLOGY OF ONTOLOGY OF DESIGNING

N.M. Borgest

*Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University)
Institute of Control of Complex Systems, RAS, Samara, Russia
borgest@yandex.ru*

Abstract

Ontology in computer science as an explicit specification of a conceptualization, which serves as a description of the conceptualization of a set of objects and relationships between them, is essentially a methodological basis used to develop methods of pattern recognition. Ontology of designing aims to achieve further formalization of the project activity. It can be considered from the standpoint of tools that allow to recognize the image of the future product or system to the project environment and the situation of the project, which are formed in a particular time. This article investigates the possibility of using analogies in the application of the process approach in activities such as design and pattern recognition. We propose a method of forming an image of the future artifact based on the matrix of the project of this object using the multi-agent technology to fill it up with data. The method focuses on traditional schemes and types of artifacts that can be configured in the form of the original blank template, filling or recognition is carried out on the accumulation of data in the design process.

Key words: ontology, pattern recognition, methods of formalization, the matrix of the project, multi-agent technology.

Acknowledgment

This work was conducted as a part of research on the topic "Development of the basic theory of intersubjective control using ontological models of the situations" within the state task for Institute of Control of Complex Systems RAS for 2013-2015, with support from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in the framework of implementation of the Program of improvement of the competitiveness of Samara State Aerospace University among the world's leading research and education centers for 2013-2020.

References

- [1] **Choudhary, A.K., Arnold, C.B.** Automated concept generation using branched functional models / Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference. Volume 1, Issue PARTS A AND B, 2010, p. 151-166. ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, IDETC/CIE2010; Montreal, QC; Canada; 15 August 2010 through 18 August 2010; Code 87065
- [2] **Chakrabarti, A. Shea, K., Stone, R., Cagan, J., Campbell, M., Hernandez, N.V., Wood, K.L.** Computer-based design synthesis research: An overview / Journal of Computing and Information Science in Engineering. Volume 11, Issue 2, 2011, Article number 021003
- [3] **Pan, W., Chen, X., Gao, S.** Automatic shape adaptation for parametric solid models/ CAD Computer Aided Design. Volume 62, May 2015, P. 78-97
- [4] **Böttcher, B., Moriz, N., Niggemann, O.** From formal requirements on technical systems to complete designs-a holistic approach/ Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. Volume 263, 2014, Pages 977-978. 21st European Conference on Artificial Intelligence, ECAI 2014; Prague; Czech Republic; 18 August 2014 through 22 August 2014; Code 110850
- [5] **Chandrasegaran, S.K., Ramani, K., Sriram, R.D., Horváth, I., Bernard, A., Harik, R.F., Gao, W.** The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems/CAD Computer Aided Design. Volume 45, Issue 2, February 2013, Pages 204-228
- [6] **Hayes, C.C., Goel, A.K., Tumer, I.Y., Agogino, A.M., Regli, W.C.** Intelligent support for product design: Looking backward, looking forward/Journal of Computing and Information Science in Engineering. Volume 11, Issue 2, 2011, Article number 021007
- [7] **Goel, A.K., Vattam, S., Wiltgen, B., Helms, M.** Cognitive, collaborative, conceptual and creative - Four characteristics of the next generation of knowledge-based CAD systems: A study in biologically inspired design/CAD Computer Aided Design. Volume 44, Issue 10, October 2012, Pages 879-900
- [8] **Zaripova, V., Petrova, I.** System of Conceptual Design Based on Energy-Informational Model/Advances in Intelligent Systems and Computing/ Volume 1089, 2015, Pages 365-372. 23rd International Conference on Systems Engineering, ICSEng 2014; Las Vegas, NV; United States; 19 August 2014 through 21 August 2014; Code 107141
- [9] **Borgest, N.M.** Nauchnyy basis ontologiya proektirovaniya [Scientific basis for the ontology of designing] //Ontology of designing, Issue 1(7), 2013. - pp. 7-25 (In Russian).
- [10] **Borgest, N.M.** Robot-designer: fantaziya i realnost [Robot-designer: fantasy and reality]/N.M. Borgest, A.A. Gromov, A.A. Gromov, R.H. Moreno, M.D. Korovin, D.V. Shustova, S.A. Odintsova, Y.E. Knyazihina. Ontology of designing. No.4(6) pp.73-94, 2012 (In Russian).
- [11] **Wilde, D.J.** Globally optimal design. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York - Chichester – Brisbane – Toronto, 1978.
- [12] **Trusova, Yu.O.** Tezaurusnoe predstavlenie ontologii predmetnoj oblasti analiza izobrazhenij [Thesaurus ontology representation of image analysis]/ Yu.O. Trusova, V.N. Beloozerov, I.B. Gurevich // Proceedings of International Conference Dialog' 2004 - <http://www.dialog-21.ru/Archive/2004/Trusova.htm> - (In Russian).
- [13] **Gurevich, I.B.** Tezaurus i ontologii predmetnoj oblasti «Analiz izobrazhenij» [Thesaurus and ontology "Image Analysis"] I.B. Gurevich, Yu.O. Trusova // II All-Russian Conference "Knowledge - Ontology - Theory" 20-22 October 2009 Novosibirsk - <http://math.nsc.ru/conference/zont09/reports/95Gurevich-Trusova.pdf> - (In Russian).
- [14] **Belozersky, L.A.** Analiz i obrabotka apriornoj informatsii v konstruirovani sistem avtomaticheskogo raspoznavaniya (SARS) [Analysis and processing of a priori information in the design of systems of automatic recognition (SARS)]. - Donetsk .: IPSHI "Nauka i osvita", 2007. - 180 p. - (In Russian).

- [15] **Kurbatov, S.S.** Gibrindnaya skhema analiza izobrazhenij [Hybrid scheme of the images analysis]/ S.S. Kurbatov, A.P. Lobzin, K.A. Naidyonova, G. K. Hakhalin // Open semantic technologies of design of intellectual systems (OSTIS-2012): Materials II Intern. Scien. - Tehn. Conf. (Minsk, 16-18.02.12). Minsk: BSUIR, 2012. - P.327-334. - (In Russian).
- [16] **Zhukevich, A.I.** Ispol'zovanie ontologii pri postroenii sistem raspoznavaniya obrazov [The use of ontologies in the designing of systems of recognition]/ A.I. Zhukevich, E.V. Olizarovich, V.G. Rodchenko // Open semantic technologies for designing intelligent systems (OSTIS-2012): Materials II Intern. Scien. - Tehn. Conf. (Minsk, 16-18.02.12). Minsk: BSUIR, 2012. - P.321-324. - (In Russian).
- [17] **Belozersky, L.A.** Vvedenie v sistemy avtomaticheskogo raspoznavaniya [Introduction to the systems of automatic recognition]. - Kiev: Science. Dumka, 2005. - 434 p. - (In Russian).
- [18] **Ontologiya i epistemologiya synergetiki** [Ontology and epistemology of synergy]/ Exec. Ed. V.B. Arshinov, L.P. Kiyaschenko - M.: IFRAN, 1997. - 159 p. - (In Russian).
- [19] **Borgest, N.M.** Kluchivye slova ontologiyi proektirovaniya [Key words of the ontology of designing]// Ontology of designing. - 2013. - № 3(9). - pp. 9-31. - (In Russian).
- [20] **Vekker, L.** Psikhika i real'nost'. Edinaya teoriya psikhicheskikh protsessov. CHast' III. CHelovek vosprinimayushij. Glava 9. EHmpiricheskie kharakteristiki pertseptivnogo obraza [Mind and Reality. Unified theory of mental processes. Part III. Man perceives. Chapter 9. Empirical perceptual characteristics of the image]// Centre for Humanitarian Technologies. 22.10.2010 - ISSN 2310-1792 - <http://gtmarket.ru/laboratory/basis/6487/6496#contents> - (In Russian).
- [21] **Goshin, E.V.** Metod soglasovannoy identifikatsii v zadache opredeleniya sootvetstvennykh toчек na izobrazheniyakh [Method of identification agreed to the problem of determining the corresponding points in the images]/ E.V. Goshin, V.A. Fursov // Computer Optics. - 2012. - V.36 № 1. - pp.131-135. - (In Russian).
- [22] **Borgest, N.M.** Avtomatizatsiya predvaritel'nogo proektirovaniya samoleta [Automation of the preliminary design of the aircraft]. - Samara: SAI. - 1992. - 96 p. - (In Russian)
- [23] **Vittikh, V.A.** Mul'tiagentnye modeli vzaimodeystviya dlya postroeniya setej potrebnostej i vozmozhnostej v otkrytykh sistemakh [Multi-agent interaction models for network construction needs and opportunities in open systems] / V.A. Vittikh, P.O. Skobelev // Avtomatika i telemekhanika. - 2003. No. 3. - pp.177-185 - (In Russian)

Сведения об авторе



Боргест Николай Михайлович, 1954 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт имени академика С.П. Королёва в 1978 г., к.т.н. (1985). Профессор кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), директор издательства «Новая техника», с.н.с. ИПУСС РАН. Член Международной ассоциации по онтологиям и их приложениям (IAOA). В списке научных трудов более 150 работ в области автоматизации проектирования и искусственного интеллекта.

Nikolay Mikhailovich Borgest (b.1954) graduated from the Kuibyshev Aviation Institute named after academician S.P. Korolev (Kuibyshev-city) in 1978, PhD (1985). He is a Professor at Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University), Director of «New Engineering» publishing house, Senior Research worker at IPUSS RAS. He is a member of the International Association for Ontology and its Applications, co-author of more 150 scientific articles and abstracts in the field of CAD and AI.

УДК 004.822:004.89

СЕМАНТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ, ОРИЕНТИРОВАННАЯ НА ЭКСПЕРТОВ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Ю.А. Загоруйко

*Институт систем информатики им. А.П. Ершова
Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
zagor@iis.nsk.su*

Аннотация

В статье представлена технология построения интеллектуальных систем, ориентированная на экспертов, т.е. специалистов в предметных областях, для которых разрабатываются системы. В качестве базиса представления знаний предлагается модель, интегрирующая взаимодополняющие друг друга методы и средства представления и обработки знаний следующих моделей: онтологической, сетевой, продукционной, недоопределённой и императивной при ведущей роли онтологической модели. Инструментальные средства, построенные на основе интегрированной модели, могут применяться для разработки широкого класса интеллектуальных систем. Для того чтобы сделать эти средства доступными для непосредственного использования экспертами, была предложена технология построения интеллектуальных систем, базирующаяся на специализированных оболочках, настроенных на определенные области знаний и классы задач. При этом сами специализированные оболочки могут создаваться инженерами знаний путем частичного заполнения баз знаний соответствующих универсальных оболочек с использованием включенных в них средств описания предметных знаний.

Ключевые слова: интегрированная модель представления знаний, онтология, интеллектуальная система, портал знаний, специализированная программная оболочка.

Введение

В связи с переходом к экономике знаний, когда основным фактором, определяющим развитие общества, становятся накопленные человечеством знания и умения, их доступность широкому кругу пользователей, всё более востребованными становятся интеллектуальные системы (ИС), особенно такая их разновидность, как системы, основанные на знаниях (СОЗ), и порталы знаний. Соответственно растут и потребности в эргономичных и эффективных средствах разработки такого класса систем.

Наиболее трудоемким и в то же время самым ответственным этапом разработки интеллектуальной системы является построение её базы знаний (БЗ) [1], которая, в конечном счете, определяет полезность и качество всей системы. В связи с этим определяющую роль играют модели и методы представления и обработки знаний, а также построенные на их основе инструментальные средства и технологии создания ИС.

В рамках работ по искусственному интеллекту накоплен широкий спектр моделей, методов и средств представления и обработки знаний. Сетевая модель предлагает для представления знаний такие средства, как семантические сети [2] и фреймы [3]. Первые используются в качестве универсальной памяти для хранения любой информации, которую можно представить в терминах объектов и отношений между ними. Фреймы, представляющие объектно-ориентированный подход в искусственном интеллекте, служат как для повышения уровня

представления знаний, так и для обеспечения возможности совместного использования декларативных и процедурных знаний. Продукционная модель [4] позволяет представлять знания экспертов в виде множества правил вида «ЕСЛИ-ТО» и организовывать на них логический вывод. В рамках парадигмы программирования в ограничениях [5] знания могут задаваться в виде системы ограничений на значения параметров моделируемых объектов. Недоопределённая модель [6], объединяющая методы программирования в ограничениях с аппаратом недоопределённых типов данных [7], дает возможность оперировать неточно заданными значениями и частично описанными объектами. Широкую популярность у разработчиков баз знаний получили онтологии [8–10], с помощью которых можно представить согласованную систему понятий моделируемой области знаний. В последнее время для разработки онтологий и баз знаний успешно применяются дескриптивные логики [11] и построенные на их основе языки и системы представления знаний.

На основе описанных выше моделей и методов созданы инструментальные системы, предназначенные для построения интеллектуальных систем и их баз знаний. Однако у этих систем имеется один важный недостаток – они, как правило, базируются только на одной модели представления знаний и снабжены каким-то одним из упомянутых выше средств. В то время как при создании прикладных ИС часто возникает необходимость их комплексного использования, поскольку ни одно из них, взятое в отдельности, не может обеспечить в полном объёме потребности разработки реальной прикладной системы. В связи с этим инструментальные средства разработки ИС должны включать различные взаимодополняющие друг друга методы и средства представления и обработки знаний.

Другим важным требованием к инструментальным средствам и построенным на их основе технологиям является то, что возможности представления и обработки знаний должны обладать высокой выразительной силой и гибкостью, быть понятными и простыми в использовании как для инженеров знаний – специалистов по представлению знаний, так и для экспертов – специалистов в конкретных предметных областях (ПО).

Такой эффект может быть достигнут только тогда, когда все необходимые методы и средства представления знаний будут объединены в одном формализме (модели и/или языке). Такая интеграция не только создаёт предпосылки для построения мощных баз знаний (за счёт совместного использования различных взаимодополняющих друг друга методов и средств), но и обеспечивает концептуальное единство создаваемых баз знаний (все компоненты БЗ становятся связанными общими понятиями).

На основе такого формализма могут быть созданы инструментальные средства, с помощью которых эксперты смогут сами строить базу знаний ИС в полном объёме, не прибегая к помощи посредников – инженеров знаний и программистов. Благодаря этому значительно упрощается разработка базы знаний ИС и повышается её качество. Кроме того, интеграция всех требуемых средств в рамках одной модели (языка) создаёт предпосылки для разработки на её основе эффективных прикладных ИС, так как устраняются неизбежные расходы ресурсов на организацию взаимодействия программных систем, реализующих отдельные методы и средства представления знаний.

В статье рассматриваются интегрированная модель представления знаний, объединяющие методы и средства нескольких различных моделей, построенные на основе этой модели инструментальные средства и технологии разработки ИС, ориентированные на экспертов.

1 Интегрированная модель представления знаний

1.1 Требования к модели представления знаний со стороны интеллектуальной системы

Вначале рассмотрим основные требования к интегрированной модели представления знаний (ИМПЗ-модели).

Для того чтобы модель представления знаний была пригодна для разработки широкого класса интеллектуальных систем, она должна обеспечивать представление всех видов знаний, необходимых для функционирования ИС.

Прежде всего, в базе знаний ИС необходимо представлять знания о ПО, в рамках которой будет функционировать система (см. рисунок 1). К ним относятся знания об основных сущностях (понятиях и объектах) ПО, а также знания о том, каким образом эти сущности связаны между собой. К последним относятся знания об отношениях, непосредственно связывающих понятия, а также более сложные виды знаний, представляющие различного рода зависимости между понятиями ПО, как логические, так и функциональные. В частности, при разработке большого класса ИС возникает необходимость в представлении знаний о ПО в виде правил «ЕСЛИ-ТО». Также довольно часто возникает потребность в представлении знаний в виде ограничений на значения параметров, описывающих некоторый объект или систему объектов. Для лучшего структурирования ПО и обеспечения более лаконичного её описания важно иметь возможность выстраивания понятий ПО в иерархию «общее-частное» и поддержки наследования свойств по этой иерархии.

Базы знаний большинства ИС также содержат конкретные знания из ПО (предметные знания), которые представляются в виде экземпляров понятий (конкретных объектов) и связей между ними – экземпляров отношений или ограничений, заданных на значениях атрибутов экземпляров понятий.

Другим важным типом знаний, которые нужно представлять в ИС, являются знания о задачах и способах их решения в рамках моделируемой ПО (методах и алгоритмах). Эти знания характеризуют проблемную область (ПрО) интеллектуальной системы. Такого рода знания могут быть как декларативными, так и процедурными. К первому типу относятся знания, описывающие пространство решаемых ИС задач, включая разбиение задач на подзадачи и связь подзадач с методами их решения, ко второму – знания, представляющие как методы решения задач, так и конкретные алгоритмы.

Кроме знаний, представленных в базе знаний, практически в любых ИС необходимо представлять знания, описывающие фрагмент действительности (ситуацию), который задает контекст и входные данные для задач, решаемых ИС. Такие знания, как и предметные знания, обычно представляются в виде экземпляров понятий и отношений и/или ограничений, заданных на значениях атрибутов экземпляров понятий.

При описании предметных знаний, контекста и входных данных задачи довольно часто возникает необходимость представлять знания об объектах, имеющих неточные значения атрибутов, путем задания оценок таких значений, например, в виде множеств возможных значений и/или ограничений на значения. Для представления таких знаний необходимо обеспечить возможность использования в экземплярах понятий атрибутов, имеющих недоопределённые значения, и задания экземпляров ограничений, связывающих такие атрибуты. Наличие указанного вида знаний создаёт потенциальную возможность уточнения значений таких атрибутов через механизм удовлетворения ограничений [5].

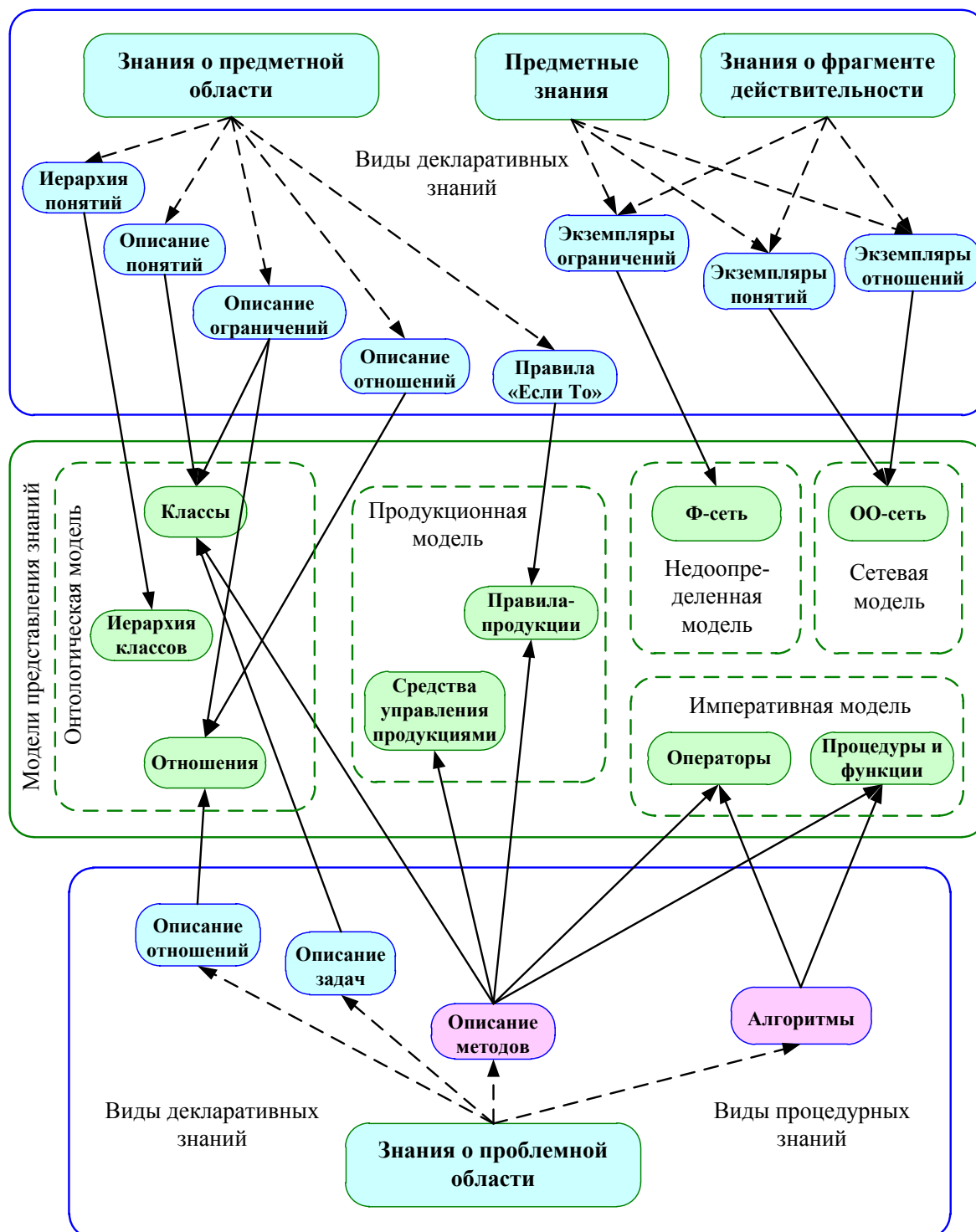


Рисунок 1 – Виды знаний и возможные способы их представления

Рассмотренные выше виды знаний, необходимые для полноценного функционирования ИС, не могут быть представлены средствами одной модели. Для этого требуются средства нескольких моделей представления знаний. Так, для представления знаний о предметной области требуется задействовать средства двух моделей – онтологической и продукционной (см. рисунок 1). Часть предметных знаний и знаний о фрагменте действительности может быть представлена средствами сетевой модели (в объектно-ориентированной семантической

сети), другая часть – средствами недоопределённой модели (в функциональной сети). Для представления знаний о проблемной области требуются средства трёх моделей – онтологической, продукционной и императивной.

Таким образом, возникает необходимость в модели представления знаний, которая обладает набором методов и средств, достаточным для представления в ИС всех необходимых знаний. Прежде всего, такая модель должна обеспечивать представление как декларативных, так и процедурных знаний, что является необходимым требованием, так как без представления этих двух типов знаний невозможна разработка полноценной ИС. Кроме того, она должна обеспечивать представление и обработку как точных, так и неточных (недоопределённых) данных, что сделает её пригодной для решения задач в условиях неопределённости знаний и данных.

1.2 Концепция и состав интегрированной модели представления знаний

Исходя из перечисленных выше требований, предложена концепция интегрированной модели представления знаний, которая объединяет различные взаимодополняющие друг друга средства и методы представления и обработки знаний следующих моделей: онтологической, сетевой, продукционной, императивной и недоопределённой. (Последняя включает аппарат недоопределённых типов данных и разработанный на его основе метод недоопределённых вычислительных моделей [7].) Выше было показано, что комбинация методов и средств представления знаний, предоставляемых этими моделями, является достаточной для представления в базе знаний ИС всех необходимых знаний.

Все средства представления и обработки знаний интегрированной модели объединены в рамках одного формализма. Такой подход обеспечивает возможность совместного использования всех средств интегрируемых моделей, а, следовательно, и совместного описания декларативных и процедурных знаний.

Формально ИМПЗ-модель может быть представлена шестеркой:

$$M_{IKRM} = \langle ONT, SN, FN, PS, IM, GM \rangle,$$

где:

- *ONT* – прикладная онтология, задающая описания основных сущностей (понятий и отношений) предметной (ПО) и проблемной областей (ПрО) приложения в виде классов объектов и отношений;
- *SN* – объектно-ориентированная семантическая сеть (ОО-сеть), свойства объектов и отношений которой определяются онтологией *ONT*;
- *FN* – функциональная сеть, включающая экземпляры ограничений, заданные на значениях атрибутов объектов семантической сети *SN*;
- *PS* – система правил-продукций, описанных в терминах классов и отношений онтологии *ONT* и операций над их экземплярами;
- *IM* – средства императивного программирования;
- *GM* – общий механизм вывода/обработки знаний и данных, представленных в ИМПЗ-модели, объединяющий механизмы вывода/обработки каждой из интегрируемых моделей.

Прикладная онтология *ONT* составляет базис интегрированной модели представления знаний, так как она определяет главные сущности моделируемых предметной и проблемной областей, которые используются всеми остальными средствами модели.

Дадим формальное описание прикладной онтологии:

$$ONT = \langle C, R_{In}, R, T, D, A_C, A_R, M_C, M_R, Cntr, P_R, R_{rev} \rangle,$$

где:

- $C = \{C_1, \dots, C_m\}$ – конечное непустое множество классов, описывающих понятия некоторой предметной или проблемной области;
- R_{In} , где $R_{In} \subseteq C \times C$ – строгий частичный порядок на множестве классов C , задающий отношение наследования;
- $R = \{R_1, \dots, R_n\}$, $R_i \subseteq C_j \times C_k$, $C_j \in C$, $C_k \in C$ – конечное множество бинарных отношений, заданных на классах C ;
- $T = \{T_1, \dots, T_t\}$ – множество типов данных;
- $D = \{d_1, \dots, d_p\}$ – множество доменов, таких что $d_i = \{s_1, \dots, s_k\}$, где s_i – значение некоторого простого типа T_j из T ;
- $A_C = \{a_1, \dots, a_r\}$, $a_j \subseteq C_k \times (T \cup D)$, $C_k \in C$ – конечное множество атрибутов, описывающих свойства классов C ;
- $A_R = \{a_1, \dots, a_v\}$, $a_j \subseteq R_k \times (T \cup D)$, $R_k \in R$ – конечное множество атрибутов, описывающих дополнительные свойства отношений R ;
- M_C , где $M_C : C \rightarrow 2^{A_C}$ – отображение, задающее связь классов C с атрибутами A_C ;
- M_R , где $M_R : R \rightarrow 2^{A_R}$ – отображение, задающее связь отношений R с атрибутами A_R ;
- $Cntr$ – множество ограничений, заданных на атрибутах классов, т.е. логических выражений вида $Exp_i(e_{i1}, \dots, e_{iw})$, где $e_{ik} \in A_i$ или $e_{ik} \in T_j$, т.е. e_{ik} либо имя атрибута, либо константа;
- P_R – множество математических свойств (симметричность, рефлексивность, транзитивность, антирефлексивность, антисимметричность)¹, которые могут быть заданы для отношений R ;
- R_{rev} , где $R_{rev} \subseteq R \times R$ – множество пар взаимнообратных отношений из R .

В онтологии ONT для каждого класса C_i может быть задан свой набор атрибутов $A_{C_i} \subseteq A_C$ и ограничений $Cntr_{C_i} \subseteq Cntr$, связывающих значения атрибутов объектов.

Благодаря включению в ИМПЗ-модель аппарата недоопределённых типов данных, все простые типы данных, входящие в T , имеют недоопределённые расширения, обеспечивающие возможность представления недоопределённых значений (н-значений в виде интервала или множества допустимых значений) и оперирования ими. Это позволяет, в частности, задавать атрибутам объектов ОО-сети н-значения.

С помощью ограничений $Cntr$ могут задаваться функциональные зависимости между атрибутами сущностей не только в описаниях классов объектов, но и отношений. (Заметим, что в описаниях бинарных отношений ограничения задаются на атрибутах их аргументов.) Такие ограничения представляют собой множество логических выражений (формул), связывающих арифметическими, теоретико-множественными и логическими операциями значения атрибутов одного или нескольких объектов. Следует заметить, что благодаря включению в ИМПЗ-модель метода недоопределённых моделей с помощью ограничений задаются не только условия корректности значений связанных ими атрибутов, но и функциональные интерпретации каждого из этих значений относительно других, что обеспечивает потенциальную возможность вычисления (уточнения) неизвестных (неточных) значений атрибутов через известные (или более точные).

¹ Здесь и далее автор оперирует далеко не полным набором свойств симметрии бинарных отношений. Прим. ред.

С помощью отношения R_{In} на классах онтологии может быть задана иерархия «общее-частное», по которой организуется наследование свойств (включая атрибуты, отношения и ограничения) вышестоящих классов нижестоящими, что повышает изобразительные возможности онтологии.

В зависимости от потребностей представления знаний о ПО любому бинарному отношению $R_k \in R$ может быть «приписано» одно или несколько не противоречащих друг другу математических свойств $P_k \in P$ из следующего набора: рефлексивность, симметричность, транзитивность, антирефлексивность, антисимметричность, а также задано обратное отношение.

Таким образом, прикладная онтология ONT , задавая комплексное описание понятий и отношений моделируемых ПО и ПрО в виде классов объектов и отношений, инкапсулирующих в себе семантические свойства и ограничения на свои атрибуты и аргументы, тем самым определяет структуру семантической и функциональной сети, с помощью которых представляются предметные знания и знания о задачах. Онтология также задаёт множество сущностей, в терминах которых описываются продукционные правила, реализующие процессы вывода и обработки информации.

Покажем соответствие между показанными на рисунке 1 видами знаний, которые необходимо представлять в базе знаний ИС, и средствами интегрированной модели, используемыми для их представления.

Конкретные знания о ПО, как и знания о моделируемом в ИС фрагменте действительности или контексте задачи представляются в семантической сети SN , включающей множество экземпляров классов (объектов) и отношений (см. рисунок 1). Для представления этого вида знаний также служат экземпляры ограничений, накладываемых на атрибуты объектов ОО-сети и хранимые в функциональной сети FN , связанной с ОО-сетью через атрибуты объектов. Для уточнения значений слотов объектов, ограничения на которые представлены в функциональной сети, используется метод недоопределённых вычислительных моделей.

Описание предметных знаний в виде правил «ЕСЛИ-ТО» средствами системы продукционных правил PS является естественным и удобным для многих областей. В интегрированной модели система продукционных правил работает над семантической сетью, состав понятий и отношений которой определяется онтологией. В связи с этим посылка и заключение любого правила могут описываться в терминах классов и отношений онтологии. Это позволяет не только удобно представлять экспертные знания в виде правил «ЕСЛИ-ТО», но и строить довольно мощные по своим изобразительным и операционным возможностям правила и с их помощью описывать на достаточно высоком уровне довольно сложные процессы вывода и обработки информации.

Знания о пространстве задач могут быть представлены в прикладной онтологии, где, во-первых, описываются типы задач и методов, предназначенных для их решения, и, во-вторых, задаётся разбиение задач на подзадачи и связь задач с методами их решения (знания второго вида также могут быть представлены средствами ОО-сети). При этом сами методы решения могут быть представлены продукционными правилами, объединёнными в группы и/или модули. Для этих целей в модель включаются средства структурирования множества правил и управления им, такие как операторы активации и деактивации групп правил, которые могут сочетаться с императивными средствами управления.

Для поддержки эффективной реализации методов и алгоритмов, а также обеспечения создания полноценных прикладных ИС в ИМПЗ-модель включены традиционные для императивной модели средства. Они применяются для разработки алгоритмов в случаях, когда их реализация другими средствами ИМПЗ-модели (например, продукционной модели) была бы

слишком неэффективной по времени и/или затратной по памяти, а также для реализации численных вычислений и обеспечения интерфейсных возможностей ИС.

Взаимосвязи интегрируемых моделей показаны на рисунке 2. Здесь видно, что сетевая и продукционная модели используют сущности, определённые в онтологической модели. В частности, структура и свойства элементов семантической сети определяются в онтологии, а посылки и заключения продукционных правил описываются в терминах классов и отношений онтологии. В свою очередь, средства оперирования, предоставляемые онтологической моделью, используют средства оперирования сетевой модели (для того, чтобы привести ОО-сеть в соответствие с текущим состоянием онтологии). Средства оперирования продукционной модели используют и функциональность сетевой модели (для сопоставления посылок правил с семантической сетью и выполнения действий над ней, определённых в заключении правил), и средства оперирования императивной модели. Кроме того, сетевая модель использует средства оперирования недоопределённой модели, а последняя – сущности, определённые в сетевой модели.

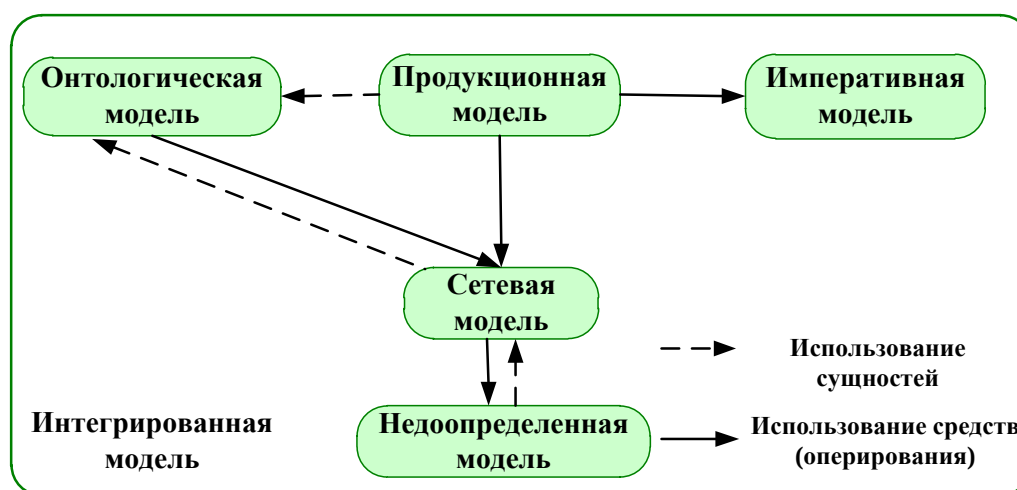


Рисунок 2 – Схема взаимодействия интегрируемых моделей

2 Язык представления и обработки знаний

Интегрированная модель представления знаний предоставляет средства для комплексного описания как декларативных, так и вычислительных свойств понятий и отношений некоторой области знаний, а также средства оперирования их экземплярами в продукционном и императивном стилях. Для доступа к этим средствам предложен язык представления и обработки знаний (ЯПОЗ). Этот язык обладает богатым набором типов данных, в том числе недоопределённых. Последние обеспечивают возможность представления недоопределённых значений атрибутов объектов в виде интервала или множества допустимых значений и оперирования ими. Благодаря этому на ЯПОЗ можно естественным образом описывать и решать задачи, в том числе, требующие сочетания логического вывода и вычислений над неточно заданными значениями.

ЯПОЗ включает средства для описания предметной области и средства для спецификации приложений, предназначенных для использования в рамках этой ПО. Первая группа средств позволяет описывать ПО в виде классов объектов и отношений онтологии, а также конструировать необходимые для этого новые типы данных и домены. Вторая группа средств предназначена для спецификации функциональности приложения, главным образом

в виде системы продукционных правил, работающей над семантической сетью, организовывать правила в группы и задавать порядок их активации. Кроме того, с целью поддержки разработки полноценных приложений в ЯПОЗ включены традиционные средства императивного программирования, а также средства, обеспечивающие разработку эргономичных пользовательских интерфейсов.

3 Инструментальные средства разработки интеллектуальных систем, основанные на интегрированной модели

Для ускорения и упрощения процесса разработки интеллектуальных систем широко применяется такой класс инструментальных систем, как программные оболочки ИС, представляющие собой интеллектуальные системы с пустой или частично заполненной базой знаний [12]. Достоинством оболочек является то, что разработка прикладных ИС на их основе не требует участия программистов, так как наполнение базы знаний входит в компетенцию инженеров знаний и экспертов.

На основе средств интегрированной модели представления знаний построены две программные оболочки – оболочка систем, основанных на знаниях (оболочка СОЗ), и оболочка порталов знаний.

3.1 Оболочка систем, основанных на знаниях

Оболочка систем, основанных на знаниях, предназначена для построения интеллектуальных систем традиционного типа, т.е. таких СОЗ, за процессы вывода и обработки информации в которых в основном отвечает система продукций. (Популярными представителями такого класса систем являются экспертные системы и системы поддержки принятия решений). В то же время благодаря тому, что такие СОЗ базируются на ИМПЗ-модели, они способны решать задачи, требующие сочетания логического вывода и вычислений над неточно заданными значениями.

Рассматриваемая оболочка включает типовую СОЗ с пустой базой знаний и средства спецификации базы знаний. В типовую СОЗ, кроме базы знаний, также входят интерфейс, обеспечивающий взаимодействие полученной системы с конечным пользователем и внешними подсистемами, и программное ядро, обеспечивающее реализацию процессов вывода и обработки информации в создаваемых СОЗ.

Базу знаний прикладной СОЗ составляет прикладная онтология, семантическая сеть, функциональная сеть, а также система продукций, определяющая основные процессы вывода и обработки информации в СОЗ.

Связанные между собой общими данными семантическая и функциональная сети играют роль основной памяти системы. В семантической сети представлены декларативные знания об объектах и отношениях между ними, в функциональной сети – вычислительные отношения, заданные на атрибутах объектов. Вид семантической и функциональной сети определяется понятиями и отношениями, введенными инженером знаний на этапе конструирования онтологии.

Программное ядро СОЗ включает интерпретатор продукционных правил, «императивную машину», отвечающую за выполнение команд обработки данных и управления, реализуемых в императивной парадигме программирования, семантический процессор, обеспечивающий выполнение всего комплекса операций над семантической сетью, и Н-процессор, реализующий процесс удовлетворения ограничений в функциональной сети.

Средства настройки базы знаний включают редактор онтологий, предоставляющий удобный интерфейс к менеджеру онтологий, отвечающему за создание, редактирование он-

тологии и доступ к ней; редактор семантической сети, обеспечивающий удобный интерфейс к семантическому процессору, с помощью которого создаётся начальное наполнение семантической сети, задающее контекст решения задачи или исходное состояние объекта (системы) управления, а также редактор правил, с помощью которого с использованием понятий и отношений, определённых в онтологии, создаются продукционные правила.

3.2 Оболочка портала знаний

Интегрированная модель представления знаний и базирующиеся на ней технологии могут быть применены не только для создания широкого класса систем, основанных на знаниях, но и для решения другой важной задачи – проблемы эффективного доступа к знаниям и информационным ресурсам, представленным в сети Интернет. Для этих целей предложена оболочка портала знаний (ПЗ), которая позволяет создавать специализированные системы – интернет-порталы, обеспечивающие интеграцию и систематизацию знаний и информационных ресурсов по требуемой тематике, а также содержательный доступ к ним.

Информационная модель такого портала базируется на интегрированной модели представления знаний, что позволяет представлять в нём разнородные знания и данные. Для удобства разработки в информационной модели выделяются два уровня. Первый уровень составляет онтология портала знаний, задающая понятия и существующие между ними отношения моделируемой области знаний, включая типологию соответствующих ей информационных ресурсов. Второй уровень представляет собой объектно-ориентированную семантическую сеть, содержащую информационные объекты (экземпляры понятий онтологии), которые связаны отношениями, определёнными в онтологии, т.е. второй уровень выступает как информационное наполнение или контент портала знаний. На основе данной информационной модели организуются удобная навигация по знаниям и информационным ресурсам, интегрированным в портале знаний, и содержательный поиск требующихся информационных объектов.

Оболочка портала знаний строится по тем же принципам, что и оболочка СОЗ. Она представляет собой типовой ПЗ и включает пользовательский интерфейс, базу знаний, программное ядро, состоящее из менеджера онтологий, семантического процессора и Н-процессора, а также средства настройки БЗ.

Управляемый онтологией пользовательский интерфейс представляет собой веб-приложение, обеспечивающее навигацию по знаниям и информационным ресурсам, представленным в онтологии и контенте ПЗ, а также содержательный поиск требующейся информации. Во время своей работы пользовательский интерфейс обращается к менеджеру онтологий и семантическому процессору, «поставляющим» ему необходимые данные.

Средства настройки базы знаний включают редакторы онтологий и контента, а также коллекционер онтологической информации (коллекционер ОИ).

Редактор контента, работающий под управлением онтологии, предоставляет экспертам удобные и разнообразные средства для управления контентом портала знаний.

Коллекционер ОИ предназначен для повышения степени автоматизации разработки контента ПЗ. Он выполняет сбор онтологической информации (расширенных метаданных) об информационных ресурсах и публикациях по тематике портала и согласованное пополнение ими контента ПЗ.

Вся работа по созданию конкретного портала знаний состоит в задании необходимых предметных знаний, т.е. онтологии области знаний и соответствующих ей информационных объектов и связей между ними, составляющих контент ПЗ, а также настройке пользовательского веб-интерфейса.

Так как указанные выше редакторы и коллекционер ОИ непосредственно входят в состав портала знаний, благодаря этому они могут использоваться не только на этапе его создания, но и во время эксплуатации, обеспечивая поддержку его системы знаний в актуальном состоянии.

4 Технология разработки интеллектуальных систем, ориентированная на экспертов

Рассмотренные выше оболочки СОЗ и порталов знаний являются эффективными средствами построения интеллектуальных систем указанных типов. Однако есть ещё одна нерешённая проблема, которая состоит в том, что оболочка ИС, даже основанная на описанной выше интегрированной модели представления знаний, является всё ещё трудной для непосредственного использования экспертом. Это объясняется тем, что она содержит только универсальные средства представления знаний, которые далеки от области знаний эксперта и поэтому требуют участия в разработке конкретных систем инженеров знаний.

Представляется очевидным, что чем меньше будет разрыв между знаниями и представлениями эксперта и средствами представления знаний инструментальной системы, тем легче ими будет пользоваться эксперту. Поэтому специализация оболочки ИС на определённые классы областей знаний и задач, т.е. включение в её состав «знаниевых» компонентов, содержащих базовый набор понятий, относящихся к заданному классу областей знаний, а также программных компонентов, поддерживающих требуемую в ИС функциональность, сделало бы её более понятной экспертам и пригодной для использования ими без привлечения инженеров знаний.

На описанной выше идее специализированных оболочек строится концепция технологии разработки СОЗ и порталов знаний, ориентированная на экспертов. В соответствии с этой концепцией общая архитектура инструментальной поддержки разработки интеллектуальных систем выглядит так, как показано на рисунке 3.

Базис инструментальной поддержки составляет базирующаяся на ИМПЗ-модели и языке ЯПОЗ интегрированная система представления и обработки знаний, которая представляет собой набор языковых и программных средств, реализующих интегрированную модель представления знаний.

Следующий уровень включает универсальные оболочки, предназначенные для построения СОЗ и порталов знаний. Оболочки этого уровня предоставляют универсальные средства для построения систем данного типа и предназначены для инженеров знаний.

Самый верхний уровень образуют специализированные оболочки, ориентированные на определённые области знаний и классы задач, и благодаря этому пригодные для использования экспертами. Причем специализированные оболочки строятся инженерами знаний с помощью средств разработки БЗ, предоставляемых универсальными оболочками.

В соответствии с изложенной концепцией специализированная оболочка СОЗ включает базовые онтологии, на основе которых строится онтология области знаний СОЗ и онтология задач, а также набор специализированных продукционных модулей и библиотек процедур и функций (на языке ЯПОЗ), реализующих решение базовых задач.

Создание конкретной СОЗ на основе такой оболочки заключается в построении онтологии области СОЗ путём расширения и развития базовых онтологий, построении дополнительных продукционных модулей, реализующих задачи, специфичные для разрабатываемой СОЗ, а также наполнении декларативной части базы знаний необходимым набором экземпляров объектов и отношений, представляющих универсальные факты или начальное состояние объекта управления.



Рисунок 3 – Общая архитектура инструментальной поддержки разработки интеллектуальных систем

В качестве примера специализированной оболочки СОЗ приведём оболочку СОЗ медицинской диагностики (рисунок 4) [13]. Эта оболочка включает онтологию медицинской диагностики и лечения, которая содержит понятия и отношения, общие для всех диагностических медицинских систем.

В рамках данного подхода была создана ещё одна специализированная оболочка – оболочка СОЗ технической диагностики технологической инфраструктуры предприятия [14]. Эта оболочка содержит верхний уровень онтологии технологической инфраструктуры предприятия, а также библиотеку процедур и функций для анализа временных рядов, которые могут использоваться в правилах, описывающих мониторинг и диагностику технологической инфраструктуры предприятия.

Аналогичным образом строятся специализированные оболочки порталов знаний. Каждая такая оболочка представляет собой типовой ПЗ с набором базовых онтологий, описывающих основные сущности некоторого класса областей знаний, и пустым контентом.



Рисунок 4 – Специализированная оболочка СОЗ медицинской диагностики

Разработка конкретного портала знаний с помощью специализированной оболочки заключается, главным образом, в настройке его на требуемую область знаний, которая состоит в построении онтологии области знаний ПЗ на основе включённых в оболочку базовых онтологий и заполнении контента под управлением построенной онтологии. Эту работу уже могут выполнять сами эксперты без привлечения инженеров знаний.

Как было отмечено выше, специализированные оболочки строятся с помощью средств, предоставляемых универсальными оболочками. В частности, средствами оболочки портала знаний были построены две оболочки – оболочка для разработки порталов научных знаний (ПНЗ-оболочка) [15] и оболочка для создания многоязычных тезаурусов (Т-оболочка) [16].

Эти оболочки отличаются, главным образом, набором базовых онтологий. Так, в ПНЗ-оболочку (рисунок 5) включены две базовые онтологии – онтология научного знания, содержащая базовые понятия, задающие структуры для описания области знаний портала, и онтология научной деятельности, содержащая базовые понятия, служащие для описания различных аспектов научно-исследовательской деятельности. В то время как Т-оболочка включает онтологию представления тезауруса, основанную на стандартах построения многоязычных информационно-поисковых тезаурусов. Кроме того, в Т-оболочку за ненадобностью не включён коллекционер онтологической информации.

Специализированные оболочки могут быть отправной точкой для построения ещё более специализированных оболочек. Например, на основе ПНЗ-оболочки можно построить оболочку для разработки порталов знаний, предназначенных для поддержки инновационной деятельности, расширив набор базовых онтологий ПНЗ-оболочки онтологией производственной и инновационной деятельности.

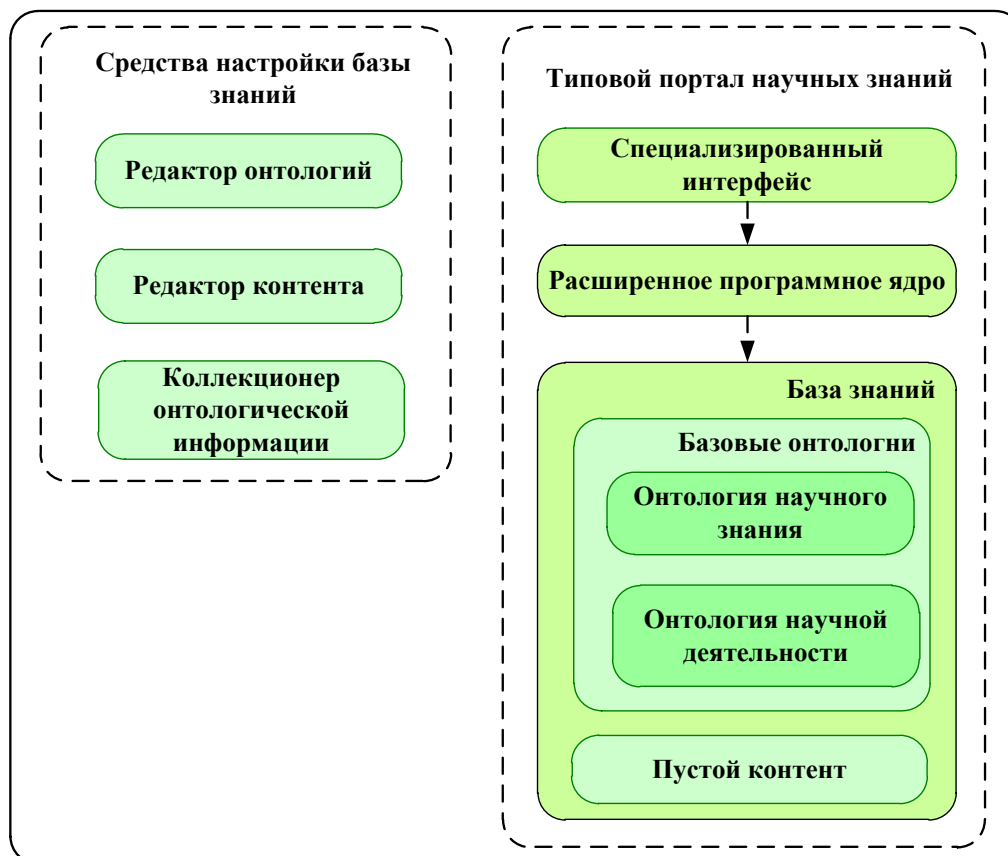


Рисунок 5 – Оболочка портала научных знаний

Заключение

В статье представлена технология построения интеллектуальных систем, ориентированная на экспертов. В качестве базиса представления знаний в ИС предлагается модель, интегрирующая взаимодополняющие друг друга методы и средства представления и обработки знаний следующих моделей: онтологической, сетевой, продукционной, недоопределённой и императивной. Набор языковых и программных средств, реализующих интегрированную модель, служит базисом инструментальных средств, которые могут применяться для разработки широкого класса информационных и интеллектуальных систем. Для того, чтобы сделать эти средства доступными для непосредственного использования экспертами, была предложена технология построения интеллектуальных систем, базирующаяся на специализированных оболочках, настроенных на определённые области знаний и классы задач. При этом сами специализированные оболочки могут создаваться инженерами знаний путем частичного заполнения баз знаний соответствующих универсальных оболочек с использованием имеющихся в них средств описания предметных знаний.

Продуктивность данного подхода подтверждается тем, что в его рамках были созданы специализированные оболочки, которые успешно применялись при создании практически полезных ИС. В частности, оболочка СОЗ технической диагностики технологической инфраструктуры предприятия применялась при создании системы поддержки принятия решений на нефтегазодобывающем предприятии [17], с помощью ПНЗ-оболочки были созданы порталы знаний по компьютерной лингвистике и археологии [18], а с помощью Т-оболочки – электронный двуязычный тезаурус по компьютерной лингвистике [19].

Благодарности

Автор благодарен коллегам из ИСИ СО РАН, принимавшим участие в разработке и реализации инструментальных средств, поддерживающих представленную в статье технологию, а также всем, кто участвовал в апробации данной технологии при построении конкретных приложений. Автор также выражает благодарность РФФИ за финансовую поддержку данной работы (проект № 13-07-00422).

Список источников

- [1] **Гаврилова, Т.А.** Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
- [2] **Осипов, Г.С.** Построение моделей предметных областей. Неоднородные семантические сети / Г.С. Осипов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1990. – №5. – С. 32–45.
- [3] **Минский, М.** Структура для представления знания / М. Минский // Психология машинного зрения. – М.: Мир, 1978. – С. 249–338.
- [4] **Поспелов, Д.А.** Продукционные модели / Д. А. Поспелов // Искусственный интеллект. В 3-х кн. Кн.2. Модели и методы: Справочник / Под. Ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – С. 49–56.
- [5] **Ушаков, Д.М.** Системы программирования в ограничениях (обзор) / Д.М. Ушаков, В.В. Телерман // Системная информатика: Сб. науч. тр. Под. Ред. И.В. Поттосина. Вып.7: Проблемы теории и методологии создания параллельных и распределенных систем. – Новосибирск: Наука, 2000. – С. 275–310.
- [6] **Нариньяни, А.С.** Недоопределённость в системах представления и обработки знаний / А.С. Нариньяни // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – 1986. – №5. – С. 3–28.
- [7] **Нариньяни, А.С.** Программирование в ограничениях и недоопределённые модели / А.С. Нариньяни, В.В. Телерман, Д.М. Ушаков, И.Е. Швецов // Информационные технологии, 1998. – №7. – С. 13–22.
- [8] **Guarino, N.** Formal Ontology in Information Systems / N. Guarino // Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, 6–8 June 1998. – Amsterdam: IOS Press, 1998. – P. 3–15.
- [9] **Боргест, Н.М.** Онтологии: современное состояние, краткий обзор / Н.М. Боргест, М.Д. Коровин // Онтология проектирования. – 2013. – №2(8). – С. 49–55.
- [10] **Копайгородский, А.Н.** Применение онтологий в семантических информационных системах / А.Н. Копайгородский. // Онтология проектирования. – 2014. – №4(14). – С.78–89.
- [11] **Baader, F.** The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, Applications / F. Baader, D. Calvanese, D.L. McGuinness, D. Nardi, P.F. Patel-Schneider. – Cambridge, 2003. – 574 p.
- [12] **Артемьева, И.Л.** Специализированные оболочки интеллектуальных систем для сложно-структурированных предметных областей / И.Л. Артемьева // Труды 11-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием – КИИ-2008. – М.: ЛЕНАНД, 2008. –Т.1. – С. 95–103.
- [13] **Загорулько, Г.Б.** Экспертная система поддержки диагностики, профилактики и лечения элементозов на основе коррекции питания / Г.Б. Загорулько, А.М. Гончар, М.Н. Рубан, А.Н. Рябков // Труды 10-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием – КИИ-2006. – М.: Физматлит, 2006. – Т.3. – С. 849–857.
- [14] **Zagorulko, Y.** Architecture of Extensible Tools for Development of Intelligent Decision Support Systems / Y. Zagorulko, G. Zagorulko // New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques. Proceedings of the Tenth SoMeT_11. Eds.: Hamido Fujita and Tatiana Gavriloa. – IOS Press, Amsterdam, 2011. – P. 253–263.
- [15] **Загорулько, Ю.А.** Технология разработки порталов научных знаний / Ю.А. Загорулько // Программные продукты и системы. – 2009. – №4. – С. 25–29.
- [16] **Загорулько, Ю.А.** Программная оболочка для построения многоязычных тезаурусов предметных областей, ориентированная на экспертов / Ю.А. Загорулько, О.И. Боровикова // Труды 13-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием – КИИ-2012. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. –Т.4. – С. 76–83.
- [17] **Загорулько, Ю.А.** Онтологический подход к разработке системы поддержки принятия решений на нефтегазодобывающем предприятии / Ю.А. Загорулько, Г.Б. Загорулько // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2012. Т.10. Вып. 1. – С. 121–128.
- [18] **Ануреев, И.С.** Модели и методы построения информационных систем, основанных на формальных, логических и лингвистических подходах / И.С. Ануреев, Т.В. Батура, О.И. Боровикова, Ю.А. Загорулько, И.С. Кононенко, А.Г. Марчук, П.А. Марчук, Ф.А. Мурзин, Е.А. Сидорова, Н.В. Шилов // Отв. ред. А.Г. Марчук. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 330 с.

- [19] **Загорулько, Ю.А.** Методологические аспекты разработки электронного русско-английского тезауруса по компьютерной лингвистике / Ю.А. Загорулько, О.И. Боровикова, И.С. Кононенко, Е.Г. Соколова // Информатика и ее применения. – 2012. – Т. 6. – №3. – С. 22–31.

SEMANTIC TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS ORIENTED ON EXPERTS IN SUBJECT DOMAIN

Yu.A. Zagorulko

*A.P. Ershov Institute of Informatics Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
zagor@iis.nsk.su*

Abstract

The semantic models and technologies for building intelligent systems oriented on experts in a subject domain are considered in the paper. The integrated model combining various mutually complementary methods and means of knowledge representation and processing of such models as ontological, network, production, subdefinite and imperative is developed and suggested as basis for knowledge representation in intelligent systems. Suite of language and programming tools built on the basis of this model can be used for development of wide array of such kind of systems. In order to make these tools accessible to use immediately by experts, the technology for development of intelligent systems is suggested. This technology is based on specialized program shells, which are adjusted to certain knowledge area and class of tasks. These shells are built by knowledge engineers who perform a partial filling of knowledge bases of corresponding universal shells using the knowledge base of development tools of these shells.

Key words: *integrated knowledge representation model, ontology, intelligent system, knowledge portal, specialized program shell.*

Acknowledgment

The author would like to acknowledge the support of his colleagues from IIS SB RAS, who participated in design and realization of software tools supporting the technology presented in the paper, as well as everyone who participated in the approbation of the said technology in building endpoint applications. The author is also grateful for the financial support of RFBR for this work (Project No. 13-07-00422).

References

- [1] **Gavrilova, T.A.** Bazy znaniy intellektual'nyh system [Databases of the intellectual systems] / T.A. Gavrilova, V.F. Horoshevskij. – SPb.: Piter, 2001. – 384 p. (In Russian).
- [2] **Osipov, G.S.** Postroenie modelej predmetnyh oblastej. Neodnorodnye semanticheskie seti [The construction of domain models. Inhomogeneous semantic nets] / G.S. Osipov // Izvestija AN SSSR. Tehnicheskaja kibernetika. – 1990. – №5. – pp. 32–45. (In Russian).
- [3] **Minskij, M.** Struktura dlja predstavlenija znanija [The structure for the representation of knowledge] / M. Minskij // Psihologija mashinnogo zrenija. – M.: Mir, 1978. – P. 249–338. (In Russian).
- [4] **Pospelov, D.A.** Produkcionnye modeli [Productional models] / D.A. Pospelov // Iskusstvennyj intellekt. V 3-h kn. Kn.2. Modeli i metody: Spravochnik / Pod. Red. D.A. Pospelova. – M.: Radio i svjaz', 1990. – pp. 49–56. (In Russian).
- [5] **Ushakov, D.M.** Sistemy programmirovaniya v ogranichenijah (obzor) [Systems of constraint programming (review)] / D.M. Ushakov, V.V. Telerman // Si-stemnaja informatika: Sb. nauch. tr. Pod. Red. I.V. Pottosina. Vyp.7: Problemy teorii i metodologii so-zdaniya parallel'nyh i raspredeennyh sistem. – Novosibirsk: Nauka, 2000. – pp. 275–310. (In Russian).
- [6] **Narin'jani, A.S.** Nedoopredelennost' v sistemah predstavlenija i obrabotki znaniy [Underdetermined systems knowledge representation and processing] / A.S. Narin'jani // Izv. AN SSSR. Tehn. kibernetika. – 1986. – №5. – pp. 3–28. (In Russian).
- [7] **Narin'jani, A.S.** Programmirovaniye v ogranichenijah i nedoopredeljonnye modeli [Constraint programming and underdetermined model] / A.S. Narin'jani, V.V. Telerman, D.M. Ushakov, I.E. Shvecov // Informacionnye tehnologii, 1998. – №7. – pp. 13–22. (In Russian).

- [8] **Guarino, N.** Formal Ontology in Information Systems / N. Guarino // Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, 6–8 June 1998. – Amsterdam: IOS Press, 1998. – P. 3–15.
- [9] **Borgest, N.M.** Ontologii: sovremennoe sostojanie, kratkij obzor [Ontologies: current state and brief review] / N.M. Borgest, M.D. Korovin // Ontologija proektirovanija. – 2013. – No. 2(8). – pp. 49-55. (In Russian).
- [10] **Kopajgorodskij, A.N.** Primenenie ontologij v semanticheskikh informacionnyh sistemah [The use of ontologies in semantic information systems] / A.N. Kopajgorodskij. // Ontologija proektirovanija. – 2014. – No. 4(14). – pp.78-89. (In Russian).
- [11] **Baader, F.** The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, Applications / F. Baader, D. Calvanese, D.L. McGuinness, D. Nardi, P.F. Patel-Schneider. – Cambridge, 2003. – 574 p.
- [12] **Artem'eva, I.L.** Specializirovannye obolochki intellektual'nyh sistem dlja slozhno-strukturirovannyh predmetnyh oblastej [Specialized shells of intellectual systems for complex-structured domains] / I.L. Artem'eva // Trudy 11-j nacional'noj konferencii po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem KII-2008. – M.: LENAND, 2008. -Vol.1. - pp. 95-103. (In Russian).
- [13] **Zagorulko, G.B.** Jekspertnaja sistema podderzhki diagnostiki, profilaktiki i lechenija jelementozov na osnove korekcii pitaniya [Expert system support the diagnosis, prevention and treatment of elementosis based on the correction power] / G.B. Zagorulko, A.M. Gonchar, M.N. Ruban, A.N. Rjabkov // Trudy 10-j nacional'noj konferencii po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem – KII-2006. – M.: Fizmatlit, 2006. -T.3. - p. 849-857. (In Russian).
- [14] **Zagorulko, Yu.** Architecture of Extensible Tools for Development of Intelligent Decision Support Systems / Yu. Zagorulko, G. Zagorulko // New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques. Proceedings of the Tenth SoMeT_11. . Eds.: Hamido Fujita and Tatiana Gavrilova. –I OS Press, Amsterdam, 2011. – pp. 253-263.
- [15] **Zagorulko, Yu.A.** Tehnologija razrabotki portalov nauchnyh znaniy [Technology portal development of scientific knowledge] / Ju.A. Zagorul'ko // Programmnye produkty i sistemy. – 2009. – No.4. – pp. 25-29. (In Russian).
- [16] **Zagorulko, Yu.A.** Programmaja obolochka dlja postroenija mnogojazychnyh tezaurusov predmetnyh oblastej, orientirovannaja na jekspertov [Shell program for the construction of multilingual thesauri domains oriented experts] / Yu.A. Zagorul'ko, O.I. Borovikova // Trudy 13-j nacional'noj konferencii po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem KII-2012. – Belgorod: Izd-vo BGTU, 2012. -Vol.4. - pp. 76-83. (In Russian).
- [17] **Zagorulko, Yu.A.** Ontologicheskij podhod k razrabotke sistemy podderzhki prinjatija reshenij na neftegazodobyvajushhem predpriyatii [An ontological approach to the development of a decision support system for oil and gas companies] / Yu.A. Zagorulko, G.B. Zagorul'ko // Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Informacionnye tehnologii. 2012. Vol. 10. Vyp. 1. – pp. 121-128. (In Russian).
- [18] **Anureev, I.S.** Modeli i metody postroenija informacionnyh sistem, osnovannyh na formal'nyh, logicheskih i lingvisticheskikh podhodah [Models and methods of construction of information systems based on formal logic and linguistic approaches] / I.S. Anureev, T.V. Batura, O.I. Borovikova, Yu.A. Zagorulko, I.S. Kononenko, A.G. Marchuk, P.A. Marchuk, F.A. Murzin, E.A. Sidorova, N.V. Shilov // Otv. red. A.G. Marchuk. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2009. – 330 p. (In Russian).
- [19] **Zagorulko, Yu.A.** Metodologicheskie aspekty razrabotki jelektronnogo rusko-anglijskogo tezaurusa po komp'juternoj lingvistike [Methodological aspects of the development of e-Russian-English thesaurus on Computational Linguistics] / Yu.A. Zagorulko, O.I. Borovikova, I.S. Kononenko, E.G. Sokolova // Informatika i ejo primenenija. – 2012. – Vol. 6. – No. 3. – pp. 22–31. (In Russian).

Сведения об авторе



Загорулько Юрий Алексеевич, 1957 г. рождения. Окончил Новочеркасский политехнический институт им. С. Орджоникидзе в 1979 г., к.т.н. (1989). Заведующий лабораторией Института систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, доцент кафедры программирования и систем информатики Новосибирского государственного университета. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 200 публикаций в области искусственного интеллекта, разработки интеллектуальных систем, инженерии знаний, онтологического моделирования и компьютерной лингвистики.

Zagorulko Yuriy Alekseevich (b. 1957) graduated from the Novocherkassk Polytechnic Institute in 1979, PhD (1989). He is the Head of laboratory at A.P. Ershov Institute of Informatics Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Science (Novosibirsk city), associate professor at Novosibirsk State University (Department of Mechanics and Mathematics, Department of Information Technologies), He is member of Russian Association of Artificial Intelligence, author of more than 200 publications in the field of AI, knowledge and ontology engineering, intelligent system development and computational linguistics.

УДК 004

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ШИРОКИХ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ

Н.В. Лукашевич¹, Б.В. Добров²*Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия*¹*louk_nat@mail.ru*, ²*dobrov_bv@mail.ru*

Аннотация

В статье представлена модель лингвистической онтологии для автоматической обработки текстов широкой предметной области, т.е. предметной области, в состав которой входят тысячи разных классов сущностей, входящих между собой в неограниченные типы отношений и ситуаций. Существенно новым в предложенной модели является набор отношений лингвистической онтологии, который специально подобран для описания широкой предметной области. Предложено использовать небольшой набор отношений, сопоставимый с набором отношений в традиционных информационно-поисковых тезаурусах. Однако были введены более строгие онтологические определения используемых отношений. Такая система отношений отражает наиболее существенные взаимосвязи между сущностями, может применяться для описания отношений между понятиями в самых разных предметных областях. Представлен пример словарной статьи из опубликованной лингвистической онтологии PyTез-lite.

Ключевые слова: лингвистическая онтология, широкая предметная область, информационно-аналитические системы.

Введение

В настоящее время в связи с огромными объёмами электронных документов имеется всё возрастающая потребность в обработке неструктурированной текстовой информации, повышении качества и эффективности имеющихся методов обработки текстов. В число активно развивающихся направлений обработки неструктурированной текстовой информации входят такие задачи, как собственно поиск информации, фильтрация, рубрикация и кластеризация документов, поиск ответов на вопросы, автоматическое аннотирование документа и группы документов, поиск похожих документов и дубликатов, сегментирование документов и многое другое.

Современные информационно-поисковые и информационно-аналитические системы работают с текстовой информацией в широких или неограниченных предметных областях, т.е. областях, в состав которых входят тысячи разных классов сущностей, входящих между собой в неограниченные типы отношений. Поэтому характерной чертой современных методов обработки текстовой информации в таких системах стало минимальное использование знаний о мире и о языке, опора на статистические методы учёта частотностей встречаемости слов в предложении, тексте, наборе документов, совместной встречаемости слов и т.п. В то же время, когда подобные операции выполняет человек, ему необходимо выявить основное содержание документа, его основную тему и подтемы, и для этого обычно используется большой объём знаний о языке, о мире и об организации связного текста.

Недостаток лингвистических и онтологических знаний (знаний о мире), используемых в приложениях информационного поиска и автоматической обработки текстов, приводит к

разнообразным проблемам. Нехватка знаний приводит к нерелевантному поиску в тех случаях, если способы формулировки запросов отличаются от способов описания релевантных ситуаций в документах. Эта проблема усугубляется при обработке длинных запросов, при поиске ответов на вопросы в вопросно-ответных системах.

В последнее время всё большее значение приобретают специализированные виды информационного поиска, такие как медицинский, патентный, научный поиск, и роль знаний о предметной области в обеспечении качества работы таких информационных системах, безусловно, значительна. Кроме того, при поиске в отличных от Интернета коллекциях документов, таких, как профессиональные информационные базы, внутрикорпоративные ресурсы, отличающиеся относительно небольшим (по сравнению с Интернет) размером, несоответствие языка запроса и языка документов считается достаточно серьёзной проблемой.

В то же время внедрение в современные методы автоматической обработки текстов дополнительных объёмов знаний о языке и мире является сложной задачей. Это связано с тем, что такие знания должны описываться в специально создаваемых ресурсах (тезаурусах, онтологиях), которые должны содержать описания десятков тысяч слов и словосочетаний, иметь такие возможности, как логический вывод. При применении таких ресурсов обычно необходимо автоматически разрешать многозначность слов, т.е. выбирать их правильное значение. Кроме того, поскольку ведение любых ресурсов отстаёт от развития предметной области, необходимо развитие комбинированных методов, учитывающих как знания, так и лучшие современные статистические методы обработки текстов.

В настоящее время обсуждаются три основные парадигмы ресурсов, содержащих знания о мире и языке широких предметных областей для использования в информационно-поисковых и информационно-аналитических системах.

Самой первой широко распространённой парадигмой были традиционные информационно-поисковые тезаурусы, разработка и использование которых регламентируются национальными и международными стандартами [1, 2]. Однако такие тезаурусы создавались для ручного индексирования документов людьми-индексаторами, и в последние десятилетия, характеризующиеся резким ростом объёмов электронной информации, их роль резко снизилась.

После появления в середине 90-х годов XX века тезауруса WordNet [3], структура которого представляет собой иерархическую сеть лексикализованных понятий английского языка – синсетов, появились многочисленные работы по использованию такого рода ресурсов в качестве источника лингвистических знаний в разнообразных приложениях информационного поиска. Однако этот тезаурус создавался для проверки психолингвистической теории, и не учитывает особенностей автоматической обработки текстов, из-за чего имеется много проблем в его использовании в прикладных разработках.

Наконец, современной парадигмой компьютерных ресурсов для приложений информационного поиска являются формальные онтологии. Выдвинута концепция Семантической сети (Semantic Web) [4], базирующаяся на построении онтологических ресурсов большого объёма. Однако автоматическую обработку неструктурированных текстов на естественном языке с их неоднозначностью и неточностью трудно проводить с помощью аксиоматизированных теорий, к построению которых стремятся приверженцы формальных онтологий [5].

Поэтому для автоматической обработки текстов разрабатываются специального рода онтологии (терминологические или легкие онтологии) [6, 7], понятия в которых не определяются полностью в терминах формальных свойств и аксиом. С одной стороны, формальность описания в таких онтологиях значительно ниже, чем в формальных онтологиях. С другой стороны, формальный логический вывод на основе онтологий при анализе текста часто является необходимым, поскольку в связном тексте значительный объём информации не указы-

вается явно. Кроме того, именно в связи с применением онтологий в автоматической обработке текстов появилось понятие так называемой *лингвистической онтологии*, то есть онтологии, понятия которой в значительной мере связаны со значениями языковых единиц, терминов предметной области [8, 9].

Лингвистические онтологии охватывают большинство слов языка или предметной области и одновременно имеют онтологическую структуру, проявляющуюся в отношениях между понятиями. Поэтому лингвистические онтологии могут рассматриваться как особый вид лексической базы данных и особый тип онтологии.

Данная работа описывает модель лингвистической онтологии, предназначенной для использования в рамках автоматической обработки текстов для широких предметных областей, и конкретные ресурсы, которые разработаны на основе этой модели. В модели учитываются все три парадигмы описания знаний в широких предметных областях: информационно-поисковые тезаурусы, тезаурусы типа WordNet, онтологии. Особое внимание уделяется системе отношений между понятиями. Также описывается опубликованная лингвистическая онтология – тезаурус русского языка РуТез, который может быть полезен как источник общих знаний для создания прикладных онтологий.

1 Онтологии и лингвистические онтологии

В настоящее время наиболее распространённой формой баз знаний являются базы знаний онтологического типа. Онтологии представляют собой компьютерные ресурсы, содержащие формализованное описание фрагмента знаний о мире. Различные авторы дают разные определения для понятия онтологии [10, 11]. При всём различии к определению онтологии многие авторы соглашались в наборе основных компонентов онтологии: классы или понятия; атрибуты (свойства); экземпляры (отдельные индивиды), отношения между классами или экземплярами; аксиомы онтологии [12].

Таким образом, формальным определением онтологий может служить следующее:

$$O = \langle C, E, At, R, A \rangle,$$

где C – понятия (классы) онтологии, E – экземпляры онтологии, At – атрибуты понятий и экземпляров онтологии, R – отношения между понятиями, A – аксиомы онтологии.

Термину «онтология» удовлетворяет широкий спектр структур, представляющих знания о той или иной предметной области. В качестве в разной степени формализованных онтологий разными авторами рассматривается множество различных компьютерных ресурсов, в том числе и известных задолго до начала исследований по онтологиям таких, как рубрикаторы или тезаурусы. При этом в некоторых типах онтологий некоторые из вышеперечисленных компонентов могут быть не определены [13]. Так, структура рубрикаторов обычно не включает экземпляры и атрибуты, т.е. распространённой формальной моделью рубрикаторов является модель вида:

$$O = \langle C, \emptyset, \emptyset, R, A \rangle = \langle C, R, A \rangle$$

Наиболее формализованные онтологии представляют собой *логические теории*, построенные на произвольных логических утверждениях о понятиях – аксиомах. Для описания таких формальных онтологий применяются различные логики (дескриптивные логики, модальные логики, логика предикатов первого порядка) и различные языки описания онтологий DAML+OIL, OWL, CycL, Ontolingua. Онтологии, такие как тезаурусы, рубрикаторы, понятия которых не определяются полностью в терминах формальных свойств и аксиом, иногда называются *лёгкими онтологиями* (lightweight ontologies) [12].

Разработчики онтологий по-разному трактуют взаимоотношения между онтологией и естественным языком. Некоторые исследователи трактуют онтологию как структуру, независимую от естественного языка, другие – как структуру, независимую от *конкретного* естественного языка, третьи вводят элементы языкового лексикона в формальное определение онтологии. Вместе с тем имеется немало подходов к построению онтологий, в которых компоненты лексикона предметной области непосредственно вводятся в формальное определение онтологии [14, 15]. Так, одной из известных формальных моделей онтологии является модель, описанная в [14]:

$$O = \langle L, C, F, G, H, R, A \rangle,$$

где:

- $L = L_C \cup L_R$ – словарь онтологии, содержащий набор лексических единиц (знаков) для понятий L_C и набор знаков для отношений L_R ;
- C – набор понятий онтологии;
- F и G связывают наборы лексических единиц $\{l_j\} \subset L$ с наборами понятий и отношений данной онтологии;
- H – фиксирует таксономический характер отношений (связей), при котором понятия онтологии связаны нереклексивными, ациклическими, транзитивными отношениями $H \subset C \times C$;
- R – обозначает нетаксономические отношения между понятиями онтологии;
- A – набор аксиом онтологии.

Вместе с тем, даже в таких подходах, рассматривающих лексикон естественного языка как один из компонентов онтологической модели, ничего не говорится о методах установления соответствия между совокупностью лексических значений текстов предметной области и онтологии, лексические выражения представлены как вспомогательные элементы, называющие понятия и отношения онтологии.

Однако в установлении взаимоотношений между понятиями, словами и выражениями естественного языка имеется много проблем, начиная с того, как ввод нового понятия в онтологию связан с существующими языковыми выражениями. Кроме того, стремление к чёткой формализации отношений между понятиями в онтологии чрезвычайно трудно соблюсти в ситуации, когда необходимо создавать сверхбольшие ресурсы, и, кроме того, приводит к проблемам при установлении связей «понятие – языковое выражение».

Поэтому значительно большее распространение в приложениях автоматической обработки текстов получили вышеупомянутые «лёгкие» онтологии. Так, большое количество широко известных медицинских онтологических ресурсов представляет собой тезаурусы, не обладающие высокой степенью формализации своей структуры.

Тезаурусы представляют собой так называемые *лингвистические онтологии*, т.е. онтологии, опирающиеся в своём построении на значения реально существующих выражений естественного языка. Наиболее известными типами тезаурусов, обсуждаемыми в качестве источников знаний для приложений обработки неструктурированной информации, являются информационно-поисковые тезаурусы и тезаурусы типа WordNet, структура которых будет рассмотрена ниже.

1.1 Информационно-поисковые тезаурусы

Информационно-поисковый тезаурус (в соответствии с определениями стандартов) – это нормативный словарь терминов на естественном языке, явно указывающий отношения меж-

ду терминами и предназначенный для описания содержания документов и поисковых запросов [1, 2].

Основными целями разработки традиционных информационно-поисковых тезаурусов являются следующие:

- обеспечение перевода естественного языка документов и пользователей на контролируемый словарь, применяемый для индексирования и поиска;
- обеспечение последовательного использования единиц индексирования;
- описание отношений между терминами;
- использование как поискового средства при поиске документов.

Основной единицей тезаурусов являются термины, которые разделяются на дескрипторы (= авторизованные термины) и недескрипторы (= аскрипторы). По своей сути дескрипторы однозначно соответствуют понятиям предметной области.

Отношения между дескрипторами обычно разделяются на два типа: иерархические и ассоциативные. Иерархические отношения обычно рассматриваются как несимметричные и транзитивные.

По ГОСТу 7.25-2001 [16] иерархические отношения обладают свойствами транзитивности и антисимметричности, которые могут быть использованы при избыточном индексировании в интересах повышения эффективности информационного поиска. Предпочтительно указывать связи между дескрипторами как отношения иерархического вида, если они обладают этими свойствами. Применяемые в информационно-поисковых тезаурусах иерархические отношения могут дифференцироваться на отдельные виды.

Основным иерархическим отношением, используемым в информационно-поисковых тезаурусах, является родовидовое отношение *выше-ниже*. Родовидовая связь устанавливается между двумя дескрипторами, если объем понятия нижестоящего дескриптора входит в объем понятия вышестоящего дескриптора. Также в качестве иерархического отношения в информационно-поисковых тезаурусах может устанавливаться отношение *часть-целое*.

Отношение ассоциации является неиерархическим. Основное назначение установления ассоциативных отношений между дескрипторами информационно-поискового тезауруса – указание на дополнительные дескрипторы, полезные при индексировании или поиске.

Основной целью разработки традиционных информационно-поисковых тезаурусов является использование их единиц (дескрипторов) для описания основных тем документов в процессе ручного индексирования. Поэтому важно, чтобы набор дескрипторов информационно-поискового тезауруса позволял описывать тематику документов предметной области. При этом сам процесс индексирования по такому тезаурусу базируется на лингвистических, грамматических знаниях, а также знаниях о предметной области, которые имеются у профессиональных индексаторов текстов. Индексатор сначала должен прочитать текст, понять его и затем изложить содержание текста, пользуясь дескрипторами, указанными в информационно-поисковом тезаурусе. Индексатор должен хорошо понимать всю терминологию, использованную в тексте, – для описания основной темы текста ему понадобится значительно меньшее количество терминов.

Таким образом, формальную модель информационно-поискового тезауруса можно представить следующим образом:

$$ИПТ = \langle D_{th}, T, R_H, R_A, A_T \rangle,$$

где:

- D_{th} – набор дескрипторов предметной области, соответствующий понятиям данной предметной области, индекс th означает в данном случае тот факт, что разработчики информационно-поисковых тезаурусов включают в состав дескрипторов термины предметной об-

ласти, которые необходимы для выражения основных тем документов этой предметной области;

- T – набор терминов предметной области: $D \subset T$; R_H – иерархические отношения информационно-поискового тезауруса;
- R_A – ассоциативные отношения информационно-поискового тезауруса;
- A_T – аксиомы транзитивности иерархических отношений.

Отметим, что описанная в национальных и международных стандартах модель информационно-поискового тезауруса предназначена для его использования в процессе ручного, экспертного анализа документов [1, 2]. Информационно-поисковый тезаурус, предназначенный для автоматической обработки текстов, должен содержать значительно больше информации о структуре и языке предметной области. Кроме того, отношения между терминами, указанные в тезаурусе, должны быть значительно более формализованы для использования их в автоматических режимах.

1.2 Тезаурусы типа WordNet

Лингвистический ресурс WordNet разработан в Принстонском университете США. WordNet относится к классу лексических онтологий, свободно доступен в Интернет, и на его основе были выполнены тысячи экспериментов в области информационного поиска [3]. WordNet версии 3.0 охватывает приблизительно 155 тысяч различных лексем и словосочетаний, организованных в 117 тысяч понятий, или совокупностей синонимов (synset); общее число пар лексема-значение насчитывает 200 тысяч. В разных странах предприняты усилия по созданию ресурсов для своих языков по модели WordNet.

Основным отношением в WordNet является отношение синонимии. Наборы синонимов – синсеты – основные структурные элементы WordNet. Понятие синонимии базируется на критерии, что два выражения являются синонимичными, если замена одного из них на другое в предложении не меняет значения истинности этого высказывания.

Именно определение синонимии в терминах заменимости делает необходимым разделение WordNet на отдельные подструктуры по частям речи. В состав словаря входят лексемы, относящиеся к четырём частям речи: прилагательное, существительное, глагол и наречие. Лексемы различных частей речи хранятся отдельно и описания, соответствующие каждой части речи, имеют различную структуру.

Синсет может рассматриваться как представление лексикализованного понятия (концепта) английского языка. Авторы считают, что синсет существительных представляет понятия существительных, глаголы выражают глагольные концепты, прилагательные – концепты прилагательных и т.п. Предполагается, что такое разделение соответствует психолингвистическим экспериментам, демонстрирующим, что представление информации о прилагательных, существительных, глаголах и наречиях устроено в человеческой памяти по-разному.

Большинство синсетов WordNet снабжены толкованием, подобным толкованиям в традиционных словарях, — это толкование рассматривается как одно для всех синонимов синсета. Если слово имеет несколько значений, то оно входит в несколько различных синсетов.

Каждая часть речи в WordNet имеет свой набор отношений. В различных компьютерных приложениях чаще всего используются существительные, между которыми установлены отношения синонимии, антонимии, гипонимии (гиперонимии), меронимии (*часть-целое*).

Основным отношением между синсетами существительных является родовидовое отношение, при этом видовой синсет называется гипонимом, а родовой — гиперонимом. Это транзитивное иерархическое отношение, которое может быть также названо *isA*-отношением. Синсет X называется гипонимом синсета Y , если носители английского языка считают нормальными предложения типа «An X is a (kind of) Y ».

Таким образом, отношения между синсетами образуют иерархическую структуру. При построении иерархических систем на базе родовидовых отношений обычно предполагается, что свойства вышестоящих понятий наследуются на нижестоящие – так называемое свойство наследования. Таким образом, существительные в WordNet организованы в виде иерархической системы с наследованием; были сделаны систематические усилия, чтобы для каждого синсета найти его родовое понятие, его гипероним.

Формальную модель ресурса типа WordNet можно представить следующим образом:

$$WN = \langle LC_{n,adj,v,adv}, R_{n,adj,v,adv}, S, T, M, A_n \rangle,$$

где:

- $LC_{n,adj,v,adv} = \{LC_n, LC_{adj}, LC_v, LC_{adv}\}$ – совокупность лексикализованных понятий-синсетов, сгруппированных по разным частям речи (существительные, прилагательные, глаголы и наречия); синсет представляется собой одну лексему (слово в определённом значении) или совокупность синонимичных лексем;
- $R_{n,adj,v,adv} = \{R_n, R_{adj}, R_v, R_{adv}\}$ – наборы отношений синсетов, различающиеся для разных частей речи;
- T – текстовые выражения (слова и словосочетания), описанные в ресурсе;
- S – отношения между текстовыми выражениями и синсетами;
- M – совокупность неоднозначных текстовых выражений: $M \subset T$;
- A_n – аксиомы транзитивности и наследования, индекс n отражает тот факт, что аксиомы обсуждаются и используются в подавляющем большинстве случаев только для синсетов существительных.

В результате рассмотрения структурных особенностей информационно-поисковых тезаурусов и тезаурусов типа WordNet, можно сделать следующие выводы о сходстве и различии используемых моделей представления знаний в этих тезаурусах.

Наиболее бросающееся в глаза различие состоит в том, что информационно-поисковые тезаурусы описывают определённую предметную область, а WordNet содержит информацию о значениях общей лексики языка. Однако это различие не является принципиальным, поскольку можно строить тезаурусы типа WordNet и для конкретных предметных областей. Более значимые различия имеются в выборе единиц тезаурусов.

В информационно-поисковых тезаурусах имеется множество ограничений на включение в тезаурус языковых единиц: дескрипторы должны быть чётко отделены по смыслу друг от друга, многозначность языковых единиц практически не представлена, ограничивается глубина иерархий и т.д. Это приводит к возникновению существенного расхождения между единицами тезауруса и языковыми единицами, упоминаемыми в текстах предметной области. В тезаурусах типа Wordnet такой разницы нет: если существует слово или выражение с определёнными значениями, то оно включается в тезаурус в соответствующем количестве значений.

Если сравнивать систему отношений в стандартных информационно-поисковых тезаурусах и тезаурусах типа WordNet, то, прежде всего, нужно брать для сравнения отношения между синсетами существительных WordNet, поскольку дескрипторы информационно-поисковых тезаурусов – это обычно существительные и группы существительного. Оба типа тезаурусов имеют небольшой набор отношений, что, несомненно, объясняется разнообразием описываемых сущностей. При этом, однако, в наборе отношений информационно-поискового тезауруса имеется отношение ассоциации, которое при всей его неопределённости, позволяет лучше описать отношения между сущностями предметной области, чем отношение *часть-целое* в версии WordNet и *антонимии*.

2 Принципы разработки лингвистической онтологии для автоматической обработки текстов широкой предметной области

В предыдущем разделе было показано, что для приложений информационного поиска использовались разные лингвистические и онтологические ресурсы: информационно-поисковые тезаурусы, тезаурусы типа WordNet, формальные онтологии. Все они имеют некоторые проблемы при использовании их как ресурсов в рамках решения задач информационного поиска.

Традиционные информационно-поисковые тезаурусы создавались как инструмент для помощи человеку, их структура направлена на предоставление удобств индексатору (удаление слишком конкретных терминов, удаление близких по смыслу терминов, добавление комментариев по употреблению тех или иных дескрипторов). В связи с этим при использовании традиционных информационно-поисковых тезаурусов в автоматической обработке текстовой информации возникают существенные проблемы. В литературе предлагается использовать методы машинного обучения для проставления дескрипторов тезауруса по уже проиндексированному людьми множеству документов, создание которого представляется чрезвычайно дорогой процедурой.

Формальные онтологии, одним из провозглашаемых принципов которых является независимость от конкретного языка, сложно использовать в автоматической обработке текстов для приложений информационного поиска, поскольку для этого единицы формальной онтологии необходимо связать с единицами конкретного естественного языка. Кроме того, стремление к чёткой формализации отношений между понятиями в формальной онтологии чрезвычайно трудно соблюсти в ситуации, когда необходимо создавать сверхбольшие ресурсы, и, кроме того, приводит к проблемам при установлении связей «понятие – языковое выражение».

Ресурсы типа WordNet создаются для описания лексики языка в соответствии с лингвистическими традициями. Но любая информационная система имеет дела не только с общей лексикой, но и с конкретными предметными областями и их терминологиями. Анализируя попытки создать терминологические ресурсы на основе WordNet, следует отметить, что структура WordNet не приспособлена для описания терминологий. Раздельное описание частей речи, слишком большой набор несвязанных между собой значений, недостаточная проработанность принципов включения многословных выражений, – всё это приводит к проблемам разработки и использования терминологических ресурсов, созданных на базе модели WordNet.

Вместе с тем, в каждом из этих типов ресурсов есть те качества, которые должны присутствовать в большом лингвистическом ресурсе для информационно-поисковых приложений. Такой ресурс для автоматической обработки текстов в информационно-поисковых приложениях в широких предметных областях должен сочетать принципы различных традиций и методологий:

- методологии разработки традиционных информационно-поисковых тезаурусов;
- методологии разработки лингвистических ресурсов типа WordNet (Принстонский университет);
- методологии создания формальных онтологий.

Поскольку важно уметь описывать терминологию широких предметных областей, то необходимо использовать опыт разработки информационно-поисковых тезаурусов, а именно:

- информационно-поисковый контекст;
- единицы ресурса создаются на основе значений терминов;
- описание большого числа многословных выражений, принципы включения (невключения) многословных единиц;

- небольшой набор отношений между понятийными единицами.

Так как предполагается использовать лингвистический ресурс в автоматическом режиме обработки текстов, то необходимо использовать методологию разработки лексических ресурсов типа WordNet, в которой важны следующие положения:

- понятийные единицы создаются на основе значений реально существующих языковых выражений;
- многоступенчатое иерархическое построение лексико-терминологической системы понятий;
- принципы описания значений многозначных слов и выражений.

Из методологии разработки формальных онтологий важны следующие положения:

- разработка лингвистической онтологии как иерархической системы;
- использование для описания отношений формально определяемых отношений с формальными свойствами;
- в качестве аксиом (правил вывода) использование свойств транзитивности и наследования отношений между понятиями.

Таким образом, в результате исследований и экспериментов сформулированы принципы создания онтологических ресурсов для автоматической обработки текстов (далее ЛО – *лингвистическая онтология для автоматической обработки текстов*), которые будут изложены в следующем разделе.

3 Модель лингвистической онтологии широкой предметной области

Онтологию ЛО для широкой предметной области D можно формально представить следующим образом:

$$ЛО = \langle C, Ex, NO, R_{lo}, A_{tr,i}, S, T, M_{m,a}, L, DC \rangle,$$

где:

- C – множество понятий онтологии, где понятие обозначает класс сущностей, обладающих одинаковыми свойствами и отношениями с другими классами сущностей;
- Ex – множество экземпляров понятий онтологии, задано отображение $E: C \rightarrow 2^{Ex}$;
- NO – множество имен понятий и экземпляров в онтологии, имена уникальны;
- R_{lo} – набор отношений между понятиями $R_{lo} \subset C \times C$, специально разработанный для автоматической обработки текстов в широких предметных областях;
- $A_{tr,i}$ – множество правил вывода, основанных на свойствах транзитивности и наследования отношений;
- T – множество текстовых входов онтологии – языковых выражений, значения которых представлены в онтологии;
- S – множество отношений между языковыми выражениями (T) и понятиями (C): $\{s(c_i, t_j)\}$;
- $M_{m,a}$ – множество многозначных слов и выражений из T : $M_{m,a} \subset T$; многозначные текстовые входы онтологии делятся на два подвида: M_m – текстовые входы, которые относятся к более чем одному понятию онтологии, и M_a – текстовые входы, которые многозначны, но в онтологии представлено только одно значение: $M_{m,a} = M_m \cup M_a$;
- L – множество лемматических представлений языкового выражения (т.е. представление выражения в виде последовательности слов в словарной форме, например, словосочетание *ценная бумага* представляется в лемматическом виде как *ЦЕННЫЙ БУМАГА*);
- DC – это отображение терминологического состава (TD) заданной коллекции предметной области ($DColl$) на текстовые входы и понятия онтологии:

$$DC: (Dcoll, TD) \rightarrow (T, C).$$

Отображение DC задает критерий минимальной полноты онтологии, которая должна обеспечивать покрытие терминологического состава заданной коллекции предметной области, что, собственно, и отражает суть лингвистической онтологии.

Рассмотрим компоненты модели подробнее.

Предлагаемая модель лингвистической онтологии близка к модели WordNet тем, что провозглашается необходимость подробного покрытия представленных в текстах предметной области понятий и способов их лексико-терминологического выражения в тексте. Отличие от модели WordNet заключается в том, что снижается зависимость создаваемой системы понятий от собственно языковых факторов, таких как разделение системы понятий по частям речи и синонимическая эквивалентность при замене в различных контекстах как фактор выделения понятий.

Таким образом, *лингвистическая онтология предметной области представляет собой базу знаний онтологического типа о понятийной системе и лексико-терминологическом составе предметной области.*

Единицей онтологии ЛО является понятие, как единица в системе понятий, имеющая свои специфические свойства, отличающие данную единицу от других единиц в системе понятий. Такой взгляд соответствует как современной трактовке дескрипторов в информационно-поисковых тезаурусах, так и понятий (классов) в онтологиях.

Каждое введенное понятие должно иметь однозначное имя. Именем может являться однозначное слово или словосочетание, значение которого соответствует этому понятию (т.е. один из текстовых входов понятия). Кроме того, имя может формироваться из многозначного текстового входа с сужающей значение пометой, или совокупностью синонимов, которая определяет значение однозначно. Подобная практика однозначного названия дескриптора подробно разработана в стандартах по созданию информационно-поисковых тезаурусов. Поскольку имя фиксирует особенности обозначаемого им понятия, то это соответствует и практике разработки формальных онтологий.

Каждое понятие снабжается набором текстовых входов – языковых выражений, значения которых соответствуют данному понятию. Такие языковые выражения являются между собой онтологическими синонимами. В текстах может встречаться множество вариантов текстовых входов того или иного понятия, как, например, известно о существовании множественной вариативности терминов предметной области. Эти варианты необходимо фиксировать сразу при вводе понятия, или дополнять при обнаружении в конкретном тексте, поскольку известно, что автоматические методы сопоставления терминов с учётом потенциальной вариативности приводят к снижению точности сопоставления.

В текстах предметной области значительную часть составляют слова, которые не принадлежат конкретной предметной области, могут встречаться в текстах многих предметных областях, т.е. принадлежащие общему лексикону GL , например, *создавать*, *участвовать*, *принимать* и многие другие. Поэтому многозначные слова, описанные в ЛО, делятся на два множества. В первое множество M_m входят выражения, которые отнесены более чем к двум понятиям в ЛО, например, *дерево как растение и дерево как материал*. Во второе множество M_a входят выражения, которые отнесены к одному понятию из ЛО, но данные слова могут иметь другое значение в GL (например, *стали*: *сталь*, *стать*), что отмечается специальной пометкой многозначности. Таким образом:

$$M = M_m \cup M_a,$$

$$\forall t_i ((t_i \in M_m) \rightarrow (\exists c_i, c_j \in C^D, c_i \neq c_j, (s(c_i, t_i) \wedge s(c_j, t_j))))) ,$$

$$\forall t_i ((t_i \in M_a) \rightarrow (\exists c_i \in C^D, c_j \in C^{GL} (s(c_i, t_i) \wedge s(c_j, t_j))))) ,$$

где:

- C^{GL} – система понятий общего лексикона, которые, возможно, не описаны в данной ЛО;
- C^D – система понятий предметной области, для которой создаётся онтология;
- $s(c_i, t_i)$ – пара текстовое выражение и понятие онтологии, соответствующее значению этого текстового выражения.

Система отношений, используемых в лингвистической онтологии, представляет собой небольшой набор отношений, и в этом предлагаемая модель лингвистической онтологии близка к традиционным информационно-поисковым тезаурусам. Однако для установления отношений применяются строгие онтологические критерии. С каждым отношением связан свой набор аксиом, которые имеют важное значение для различных этапов автоматической обработки текстов и приложений информационного поиска.

Отношения между понятиями, описываемые в онтологическом ресурсе, предназначенном для автоматической обработки текстов в рамках информационно-поисковых приложений должны выполнять разнообразные функции.

Во-первых, эти отношения должны использоваться в классических функциях информационно-поисковых тезаурусов для расширения поискового запроса или вывода рубрики документа. Во-вторых, отношения важны для разрешения многозначности языковых единиц, включённых в ресурс, поскольку естественным методом реализации автоматической процедуры разрешения многозначности является сопоставление контекста употребления многозначной единицы в тексте и контекста соответствующего понятия в онтологическом ресурсе. В-третьих, отношения в онтологическом ресурсе могут использоваться для выявления лексической связности в текстах и использования выявленной структуры текста для улучшения качества обработки текстов.

Для реализации любой из этих функций необходимо осуществление специализированного логического вывода: встретив вхождение некоторого понятия в тексте, нужно делать многошаговые проходы по отношениям. В условиях широкой предметной области и, следовательно, необходимости создания лингвистической онтологии большой величины, для обработки текстов, не ограниченных по стилю, жанру, величине, наиболее стабильно можно опираться на те отношения, которые не исчезают, не изменяются в течение всего срока существования любого или подавляющего большинства экземпляров понятия: например, лес всегда состоит из деревьев. Поэтому в лингвистической онтологии описываются отношения только между такими понятиями c_i и c_j , которые присущи по крайней мере одному из этих понятий по определению.

В качестве аксиом используются свойства транзитивности и наследования:

$$r(c_i, c_j) \wedge r(c_j, c_k) \rightarrow r(c_i, c_k) \quad (A_{tr})$$

$$r(c_i, c_j) \wedge r_1(c_j, c_k) \rightarrow r_1(c_i, c_k) \quad (A_i)$$

Набор отношений ЛО, их свойства и особенности их описания будут рассмотрены в следующем разделе.

4 Модель отношений в лингвистической онтологии

Для логического вывода при обработке текстов в широкой предметной области необходимо, прежде всего, описывать наиболее существенные отношения между понятиями, сохраняющие свою значимость, надёжность в различных контекстах упоминания понятий.

Было выдвинуто предположение, которое подтвердилось в ходе экспериментов в различных предметных областях, что наиболее значимыми отношениями между понятиями являются те, которые связаны с *сосуществованием этих понятий или их экземпляров*. В резуль-

тате в модели лингвистической онтологии используются четыре основных отношения; каждое из них обладает вышеуказанными свойствами, которые будут подробно рассмотрены в следующих подразделах.

В качестве основных отношений онтологии ЛО используется следующий набор надёжных отношений: *выше-ниже*, *часть-целое*, отношение онтологической зависимости, обозначаемое как несимметричная ассоциация: *асц1-асц2*. Кроме того, в ограниченных случаях используется симметричная ассоциация – *асц*. Рассмотрим набор отношений более подробно.

4.1 Отношение *выше-ниже*

Родовидовое отношение *выше-ниже*, получившее своё название от традиционных тезаурусов, в нашей модели трактуется как онтологическое отношение *класс-подкласс*.

Пусть *выше*(c_i, c_j) – отношение *класс-подкласс* между понятиями c_i и c_j (c_i является видом (подклассом) c_j), $r(c_i, c_j)$ – это произвольное отношение между понятиями c_i и c_j . Тогда свойства отношения *класс-подкласс* могут быть записаны следующим образом:

1) транзитивность отношения *класс-подкласс*:

$$(\text{выше}(c_i, c_j) \wedge \text{выше}(c_j, c_k) \rightarrow \text{выше}(c_i, c_k));$$

2) свойство наследования по отношению *класс-подкласс*:

$$\text{выше}(c_i, c_j) \wedge r(c_j, c_k) \rightarrow r(c_i, c_k)$$

Исторически наиболее ранними принципами установления родовидовых отношений, используемых и в работах по искусственному интеллекту, и в компьютерной лингвистике, было использование ставших классическими диагностических высказываний. Например, если понятие c_i является видом понятия c_j , t_i является текстовым входом понятия c_i , t_j является текстовым входом понятия c_j , можно сказать, что « t_i – это t_j », « t_i ... и другие t_j », «к числу t_j относятся t_i ».

Однако позже выяснилось, что одни и те же выражения естественного языка (и, в частности, применяемые диагностические тесты) могут с онтологической точки зрения соответствовать значительно различающимся отношениям между сущностями внешнего мира, в том числе обладающими совсем другими свойствами [17]. Поэтому многие методические руководства по разработке понятийных ресурсов рекомендуют осуществлять дополнительные проверки для устанавливаемого отношения *класс-подкласс*.

Наиболее распространённой рекомендацией для проверки правильности установления отношений *класс-подкласс* является проверка принадлежности экземпляров нижестоящего понятия c_i множеству экземпляров вышестоящего понятия, что подразумевает ответ на вопрос: если объект является экземпляром одного понятия, то будет ли он обязательно (т.е. по определению) экземпляром некоторого другого понятия c_j [18], т.е.:

$$\forall c_i, c_j \in C, \forall e \in E(c_i) : \text{выше}(c_i, c_j) \rightarrow e \in E(c_j).$$

Одной из серьёзных проблем описания отношений *класс-подкласс* в онтологиях, и в частности в лингвистических онтологиях, применяемых в автоматической обработке текстов, является их смешение с описанием отношений «тип-роль»: от понятия-типа к понятию-роли.

Дж. Сова [19] определяет понятие-роль следующим образом: «Подтипы сущности могут быть двух видов: натуральные типы и ролевые типы, которые являются подтипами натуральных типов в конкретных образцах отношений (particular pattern of relationships). Человек, например, является натуральным типом, а учитель – это подтип человека в ситуации обучения». Сова предлагает простой тест для определения, является ли понятие ролью:

rt – является ролевым типом, если сущность может быть охарактеризована как *rt* только при рассмотрении другой сущности, действия или состояния.

В соответствии с взглядом Дж. Совы роли ассоциируются с отношениями, но при этом они сущности, а не отношения.

В работе [17] Н. Гуарино отмечает, что тест Совы для различения типов и ролей недостаточен: например, нечто может быть охарактеризовано как автомобиль, только если оно имеет, по крайней мере, колеса и мотор, но автомобиль является типом, а не ролью. В работе [20] условие, сформулированное Совой, заменяется на условие так называемой внешней онтологической зависимости:

Понятие c_i называется внешне зависимым от понятия c_j , если для всех экземпляров c_i должен существовать экземпляр c_j , который не является частью или материалом экземпляра c_i .

Авторы работы [21] замечают, что точнее это условие можно сформулировать так:

Экземпляр понятия c_j не должен быть внутренним для экземпляра понятия c_i , т.е. не должен быть частью, или материалом, или качеством (цвет).

Например, понятие сын является внешне зависимым от понятия родитель, поскольку существует только в рамках семьи по отношению к своим родителям. С другой стороны, автомобиль не является внешне зависимым от какой-либо сущности, поскольку требует существования мотора, который является частью автомобиля. Таким образом, данное условие формализует определение ролей, данное Дж. Совой.

Ошибкой при описании ролей является описание их как вышестоящих понятий для типов, которые могут их занимать [17, 22]. Например, прочитав следующий фрагмент статьи Википедии о консервантах: *«Наиболее используемыми консервантами в древнем мире были поваренная соль, мёд, вино»*, - лингвист, инженер по знаниям может представить эту информацию посредством отношения *класс-подкласс* между понятием *«консервант»* и понятием *«поваренная соль»*. Но в широкой предметной области это приведёт к тому, что все экземпляры поваренной соли будут трактоваться как консерванты, любое упоминание поваренной соли в тексте может быть предъявлено пользователю при поиске как пример упоминания консерванта, что неверно.

Действительно, такое представление неточно описывает свойства сущностей, поскольку не каждая порция поваренной соли является консервантом, таким образом, нарушается основной принцип установления отношений *класс-подкласс*.

4.2 Отношение *часть-целое*

Отношение *часть-целое* является одним из самых известных и полезных в разных предметных областях. Особенностью отношения *часть-целое* является разнообразие его проявлений. Наиболее типичными объектами, к которым применяется это отношение, являются физические объекты. Но также это отношение может устанавливаться и между сущностями, длящимися во времени, между группами сущностей, ролями и процессами и др.

При моделировании этого отношения в компьютерных ресурсах важным вопросом является обеспечение транзитивности этого отношения. Свойство транзитивности обычно постулируется в классических аксиомах философской мереологии, однако на практике с транзитивностью возникают проблемы [23]. В связи с этим при моделировании этого отношения в конкретных компьютерных ресурсах приходится принимать специализированный набор решений. Так, например, подход к описанию отношений *часть-целое* в ресурсах типа WordNet в значительной степени отличается от традиций описаний этих отношений в информационно-поисковых тезаурусах [1, 3]. В рамках многих онтологий предлагаются свои принципы представления отношений *часть-целое* [24, 25].

При описании отношения *часть-целое* в предлагаемой модели лингвистической онтологии были сделаны усилия, чтобы обеспечить транзитивность этого отношения. Если обсуждать свойства транзитивности и наследования для отношения *часть-целое* в ресурсе, предназначенном для автоматической обработки текстов в информационно-поисковых приложениях, то наиболее важной операцией, которую необходимо обеспечить, является релевантность обсуждения частей обсуждению целого. То есть необходимо описывать отношения *часть-целое* так, что если текст или его некоторый фрагмент посвящен обсуждению части, то можно предполагать, что этот текст (или его фрагмент) будет релевантен и обсуждению целого [26].

Важным условием для обеспечения такого наследования является онтологическая зависимость существования части от существования целого. Действительно, если всё существование некоторой части связано с существованием целого, то и тексты, обсуждающие эту часть, будут иметь непосредственное отношение и к целому, даже если это целое в тексте явно не упомянуто. Зависимость части может быть двух видов:

- зависимость по существованию, когда экземпляр части нельзя отделить от экземпляра целого (*балкон зала – зрительный зал*), т.н. неотделимые части;
- родовая зависимость, при которой существование экземпляра-части требует существования хотя бы одного экземпляра целого (*двигатель автомобиля – автомобиль*), т.е. обязательные целые [27].

Этим требованием, в частности, обеспечивается выполнение рекомендаций руководств и стандартов по разработке информационно-поисковых тезаурусов [1] в том, что описание иерархических отношений должно быть независимо от контекста их упоминания. Описание таких независимых от контекста, «надёжных» отношений в ресурсах, предназначенных для автоматической обработки текстов, имеет большое значение, поскольку в автоматическом режиме часто бывает невозможно использовать контекст для подтверждения существования того или иного отношения.

Накладывая вышеперечисленные условия установления отношения *часть-целое*, мы принимаем достаточно широкую трактовку этого отношения: между физическими объектами (*балкон зала – зрительный зал*); между регионами (*Европа – Евразия*); между веществами (*амидная группа – амиды*); между множествами (*батальон – рота*); между частями текста (*строфа – стихотворение*); между процессами (*номер представления – представление*).

Также отношения *часть-целое* устанавливаются для связей между сущностями, одна из которых является внутренней, зависимой от другой, таких как:

- характерные свойства (*водоизмещение – судно*);
- роль в процессе (*инвестор – инвестирование*) (ср. [21, 28]);
- участник сферы деятельности – сфера деятельности (*машиностроительный завод – машиностроение*).

В таком широком понимании описываемые отношения *часть-целое* в предлагаемой модели лингвистической онтологии наиболее близки к так называемым *внутренним отношениям* (*internal relations*), описанных Н. Гуарино в работе [29].

В настоящее время в ЛО используются следующие свойства отношения *часть-целое*:

$часть(c_1, c_2) \leftrightarrow целое(c_2, c_1)$;

$целое(c_1, c_2) \wedge целое(c_2, c_3) \rightarrow целое(c_1, c_3)$ – транзитивность отношения;

$выше(c_1, c_2) \wedge целое(c_2, c_3) \rightarrow целое(c_1, c_3)$ – наследование отношения целое по отношению *выше-ниже*.

Приведём примеры вывода на основе свойства транзитивности:

целое (ОБВИНЯЕМЫЙ ПО ДЕЛУ, СУДЕБНОЕ ОБВИНЕНИЕ)
 $\wedge$ *целое (СУДЕБНОЕ ОБВИНЕНИЕ, СУДЕБНЫЙ ПРОЦЕСС)*
 $\rightarrow$ *целое (ОБВИНЯЕМЫЙ ПО ДЕЛУ, СУДЕБНЫЙ ПРОЦЕСС);*

целое (АПТЕКА, ЛЕКАРСТВЕННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ)
 $\wedge$ *целое (ЛЕКАРСТВЕННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ)*
 $\wedge$ *целое (МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ, ЗДРАВООХРАНЕНИЕ)*
 $\rightarrow$ *целое (АПТЕКА, ЗДРАВООХРАНЕНИЕ).*

В информационных системах такие цепочки часто интерпретируются следующим образом: если в тексте обсуждается *обвиняемый по делу*, то этот текст релевантен и таким темам, как *судебное обвинение*, *судебный процесс* и т.д.

В результате в создаваемых по данной модели лингвистических онтологиях реально работает вывод по транзитивности отношений *часть-целое*, что является новым достижением для лингвистических онтологий. В тезаурусе WordNet транзитивность отношения *часть-целое* не предполагалась, а в рекомендациях по информационно-поисковым тезаурусам это отношение сводилось к весьма узкому набору случаев, из-за чего такой вывод не мог играть значительной роли.

4.3 Отношение несимметричной ассоциации

Отношение несимметричной ассоциации asc_1 - asc_2 представляет внешнюю онтологическую зависимость между понятиями [17, 29].

Это отношение устанавливается между понятиями c_1 и c_2 , если выполняются два критерия:

- между понятиями c_1 и c_2 не могут быть установлены ни отношение *класс-подкласс*, ни отношение *часть-целое*;
- следующее утверждение является истинным: существование c_2 означает существование c_1 .

Эти два условия означают, что понятие c_2 (зависимое понятие) является внешне зависимым от c_1 :

$$asc_1(c_2, c_1) = asc_2(c_1, c_2).$$

Приведём примеры отношений внешней зависимости, которые представляются в модели в виде направленных ассоциаций:

- $asc_2(АВТОМОБИЛЬ, АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ)$: понятие *АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ* зависит от понятия *АВТОМОБИЛЬ*, поскольку оно существует, если только существует понятие *АВТОМОБИЛЬ*;
- $asc_2(ДЕРЕВО, ЛЕС)$: понятие *ЛЕС* существует, если только понятие *ДЕРЕВО* существует. Отметим, что в предложенной системе отношений мы не можем описать отношение между понятиями *ДЕРЕВО* и *ЛЕС* как отношение *часть-целое*, поскольку деревья могут расти во многих разных местах, не только в лесу.

Отношения онтологической зависимости применимы к различным областям, поэтому чаще всего они используются в онтологиях верхнего уровня [19, 21]. Кроме того, в работе [30] авторы обсуждают важность этого отношения в области биологии: движение клетки не может возникнуть без существования клетки. Однако впервые в описываемой модели пред-

лагается использовать отношение онтологической зависимости в лингвистической онтологии.

4.4 Группировки понятий и отношений в ЛО

Для различных приложений автоматической обработки текстов применяются некоторые группировки понятий (окрестности) и отношений (пути) в ЛО.

Для каждого понятия $c_i \in C$ может быть определена окрестность понятия $O_i \subset C$, такая, что $c_j \in O_i$, если существует набор понятий $\{c_1, \dots, c_k\}$ такой, что $r_1(c_i, c_1), \dots, r_2(c_n, c_{n+1}), \dots, r_r(c_k, c_j) \in R$, и на основе аксиом A_t, A_i выводимо отношение $r(c_i, c_j)$:

$$r_1(c_i, c_1), \dots, r_2(c_n, c_{n+1}), \dots, r_r(c_k, c_j) \mapsto r(c_i, c_j).$$

На рисунке 1 изображена схема окрестности понятия.

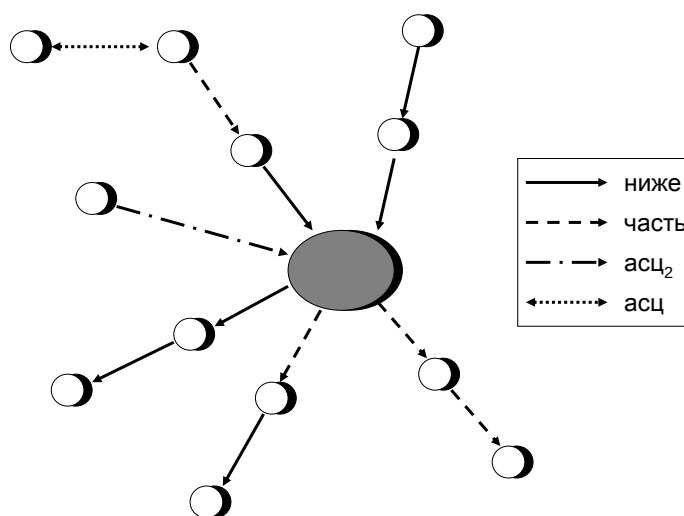


Рисунок 1 - Схема окрестности понятия лингвистической онтологии

На множестве отношений ЛО может быть введено отношение иерархии I по следующим правилам:

$$\text{выше}(c_1, c_2) \rightarrow I(c_1, c_2);$$

$$\text{целое}(c_1, c_2) \rightarrow I(c_1, c_2);$$

$$\text{асц}_1(c_1, c_2) \rightarrow I(c_1, c_2);$$

$$\text{асц}(c_1, c_2) \rightarrow I(c_1, c_2).$$

Это отношение означает, что правый элемент отношения считается более высоким по иерархии, чем левый. Для отношения симметричной ассоциации оба члена отношения равноправны.

В окрестности понятия c_i можно определить верхнюю полуокрестность O^+ и нижнюю полуокрестность O^- :

$$O^+(c_i) \cup O^-(c_i) = O(c_i);$$

$$c_j \in O^+(c_i), \text{ если } c_j \in O(c_i) \wedge I(c_i, c_j);$$

$$c_j \in O^-(c_i), \text{ если } c_j \in O(c_i) \wedge I(c_j, c_i).$$

Пересечение $O^+(c_i)$ и $O^-(c_i)$ может быть непустым из-за существования отношений симметричной ассоциации, входящих в обе полуокрестности. Верхняя полуокрестность понятия c_i также называется *дерево-вверх* понятия c_i , нижняя полуокрестность понятия c_i – *дерево-вниз* понятия c_i .

Можно определить следующие виды путей между понятиями:

- *путь по иерархии вверх* $P_{up}(c_0, c_{00})$: от понятия c_0 к понятию c_{00} существует путь по иерархии вверх, если $c_{00} \in O^+(c_0)$;
- *путь по иерархии вниз* $P_{down}(c_0, c_{00})$: от понятия c_0 к понятию c_{00} существует путь по иерархии вниз, если $c_{00} \in O^-(c_0)$;
- *путь с перегибом вверх* $P_{updown}(c_0, c_{00})$: между понятиями c_0 и c_{00} такими, что $c_0 \notin O(c_{00})$ и $c_{00} \notin O(c_0)$, существует путь с перегибом-вверх, если существует точка перегиба – понятие c_i такое, что

$$\exists c_i : c_i \in O^+(c_0) \wedge c_i \in O^+(c_{00});$$

- *путь с перегибом вниз* $P_{downup}(c_0, c_{00})$: между понятиями c_0 и c_{00} такими, что $c_0 \notin O(c_{00})$ и $c_{00} \notin O(c_0)$, существует путь с перегибом-вниз, если существует точка перегиба – понятие c_j такое, что:

$$\exists c_j : c_j \in O^-(c_0) \wedge c_j \in O^-(c_{00}).$$

Введённые типы концептуальных путей используются в процедурах автоматического разрешения лексической неоднозначности, расширения поискового запроса, вывода рубрик по тексту [26].

Приведём примеры путей по иерархии вверх от понятия *ГОНОЧНЫЙ БОЛИД* (источник - лингвистическая онтология, тезаурус РуТез, см. раздел 5):

ГОНОЧНЫЙ БОЛИД

– ГОНОЧНЫЙ АВТОМОБИЛЬ – АВТОМОБИЛЬНЫЕ ГОНКИ – АВТОСПОРТ

ГОНОЧНЫЙ БОЛИД

– ГОНОЧНЫЙ АВТОМОБИЛЬ – СПОРТИВНЫЙ АВТОМОБИЛЬ – АВТОМОБИЛЬ
 – АВТОМОТОТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО – ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО
 – ТЕХНИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО

5 Лингвистические онтологии, созданные на основе описанной модели

Вышеописанные принципы были положены в основу разработки нескольких больших ресурсов для информационного поиска: общественно-политического тезауруса, тезауруса русского языка РуТез, онтологии по естественным наукам и технологиям ОЕНТ [31], тезауруса Банка России, Авиа-онтологии и ряда других [26].

Созданные онтологические ресурсы имеют одинаковую структуру. Они являются онтологиями, поскольку описывают понятия внешнего мира и отношения между ними. Эти ресурсы принадлежат к особому классу онтологий, так называемым лингвистическим онтологиям, поскольку введение понятий в значительной мере мотивируется значениями языковых единиц, относящихся к предметной области ресурса. В то же время они являются тезаурусами, поскольку каждое понятие связано с набором языковых выражений (слов, терминов, словосочетаний), которыми это понятие может быть выражено в тексте, – такой набор текстовых входов понятий необходим для использования онтологий для автоматической обработки текстов.

Разнообразие предметных областей, для которых созданы эти ресурсы, доказывают универсальность предложенной модели лингвистической онтологии, т.е. посредством такой модели можно описывать базовые свойства и отношения понятий, присутствующие в любой

предметной области. Объёмы созданных ресурсов демонстрируют удобство модели для быстрого наращивания ресурсов.

В настоящий момент опубликована первая версия лингвистической онтологии - тезауруса РуТез – РуТез-lite [32], созданная по предложенной модели. Опубликованная версия включает 26365 понятий, к которым приписано около 115 тысяч слов и выражений, между понятиями установлено около 108 тысяч отношений. Версия тезауруса выложена на сайте <http://www.labinform.ru/ruthes/index.htm>. Полная версия тезауруса РуТез включает 54 тысячи понятий, 160 тысяч слов и выражений, планируется подготовить следующие версии тезауруса к публикации.

Произведённая выкладка позволяет просматривать тезаурус по алфавиту его текстовых входов. Выбор конкретного текстового входа, например, *дерево* позволяет увидеть совокупность понятий, которым приписано данное слово, а именно к понятиям *ДРЕВЕСНОЕ РАСТЕНИЕ* и *ДРЕВЕСИНА (МАТЕРИАЛ)*. Для каждого понятия указаны полные списки текстовых входов, включающие слова разных частей речи, а также словосочетания. Так, для понятия *ДРЕВЕСНОЕ РАСТЕНИЕ* текстовыми входами являются слова и выражения: *дерево*, *деревце*, *деревцо*, *древесная культура*, *древесная порода*, *древесное растение*, *древесный*, *древо* (рисунок 2).

Главная										О проекте										Справка									
А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ы	Э	Ю	Я
ДРЕВЕСНОЕ РАСТЕНИЕ																													
<i>(ДЕРЕВО, ДЕРЕВЦЕ, ДЕРЕВЦО, ДРЕВЕСНАЯ КУЛЬТУРА, ДРЕВЕСНАЯ ПОРОДА, ДРЕВЕСНОЕ РАСТЕНИЕ, ДРЕВЕСНЫЙ, ДРЕВО)</i>																													
ВЫШЕ	РАСТЕНИЕ																												
НИЖЕ	КАКЛО (ДЕРЕВО)																												
НИЖЕ	ЛЕСОНАСАЖДЕНИЕ																												
НИЖЕ	ЛИСТВЕННОЕ ДЕРЕВО																												
НИЖЕ	ПАЛЬМА																												
НИЖЕ	ПЛОДОВОЕ ДЕРЕВО																												
НИЖЕ	ПОДРОСТ ДЕРЕВЬЕВ																												
НИЖЕ	ХВОЙНОЕ ДЕРЕВО																												
НИЖЕ _В	ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВАЯ ПОРОДА																												
ЧАСТЬ	ДРЕВЕСИНА (ЧАСТЬ ДЕРЕВА)																												
ЧАСТЬ	ДРЕВЕСНАЯ КОРА																												
ЧАСТЬ	КРОНА ДЕРЕВА																												
ЧАСТЬ	ПОРОДА ДЕРЕВЬЕВ																												
ЧАСТЬ	СТВОЛ ДЕРЕВА																												
АССОЦ ₂	ДРЕВЕСИНА (МАТЕРИАЛ)																												
АССОЦ ₂	ЛЕСНОЙ МАССИВ																												
АССОЦ ₂	ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ																												
АССОЦ ₂	ОПАСТЬ, ОСЫПАТЬСЯ																												
АССОЦ ₂	ПЕНЬ ДЕРЕВА																												

Рисунок 2 - Статья понятия *ДРЕВЕСНОЕ РАСТЕНИЕ*

Для каждого понятия указаны отношения с другими понятиями. На рисунке 2 в статье понятия *ДРЕВЕСНОЕ РАСТЕНИЕ* указаны виды деревьев, части дерева (*СТВОЛ ДЕРЕВА*,

КОРА ДЕРЕВА, КРОНА ДЕРЕВА и др.), а также онтологически зависимые понятия, т.е. понятия, которые не могли бы появиться, если бы в нашем мире не существовало бы деревьев: ДРЕВЕСИНА (МАТЕРИАЛ), ЛЕСНОЙ МАССИВ (т.е. лес), ПЕнь ДЕРЕВА и др.

Тезаурус РуТез-Lite может быть получен в виде архива файлов в формате XML. Набор файлов включает в себя:

- список понятий тезауруса, для которых указана предметная область (общий лексикон, общественно-политическая область, география); также для большей части понятий имеются толкования, автоматически извлечённые из Викисловаря [32];
- список отношений между понятиями тезауруса,
- список текстовых входов тезауруса; описание текстового входа содержит лемматическое представление текстового входа, синтаксический тип (именная группа, глагольная группа и др.), главное слово именной группы [32];
- список соответствий текстовых входов понятиями тезауруса.

Заключение

В статье представлена модель лингвистической онтологии для автоматической обработки текстов широкой предметной области, учитывающая три существующие методологии создания компьютерных ресурсов. Существенно новым в предложенной модели является набор отношений лингвистической онтологии, который специально подобран для описания широкой предметной области.

Для качественного выполнения всех различных функций отношений лингвистической онтологии при автоматической обработке текстов в приложениях информационного поиска важно обеспечить многоступенчатый логический вывод, что может быть достигнуто на базе свойств транзитивности и наследования. Кроме того, при описании отношений необходимо добиться того, чтобы отношения были максимально «надёжными», не зависели от контекста упоминания понятия.

Для обеспечения этих свойств было предложено использовать небольшой набор отношений, сопоставимый с набором отношений в традиционных информационно-поисковых тезаурусах. Однако были введены более строгие онтологические определения используемых отношений. Такая система отношений отражает наиболее существенные взаимосвязи между сущностями, может применяться для описания отношений между понятиями в самых разных предметных областях.

Разнообразие предметных областей, для которых созданы лингвистические онтологии по предложенной модели, доказывает универсальность этой модели, её способность описывать базовые свойства и отношения понятий, присутствующие в любой предметной области. Объёмы созданных ресурсов демонстрируют удобство модели для быстрого наращивания ресурсов.

Благодарности

Данная работа осуществляется при поддержке фонда РГНФ, грант №15-04-12017.

Список источников

- [1] ISO 25964-1:2011, Thesauri and interoperability with other vocabularies. Part 1: Thesauri for information retrieval / Geneva: International Organization for Standards, 2011.
- [2] ANSI/NISO Z39.19-2005, Guidelines for the Construction, Format, and Management of Monolingual Controlled Vocabularies. – Bethesda, MD: NISO Press, 2005.

- [3] **Miller, G.** Nouns in WordNet / G. Miller // WordNet – An Electronic Lexical Database. – The MIT Press, 1998. – P. 23-47.
- [4] **Berners-Lee, T.** The Semantic Web / T. Berners-Lee, J. Handler, O. Lassila // Scientific American - 2001. – V. 284. – No 5. – P. 28-37.
- [5] **Nirenburg, S.** What's in a symbol: Ontology, representation, and language / S. Nirenburg, Y. Wilks // Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence. - 2001. - V. 13(1). - P. 9-23.
- [6] **Ландэ, Д.В.** Подход к созданию терминологических онтологий / Д.В. Ландэ, А.А. Снарский // Онтология проектирования. - 2014. - № 2(12). - С. 83-91.
- [7] **Sowa, J.** Building, Sharing and Merging Ontologies. - <http://www.jfsowa.com/ontology/ontoshar.htm> (Актуально на 07.03.2015).
- [8] **Magnini, B.** Merging Global and Specialized Linguistic Ontologies / B. Magnini, M. Speranza // Proceedings of OntoLex. - 2002. - P. 43-48.
- [9] **Veale, T.** A context-sensitive framework for lexical ontologies / T. Veale, Y. Hao // Knowledge Engineering Review. - 2007. - Vol. 23(1). - P. 101-115.
- [10] **Guarino, N.** Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification / N. Guarino, P. Giaretta // Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing. - Amsterdam: IOS Press, 1995. - P. 25-32.
- [11] **Клещев, А.С.** Классификация свойств онтологий. Онтологии и их классификации / А.С. Клещев, Е.А. Шалфеева // НТИ сер. 1. - 2005. - №9. - С. 16-22.
- [12] **Corcho, O.** Roadmap to Ontology Specification Languages / O. Corcho, A. Gomez-Perez // Knowledge Engineering and Knowledge Management. Methods, Models and Tools. / Eds: R. Dieng and O. Corby. - Springer, 2000. - P. 80-96.
- [13] **Гаврилова, Т.А.** Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский // СПб: Питер, 2000. - 384 с.
- [14] **Maedche, A.** Learning Ontologies for the Semantic Web / A. Maedche, S. Staab // Proceedings of Semantic Web Workshop. – Hongkong, 2001.
- [15] **Buitelaar, P.** Towards Linguistically Grounded Ontologies. The Semantic Web: Research and Applications / P. Buitelaar, Ph. Cimiano, P. Haase, M. Sintek // Proceedings of the European Semantic Web Conference. LNCS-5554. - Springer Verlag, 2009. - P. 111-125.
- [16] ГОСТ 7.25.-2001. Тезаурус информационно-поисковый одноязычный: Правила разработки: структура, состав и форма представления // Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001.
- [17] **Guarino, N.** Some Ontological Principles for Designing Upper Level Lexical Resources / N. Guarino // Proceedings of First International Conference on Language Resources and Evaluation. - Granada, Spain, 1998.
- [18] **Gomez-Perez, A.** OntoWeb. Technical Roadmap. D.1.1.2. / A. Gomez-Perez, M. Fernandez-Lopez, O. Corcho // IST project IST-2000-29243, 2001.
- [19] **Sowa, J.** Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations / J. Sowa // Brooks Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA. 2000.
- [20] **Guarino, N.** Evaluating ontological decisions with ONTOCLEAN / N. Guarino, C. Welty // Communications of the ACM. - 2002. - V. 45(2). - P. 61-65.
- [21] **Masolo, C.** Social roles and their descriptions / C. Masolo, L. Vieu, E. Bottazzi, C. Catenacci, R. Ferrario, A. Gangemi, N. Guarino // Proceedings of the Ninth International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning. - AAAI Press. 2004.
- [22] **Steinmann, F.** The representation of roles in object-oriented and conceptual modelling / F. Steinmann // Data and Knowledge engineering. - 2000. - V. 35. – No. 1. - P. 83-106.
- [23] **Winston, M.** A Taxonomy of Part-Whole Relations / M. Winston, R. Chaffin, D. Hermann // Cognitive Science/ - 1989. - No. 11. - P. 417-444.
- [24] **Niles, I.** Linking Lexicons and Ontologies: Mapping WordNet to the Suggested Upper Merged Ontology / I. Niles, A. Pease // Proceedings of the IEEE International Conference on Information and Knowledge Engineering.- 2003. - P. 412-416.
- [25] **Masolo, C.** WonderWeb. Final Report / C. Masolo, S. Borgo, A. Gangemi, N. Guarino, A. Oltramari, L. Shneider // Deliverable D18. 2003.
- [26] **Лукашевич, Н.В.** Тезаурусы в задачах информационного поиска / Н.В. Лукашевич. – М.: Изд-во Московского университета, 2011. – 512 с.
- [27] **Guizzardi, G.** Ontological Foundations for Conceptual Part-Wholes Relation: The Case of Collectives and Their Parts / G. Guizzardi // Advanced Information Systems Engineering. Springer CAiSE. LNCS 6741. – Springer, 2011. - P. 138–153.

- [28] **Loebe, F.** Abstract vs. Social Roles: A Refined Top-level Ontological Analysis / F. Loebe // Proceedings of the 2005 AAAI Fall Symposium 'Roles, an Interdisciplinary Perspective: Ontologies, Languages, and Multiagent Systems. - AAAI Press, 2005. - P.93-100.
- [29] **Guarino, N.** The ontological Level: Revisiting 30 yers of Knowledge Representation / N. Guarino // Conceptual Modeling: Foundations and Applications. - Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2009. - P. 52-67.
- [30] **Kumar, A.** The ontology of blood pressure: a case study in creating ontological partitions in biomedicine / A. Kumar, B. Smith. - <http://ontology.buffalo.edu/medo/BPO.pdf> (Актуально на 07.03.2015).
- [31] **Добров, Б.В.** Онтология по естественным наукам и технологиям ОЕНТ: структура, состав и современное состояние / Б.В. Добров, Н.В. Лукашевич // Электронные библиотеки. – 2008. – Т. 11. – №1.
- [32] **Лукашевич, Н.В.** РуТез-Lite, опубликованная версия тезауруса русского языка РуТез / Н.В. Лукашевич, Б.В. Добров, И.И. Четверкин // Международная конференция по компьютерной лингвистике Диалог-2014. – 2014. - С. 340-349.

DEVELOPING LINGUISTIC ONTOLOGIES IN BROAD DOMAINS

N.V. Loukachevitch¹, B.V. Dobrov²

Research Computing Center of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

¹ louk_nat@mail.ru, ² dobrov_bv@mail.ru

Abstract

The paper describes a model of a linguistic ontology for automatic document processing in a broad domain, that is a domain comprising thousands of entity classes and unrestricted number of possible relations between them. We present a novel set of relations between concepts, which was specially developed for automated document processing and information retrieval. We propose to use a small set of relations comparable with relations in traditional information-retrieval thesauri. However, we use stricter, ontologically motivated definitions for establishing relations. The utilized relations describe the most sufficient relationships between entities, can be applied for description of various domains. The set of concepts relations is illustrated with the example from newly published linguistic ontology – thesaurus of Russian language RuThes.

Key words: *linguistic ontology, broad domain, information retrieval, text analytics.*

Acknowledgments

This work is partially supported by Russian Foundation for Humanities, grant No.15-04-12017.

References

- [1] ISO 25964-1:2011, Thesauri and interoperability with other vocabularies. Part 1: Thesauri for information retrieval / Geneva: International Organization for Standards, 2011.
- [2] ANSI/NISO Z39.19-2005, Guidelines for the Construction, Format, and Management of Monolingual Controlled Vocabularies. – Bethesda, MD: NISO Press, 2005.
- [3] **Miller, G.** Nouns in WordNet / G. Miller // WordNet – An Electronic Lexical Database. – The MIT Press, 1998. – P. 23-47.
- [4] **Berners-Lee, T.** The Semantic Web / T. Berners-Lee, J. Handler, O. Lassila // Scientific American - 2001. – V. 284. – No 5. – P. 28-37.
- [5] **Nirenburg, S.** What's in a symbol: Ontology, representation, and language / S. Nirenburg, Y. Wilks // Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence. - 2001. - V. 13(1). - P. 9-23.
- [6] **Lande, D.V.** Podhod k sozdaniju terminologicheskikh slovarei [Approach to the creation of terminological ontologies] / D.V. Lande, A.A. Snarskii // Ontologia proektirovaniya. – 2014. – No. 2(8). – P. 49-55. (In Russian).
- [7] **Sowa, J.** Building, Sharing and Merging Ontologies. - <http://www.jfsowa.com/ontology/ontoshar.htm> (Valid on 07.03.2015).

- [8] **Magnini, B.** Merging Global and Specialized Linguistic Ontologies / B. Magnini, M. Speranza // Proceedings of OntoLex. - 2002. - P. 43-48.
- [9] **Veale, T.** A context-sensitive framework for lexical ontologies / T. Veale, Y. Hao // Knowledge Engineering Review. - 2007. - Vol. 23(1). - P. 101-115.
- [10] **Guarino, N.** Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification / N. Guarino, P. Giarretta // Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing. - Amsterdam: IOS Press, 1995. - P. 25-32.
- [11] **Kleschev, A.S.** Klassifikacija svoystv ontologii. Ontologii i ih klassifikacii [Classification of ontology properties. Ontologies and their Classification] / A.S. Kleschev, E.A. Shalfeeva // NTI ser. 1. - 2005. - No. 9. - P. 16-22. (In Russian).
- [12] **Corcho, O.** Roadmap to Ontology Specification Languages / O. Corcho, A. Gomez-Perez // Knowledge Engineering and Knowledge Management. Methods, Models and Tools. / Eds: R. Dieng and O. Corby. - Springer, 2000. - P. 80-96.
- [13] **Gavrilova, T.A.** Bazy znaniy intellektual'nyh sistem [Knowledge Bases on Intellectual Systems] / T.A. Gavrilova, V.F. Horoshevskij. - SPb.: Piter, 2001. - 384 p. (In Russian).
- [14] **Maedche, A.** Learning Ontologies for the Semantic Web / A. Maedche, S. Staab // Proceedings of Semantic Web Workshop. - Hongkong, 2001.
- [15] **Buitelaar, P.** Towards Linguistically Grounded Ontologies. The Semantic Web: Research and Applications / P. Buitelaar, Ph. Cimiano, P. Haase, M. Sintek // Proceedings of the European Semantic Web Conference. LNCS-5554. - Springer Verlag, 2009. - P. 111-125.
- [16] GOST 7.25.-2001. Thesaurus for Information Retrieval: Guidelines of developing: structure, and form of representation // System of Standards on Information. - Minsk: Interstate council on Standardization, metrology and certification. 2001. (In Russian).
- [17] **Guarino, N.** Some Ontological Principles for Designing Upper Level Lexical Resources / N. Guarino // Proceedings of First International Conference on Language Resources and Evaluation. - Granada, Spain, 1998.
- [18] **Gomez-Perez, A.** OntoWeb. Technical Roadmap. D.1.1.2. / A. Gomez-Perez, M. Fernandez-Lopez, O. Corcho // IST project IST-2000-29243, 2001.
- [19] **Sowa, J.** Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations / J. Sowa // Brooks Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA. 2000.
- [20] **Guarino, N.** Evaluating ontological decisions with ONTOCLEAN / N. Guarino, C. Welty // Communications of the ACM. - 2002. - V. 45(2). - P. 61-65.
- [21] **Masolo, C.** Social roles and their descriptions / C. Masolo, L. Vieu, E. Bottazzi, C. Catenacci, R. Ferrario, A. Gangemi, N. Guarino // Proceedings of the Ninth International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning. - AAAI Press. 2004.
- [22] **Steinmann, F.** The representation of roles in object-oriented and conceptual modelling / F. Steinmann // Data and Knowledge engineering. - 2000. - V. 35. - No. 1. - P. 83-106.
- [23] **Winston, M.** A Taxonomy of Part-Whole Relations / M. Winston, R. Chaffin, D. Hermann // Cognitive Science/ - 1989. - No. 11. - P. 417-444.
- [24] **Niles, I.** Linking Lexicons and Ontologies: Mapping WordNet to the Suggested Upper Merged Ontology / I. Niles, A. Pease // Proceedings of the IEEE International Conference on Information and Knowledge Engineering.- 2003. - P. 412-416.
- [25] **Masolo, C.** WonderWeb. Final Report / C. Masolo, S. Borgo, A. Gangemi, N. Guarino, A. Oltramari, L. Shneider // Deliverable D18. 2003.
- [26] **Loukachevitch, N.V.** Tezaurusy v zadachah informacionnogo poiska [Thesauri in Information-Retrieval Tasks] / N.V. Loukachevitch / - Moscow: Publishing House of Moscow State University. 2011. - 512 p. (In Russian).
- [27] **Guizzardi, G.** Ontological Foundations for Conceptual Part-Wholes Relation: The Case of Collectives and Their Parts / G. Guizzardi // Advanced Information Systems Engineering. Springer CAiSE. LNCS 6741. - Springer, 2011. - P. 138-153.
- [28] **Loebe, F.** Abstract vs. Social Roles: A Refined Top-level Ontological Analysis / F. Loebe // Proceedings of the 2005 AAAI Fall Symposium 'Roles, an Interdisciplinary Perspective: Ontologies, Languages, and Multiagent Systems. - AAAI Press, 2005. - P.93-100.
- [29] **Guarino, N.** The ontological Level: Revisiting 30 yers of Knowledge Representation / N. Guarino // Conceptual Modeling: Foundations and Applications. - Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2009. - P. 52-67.
- [30] **Kumar, A.** The ontology of blood pressure: a case study in creating ontological partitions in biomedicine / A. Kumar, B. Smith. - <http://ontology.buffalo.edu/medo/BPO.pdf> (Valid on 07.03.2015).
- [31] **Dobrov, B.V.** Ontologija po estestvennym naukam i tehnologijam [Ontology on Natural Sciences and Technologies: Structure and Current State] / B.V. Dobrov, N.V. Loukachevitch // Elektronnnye biblioteki. - 2008. - V. 11. - No. 1 (in Russian).

- [32] **Loukachevitch, N.V.** RuTez-Lite, opublikovannaja versija tezaurusa russkogo jazyka [RuThes-Lite, published version of thesaurus of Russian language RuThes] / N.V. Loukachevitch, B.V. Dobrov, I.I. Chetviorkin // Proc. of international conference on computational linguistics Dialog-2014. – 2014. - P. 340-349.
-

Сведения об авторах



Лукашевич Наталья Валентиновна, 1964 г. рождения. Окончила факультет Вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова в 1986 г., к.ф.-м.н. (1989). Ведущий научный сотрудник НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова. В списке научных трудов более 150 работ в области автоматической обработки текстов, представления знаний.

Loukachevitch Natalia Valentinovna (b. 1964) graduated from Lomonosov Moscow State University in 1986, PhD (1989). She is leading researcher in Research Computing Center of Lomonosov Moscow State University. She is author of more 150 scientific papers in the field of natural language processing.



Добров Борис Викторович, 1963 г. рождения. Окончил факультет Вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова в 1985 г., к.ф.-м.н. (1988). Заведующий лабораторией НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова. В списке научных трудов более 100 работ в области информационного поиска, онтологий

Dobrov Boris Viktorovich (b. 1963) graduated from Lomonosov Moscow State University in 1985, PhD (1988). Chief of laboratory Research Computing Center of Lomonosov Moscow State University. He is author of more than 100 publications in the field of information retrieval, ontologies.

УДК 629.7.01

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ ОСНОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Д.В. Шустова

*Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет), Самара, Россия
ShustovaDV@yandex.ru*

Аннотация

Современный период развития информационных технологий связан с интеллектуальной поддержкой процессов принятия решений, с совершенствованием методов и технологий взаимодействия пользователей с информационными системами. На сегодняшний день одним из наиболее интересных подходов в теории и практике разработки информационных систем, основанных на знаниях, является онтологический подход. В статье приведены результаты анализа существующих стандартов и редакторов онтологий. Описывается методика создания онтологий, предназначенных для использования в качестве семантических основ разрабатываемых информационных систем в предметной области «Проектирование и производство авиационной техники». Приведены примеры использования разработанной методики при проектировании - тезаурус предметной области «Самолет», являющийся семантической основой информационной системы «Робот-проектант», - и при производственном планировании - базовая онтология машиностроительного предприятия, являющаяся семантической основой при создании информационной системы «Smart Factory».

Ключевые слова: информационная система, онтология, тезаурус, семантическая основа, сущность, связь.

Введение

Увеличение эргономичности интерфейсного обеспечения, мощности баз данных и знаний в предметных областях (ПрО), связанных с проектированием и производством авиационной техники (ППАТ), коллективов разработчиков информационных систем (ИС) требует согласования данных и знаний, циркулирующих как в самих системах, так и находящихся в неформализованном виде у пользователей. Построение ИС на основе онтологического анализа ПрО и разработка семантических моделей этих областей как фундамента информационного и лингвистического обеспечения, существенно сокращает время на доводку разрабатываемых систем под новые задачи, повышает качество работ за счёт согласованности данных, процедур и интерпретации результатов моделирования.

Семантическая основа – это информационная модель ПрО, обработанная с учётом анализа взаимосвязи терминов и понятий этой ПрО и отношений между ними. Семантические основы ИС для ППАТ учитывают:

- особенности и специфику решаемых задач ПрО ППАТ;
- многопользовательский характер применения инструментариев;
- разный уровень компетенций и ответственности пользователей;
- сложившийся понятийный аппарат ПрО ППАТ.

1 Особенности создания онтологий

Онтология – это формальная спецификация концептуализации [1], смысловая модель предметной области [2]. Онтологии в общем виде определяются как совместно используемые формальные концепции конкретных ПрО, информацией из которых могут обмениваться люди и приложения [3].

Создание онтологии – сложный и длительный процесс. При её создании можно использовать языки представления онтологий [4] или воспользоваться конструктором онтологий – приложением, поддерживающим создание и управление онтологиями, импорт/экспорт в разные форматы, доступ к библиотекам онтологий, визуализацию, машины вывода, языки запросов. Конструктор онтологий позволяет вносить изменения в систему специалистам без навыков программирования, а также без прерывания работы системы [5]. Кроме этого на выбор того или иного конструктора онтологий оказывает существенное влияние предметная область и сфера деятельности.

На сегодняшний день одним из наиболее перспективных стандартов организации онтологических баз данных, определяющих структуру объектов и систем, является стандарт ISO 15926. В нём специфицируется принимаемая модель данных, определяющая значение сведений о жизненном цикле промышленного объекта в едином контексте. В соответствии со стандартом ISO 15926 классы в онтологии упорядочены в структуру (рисунок 1).



Рисунок 1 – Структура онтологии на базе стандарта ISO 15926

Основные сущности понятия «Онтология», показаны на рисунке 2. Создаваемая «Онтология ПрО ППАТ» является *одним из видов* «Онтологий в информатике». «Способом представления онтологии» для разрабатываемого робота-проектанта является «семантическая сеть» и «тезаурус», который *содержит* «термины», «определения», «отношения», «связи» и имеет «язык описания». Базовая онтология машиностроительного предприятия является *одним из видов* «Онтологий ПрО ППАТ». «Онтология МСП» представлена в виде «семантической сети», которая *содержит* «термины», «отношения», «связи» и «графическое представление» (см. рисунок 2, где: *has subclass* – ведущий тип отношений, *subclass some* – прочий тип отношений).

2 Методика создания онтологий в ПрО ППАТ

На основании рассмотренных стандартов (см. раздел 1), а также с учётом результатов исследований в области онтологий [1-10] предлагается методика создания онтологий в ПрО ППАТ, являющихся семантической основой разрабатываемых прикладных ИС. Методика

включает в себя некоторые правила и принципы разработки тезаурусов и онтологий, описанные в источниках [6-8], доработанные автором в соответствии со спецификой ПрО ППАТ. Основное содержание методики представлено ниже.

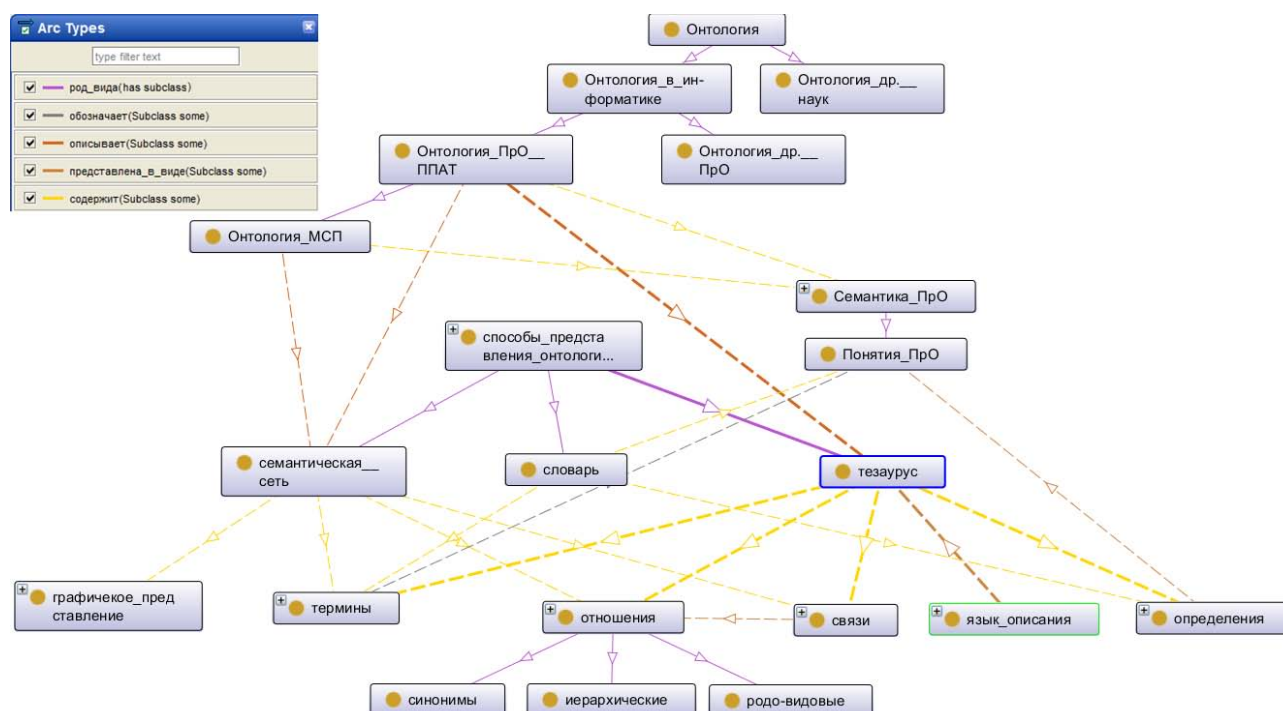


Рисунок 2 – Основные сущности понятия «Онтология»

1) **Определение ПрО создаваемой онтологии.**

Перед созданием онтологии необходимо найти глобальные границы исследуемой ПрО (самолетостроение, машиностроение, электротехника, двигателестроение, химическая промышленность, пищевое производство и др.) и локальные границы (одну или несколько стадий проектирования, один или все виды летательных аппаратов, автомобилей, двигателей и др.) для того, чтобы в процессе создания не перейти в смежную ПрО. Для определения границ не существует чётких правил, имеет значение только задача, под которую создаётся онтология. В процессе использования онтологии возможно добавление или удаление некоторых сущностей в зависимости от трансформации задач, например, при использовании онтологии ПрО «Самолёт» на предприятии, специализирующемся на выпуске двигателей, возможно добавление в существующую онтологию сущностей ПрО «Авиационное двигателестроение».

2) **Определение причин создания онтологии.**

Потребность в разработке онтологии может возникнуть по многим причинам, например:

- Для анализа, обучения и повторного использования знаний в ПрО.
Декларативная спецификация терминов ПрО, а также графическое представление (семантическая сеть) позволяют анализировать и получать знания в выбранной ПрО. Явные спецификации знаний в ПрО полезны для новых пользователей, которые могут узнать значения терминов этой ПрО [6]. При расширении или создании онтологий в выбранной или смежных ПрО возможно интегрировать несколько существующих онтологий.
- Для использования структурированной информации исследуемой ПрО при создании ИС. Онтология может являться семантической основой при создании ИС. Часто онтология

ПрО сама по себе не является целью. При разработке онтологии определяется набор данных и их структура для использования прикладными программами.

3) **Рассмотрение вариантов повторного использования существующих онтологий.**

Перед началом разработки онтологии необходимо изучить и учесть наличие онтологий в выбранной ПрО. Если такие онтологии существуют, необходимо проверить возможность их использования или расширения.

4) **Изучение ПрО и определение масштаба создаваемой онтологии.**

В процессе создания онтологии, в зависимости от трансформации задач, границы ПрО (глобальные и локальные) и масштаб онтологии (количество сущностей и их экземпляры, содержащиеся в онтологии) могут быть изменены, но на разных этапах проектирования онтологии они помогают ввести ограничения и придерживаться заданных параметров. Масштаб онтологии может быть ограничен быстродействием и/или памятью устройства, на котором используется онтология.

5) **Определение предполагаемых вариантов и сценариев использования.**

Необходимо предположить или точно определить варианты (в учебном процессе, на промышленном предприятии, в бизнесе и др.) и сценарий (учебный план, техническое задание, бизнес-процесс и др.) использования создаваемой онтологии, т.к. от него зависит:

- вид представления онтологии (см. рисунок 2);
- определение целевой группы (пользователей или разработчиков);
- определение требований к рабочей среде, языку онтологии.

Если онтология будет использоваться в качестве семантической основы для ИС, необходимо уточнить у разработчиков ИС какой именно вид представления онтологии им потребуется. При использовании онтологии в учебном процессе необходимо продумать интуитивность и удобство поиска терминов и связей, а также графическую составляющую.

6) **Выбор онтологического редактора.**

С учетом ISO 15926 и Коммюнике онтологического Саммита [9], которое отражает вопросы оценки онтологий в течение всего жизненного цикла и последние тенденции в области создания и поддержки прикладных онтологий, как основ ИС, в качестве критериев для сравнительного анализа онтологических редакторов следует принимать во внимание:

- открытость системы, удобство работы (интуитивность);
- наличие доступного материала для самообучения;
- возможность импортирования данных из СУБД;
- поддержка формата OWL.

7) **Определение терминологической базы и методов её расширения.**

После того, как определена ПрО, в которой будет создаваться онтология и изучены работы в этой ПрО, необходимо определить какие из этих работ (учебники, учебные пособия, словари, справочники, статьи) будут использованы при создании ПрО. Кроме этого необходимо учитывать знания и опыт специалистов выбранной ПрО на протяжении всего жизненного цикла онтологии [9]. Также терминологическая база и методы её расширения могут изменяться как во время создания, так и во время использования онтологии.

8) **Определение ведущего типа отношений между сущностями.**

Сущности в онтологии образуют классы и подклассы. Классы онтологии составляют таксономию — иерархию понятий по отношению вложения [10]. Существует несколько возможных подходов для разработки иерархии классов в онтологии [8]:

- процесс нисходящей разработки (определение самых общих понятий ПрО с последующей конкретизацией);
- процесс восходящей разработки (определение самых конкретных низших классов иерархии с последующей группировкой этих классов в более общие понятия);

- процесс комбинированной разработки (сочетание нисходящего и восходящего подходов, определение более значимых понятий с последующим обобщением и ограничением).

При создании онтологий в наукоемких ПрО, таких как ППАТ, отличающихся большим количеством информации и трансформацией задач на протяжении всего жизненного цикла онтологии, предлагается использовать процесс нисходящей разработки, а именно, начинать создание онтологии с определения ведущего типа отношений (часть-целое, род-вид и др.) в соответствии с ГОСТ [6]. В онтологию, содержащую сущности, связанные только ведущим типом отношений, предлагается добавлять сущности с другими типами отношений путём устанавливания между ними связей-ассоциаций, определяемых с помощью предикатов (см. пример в разделах 3 и 4, п.8).

9) **Корректировка масштаба онтологии.**

Выбранный (см. позицию 4) масштаб онтологии на протяжении создания онтологии может изменяться. На последних этапах создания онтологии необходимо определить:

- достаточно ли сущностей в онтологии для того, чтобы использовать её в соответствии с выбранным сценарием;
- есть ли необходимость расширения созданной или слияния нескольких онтологий;
- есть ли необходимость включения в онтологию экземпляров классов.

Слияние онтологий подразумевает расширение выбранной онтологии путём добавления в неё нескольких онтологий. При слиянии онтологий необходимо принимать во внимание родовидовые и ассоциативные отношения, наличие синонимов и омонимов, а так же уровень иерархии.

Проверка и установление недостающих ассоциативных связей между сущностями в онтологии, полученной путем слияния двух онтологий, является трудоёмким процессом и может привести к ошибкам. Тем не менее, возможность слияния онтологий позволяет распределить задания между несколькими разработчиками и одновременно создавать несколько онтологий с последующим их объединением.

10) **Использование онтологии в соответствии с выбранным сценарием.**

После начала использования онтологии в ИС, для которой она создавалась, можно оценить её качество. Например, если онтология используется в учебном процессе, целесообразно провести опрос пользователей (преподавателей и студентов) с целью выявления достоинств и недостатков работы с созданной онтологией. При использовании онтологии на промышленном предприятии, можно провести сравнительную оценку качества работ до и после использования онтологии.

3 **Тезаурус как семантическая основа интеллектуального помощника проектанта**

Разрабатываемый в СГАУ помощник проектанта («робот-проектант») [11] - это, с одной стороны, проект ИС для обучения студентов и магистрантов предварительному проектированию самолёта, с другой стороны, - это прототип будущих интеллектуальных ИС, который отрабатывается и верифицируется на ПрО «предварительное проектирование самолёта».

Ниже описаны особенности создания онтологии в виде тезауруса ПрО ППАТ (проектирование самолёта) на основе разработанной методики.

1) **Определение ПрО создаваемой онтологии.**

Глобальной ПрО является самолётостроение, локальной – этап предварительного проектирования самолёта.

2) **Определение причин создания онтологии.**

Для разработки ИС «Робот-проектант» необходима семантическая основа и интегратор всех компонент будущей ИС.

3) Рассмотрение вариантов повторного использования существующих онтологий.

Повторное использование иных созданных онтологий невозможно, т.к. на сегодня отсутствуют онтологии в ПрО ПИАТ, созданные с учётом специфики данной ПрО и в заданном формате (графическое представление, OWL).

4) Изучение ПрО и определение масштаба создаваемой онтологии.

Создаваемый тезаурус должен содержать основные сущности выбранной ПрО. В данном случае это этап предварительного проектирования самолёта, в процессе которого связываются воедино различные аспекты проектирования самолёта, касающиеся исследования его геометрических, весовых, аэродинамических характеристик, состава оборудования и снаряжения, лётно-технических данных и траекторий полёта.

Ограничений на масштаб или размер тезауруса не вводилось. К настоящему моменту (2015 год) онтология ПрО «проектирование самолёта» содержит 1226 терминов и 505 логических ассоциативных связей. Масштаб планируется увеличивать в соответствии с изменением (расширением) решаемых задач.

5) Определение предполагаемых сценариев использования.

Тезаурус используется в качестве семантической основы и интегратора всех компонент в ИС «Робот-проектант».

6) Выбор онтологического редактора.

На основе проведённого сравнительного анализа онтологических редакторов [12] для построения онтологий можно рекомендовать для использования онтологический редактор Protégé [13]. Принципы создания тезауруса ПрО «проектирование самолёта» с использованием редактора Protégé описаны в статье [14].

7) Определение терминологической базы и методов ее расширения.

Общая терминология ПрО ПИАТ (проектирование самолёта), включённая в тезаурус, основана на морфологических таблицах, матрицах проектов, сценариях и методиках проектирования, а также учебниках [15], терминологических словарях [16], энциклопедиях [17]. Кроме этого, тезаурус создан с учётом знаний и опыта специалистов ПрО ПИАТ.

8) Определение ведущего типа отношений между сущностями.

Понятия в онтологии, представленной в виде тезауруса (O_T), организованы в таксономию. Тезаурус определяется как

$$O_T = \langle X, R_x, R \rangle$$

где X — конечное множество понятий ПрО, R_x — отношение «род-вид» между понятиями, R — конечное множество отношений между экземплярами понятий.

Установление родовидовых отношений между терминами в тезаурусе реализуется в соответствии с ГОСТ 7.25-2001 [6]. Родовидовая связь устанавливается между двумя дескрипторами, если объём понятия нижестоящего дескриптора входит в объём понятия вышестоящего дескриптора. Например, «крыло» и «оперение» являются одним из видов «несущих поверхностей», «несущие поверхности», являются одним из видов «конструктивных частей самолёта», а «конструктивные части самолёта» — одним из видов «конструкции» и т.д. (рисунок 3).

В случае, если между терминами (например «самолёт» — «конструкция», «самолёт» — «двигатель», «самолёт» — «параметры» и т.д.) нельзя установить иерархические родовидовые отношения («конструкция» и «двигатель» не являются одним из видов «самолёта») и они не являются синонимами, но состоят в отношениях принадлежности: «самолёт» имеет

«конструкцию», «самолёт» имеет «двигатель», «самолёт» имеет «параметры» и т.д., предлагается устанавливать связи-ассоциации, определяемые с помощью предикатов.



Рисунок 3 – Установление иерархической родо-видовой связи между терминами

В Protégé отношения ассоциации отображаются пунктирными линиями, стрелки показывают направление, в котором связаны термины (рисунок 4).

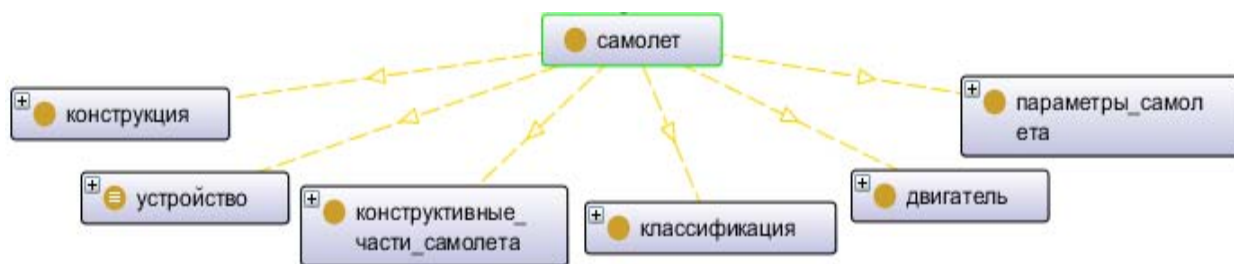


Рисунок 4 - Ассоциативные связи принадлежности («имеет») между терминами

Ассоциативные связи полезны при поиске сущностей в онтологии, т.к. позволяют обнаружить дополнительные дескрипторы по искомой тематике.

9) Корректировка масштаба онтологии.

Расширение тезауруса подразумевает наполнение существующих классов иерархии подклассами, а также заполнение классов экземплярами.

10) Использование онтологии в соответствии с выбранным сценарием.

Использование тезауруса в качестве семантической основы позволяет получать полное описание характеристик исследуемого объекта – самолёта, обеспечивать информационную поддержку работы в этой ПрО при разработке ИС «Робот-проектант» и интегрировать все компоненты этой ИС.

Одной из важных составляющих самолёта является крыло. Ниже представлена семантическая сеть фрагмента тезауруса – класс «Крыло», формализуемая и представленная в онто-редакторе Protégé (рисунок 5).

Формирование содержательной части экранных форм разрабатываемой ИС «Робот-проектант» строится на основе тезауруса. На рисунке 6 показан один из экранов ИС «Робот-проектант» с сущностями тезауруса «проектирование самолёта» на примере фрагмента, реализующего класс «Крыло».

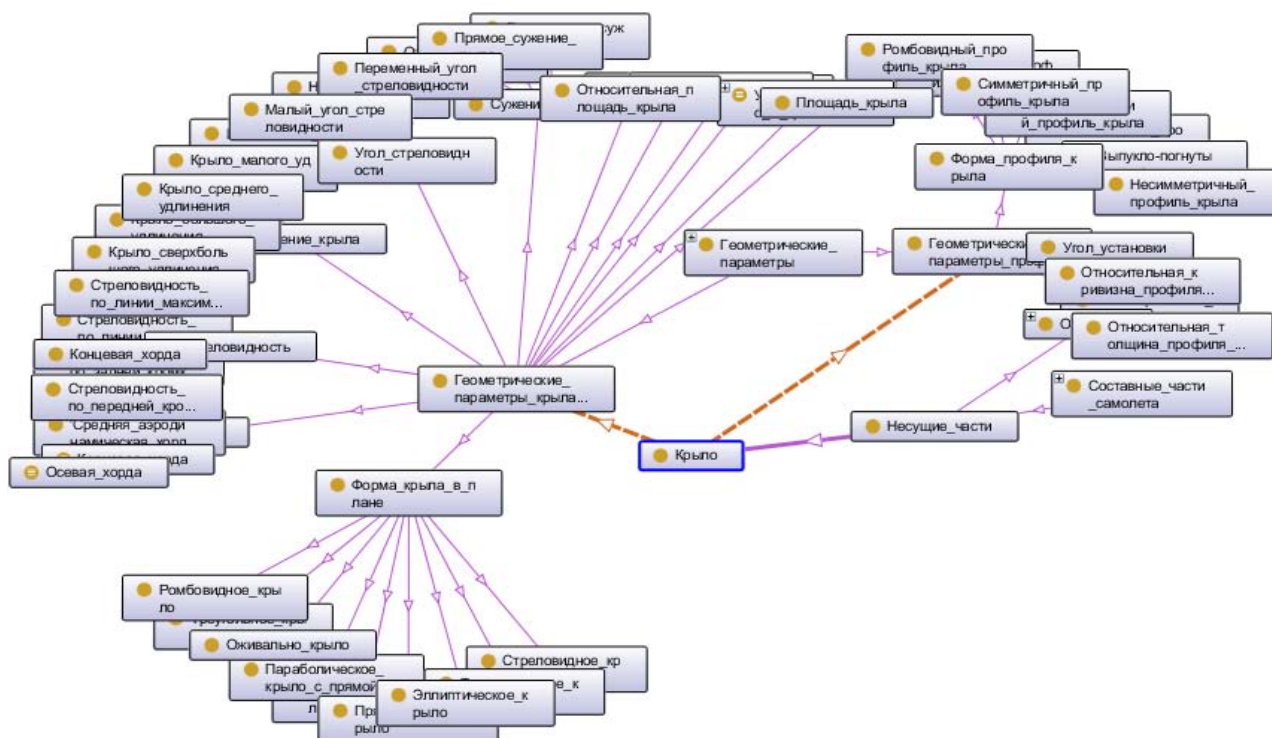


Рисунок 5 – Описание класса «Крыло» в Protégé

Рисунок 6 - Экран ИС «Робот-проектант» с сущностями тезауруса «Самолёт»

4 Базовая онтология машиностроительного предприятия как семантическая основа построения производственных ИС

Онтология предприятия – это формализованное описание знаний о ПрО каждого отдельно взятого предприятия. Онтология является семантической основой при создании ИС производственного планирования.

Ниже описаны особенности создания базовой онтологии машиностроительного предприятия на основе разработанной методики.

1) Определение ПрО создаваемой онтологии.

ПрО, в которой создается онтология, является ведущее машиностроительное предприятие ОАО «Кузнецов», специализирующееся на производстве и ремонте авиационных газотурбинных двигателей, жидкостных ракетных двигателей для космических ракет, приводов газоперекачивающих агрегатов и блочно-модульных электростанций [18].

2) Определение причин создания онтологии.

При создании автоматизированной системы производственного планирования «Smart Factory», разработанной НПК «Разумные решения» (г. Самара), необходима семантическая основа в виде базовой онтологии предприятия.

3) Рассмотрение вариантов повторного использования существующих онтологий.

До настоящего времени отсутствовало семантическое формализованное описание ПрО, поэтому повторное использование невозможно. ИС планирования производства на основе мультиагентных технологий создавалось на предприятии ОАО «Кузнецов» впервые [19].

4) Изучение ПрО и определение масштаба создаваемой онтологии.

Документы, регламенты, а также результаты анкетирования сотрудников предприятия и проведенный анализ ПрО способствовали выявлению сущностных связей и отношений в производстве, необходимых для построения базовой онтологии, позволили сформулировать требования к разрабатываемой ИС, основные из которых изложены в [19].

В онтологии машиностроительного предприятия выделены восемь основных сущностей (рисунок 7):

- предприятие и все его сущности являются *объектами управления*;
- управление предприятием – *субъекты предприятия* (работники);
- документы – *средства управления*;
- материальные ресурсы – *производственные ресурсы*;
- выпускаемая продукция – *результат деятельности* (управления);
- оборудование – *средства для получения результата деятельности*;
- процессы – *процессы, выполняемые сущностями*;
- заказчики – *субъекты, оказывающие воздействие на процессы, выполняемые сущностями*.

Эти сущности предприятия являются фундаментальными и практически неизменны для любого машиностроительного предприятия. В зависимости от специфики исследуемой ПрО их можно дополнить, тем самым изменить масштаб онтологии.

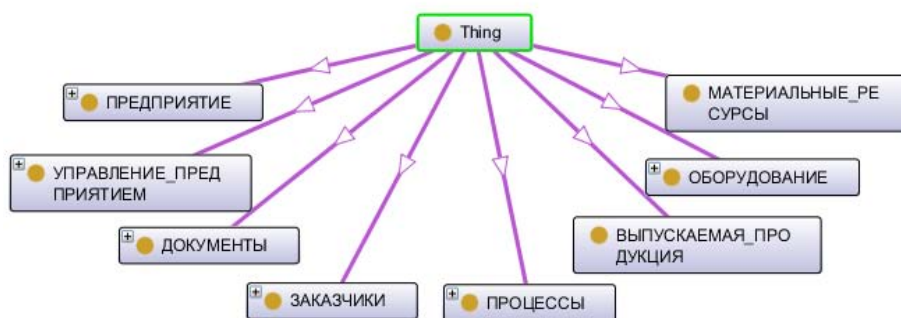


Рисунок 7 – Основные сущности машиностроительного предприятия

5) Определение предполагаемых сценариев использования.

Онтология машиностроительного предприятия является формализованным представлением исследуемого предприятия и выступает в роли семантической основы на этапе разработки ИС, предназначенной для производственного планирования. Онтология определяет выбор методов и технологий решения задач, а на этапе запуска системы в производство является связующим звеном между работниками предприятия и программным обеспечением.

- б) Выбор онтологического редактора.
Онтологический редактор Protégé 4.2 beta [13]. Критерии выбора описаны в разделе 2 (п.6).

7) Определение терминологической базы и методов её расширения.
Онтология предприятия строится на основе информации о предприятии в форме регла-

8) Определение ведущего типа отношений между сущностями.

8) Определение ведущего типа отношений между сущностями.
Для создания базовой онтологии машиностроительного предприятия всем сущностям предприятия сопоставлены понятия, атрибуты, экземпляры, а между ними выстроены иерархические и ассоциативные отношения.

Для создания базовой онтологии машиностроительного предприятия всем сущностям предприятия сопоставлены понятия, атрибуты, экземпляры, а между ними выстроены иерархические и ассоциативные отношения.

Каждая из сущностей (см. рисунок 7) содержит подклассы. Например, для концепта «ПРЕДПРИЯТИЕ» это структурные элементы машиностроительного предприятия: цехи, отделы, бюро и др. Для «УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ» - управляющий персонал или субъекты управления: директора, начальники цехов, инженеры, рабочие и пр. Для «ДОКУМЕНТЫ» - данные о документации машиностроительного предприятия: разрешительные документы, регламентирующие документы, ключи доступа и т.п.

Каждая из сущностей (см. рисунок 7) содержит подклассы. Например, для концепта «ПРЕДПРИЯТИЕ» это структурные элементы машиностроительного предприятия: цехи, отделы, бюро и др. Для «УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ» - управляющий персонал или субъекты управления: директора, начальники цехов, инженеры, рабочие и пр. Для «ДОКУМЕНТЫ» - данные о документации машиностроительного предприятия: разрешительные документы, регламентирующие документы, ключи доступа и т.п.

При создании базовой онтологии принято допущение общей структуры для всех цехов предприятия, иерархической связи между понятиями и составляющими структуры предприятия, управления предприятием, документов, материальных ресурсов и выпускаемой продукции. Кроме того, очевидно, что отношения между этими понятиями не ограничиваются иерархическими связями, поэтому были установлены многочисленные связи-ассоциации.

При создании базовой онтологии принято допущение общей структуры для всех цехов предприятия, иерархической связи между понятиями и составляющими структуры предприятия, управления предприятием, документов, материальных ресурсов и выпускаемой продукции. Кроме того, очевидно, что отношения между этими понятиями не ограничиваются иерархическими связями, поэтому были установлены многочисленные связи-ассоциации.

На рисунке 8 (на примере структуры управления планово-диспетчерского отдела) сплошной линией изображены связи иерархии (подчинённость сотрудников), а пунктирными – ассоциативные связи («курирует», «управляет»).

На рисунке 8 (на примере структуры управления планово-диспетчерского отдела) сплошной линией изображены связи иерархии (подчинённость сотрудников), а пунктирными – ассоциативные связи («курирует», «управляет»).



- 9) Корректировка масштаба онтологии.
- Базовая онтология машиностроительного предприятия может расширяться и дополняться в соответствии с изменением структуры предприятия или трансформацией решаемых задач.
- 10) Использование онтологии в соответствии с выбранным сценарием.

Базовая онтология машиностроительного предприятия может расширяться и дополняться в соответствии с изменением структуры предприятия или трансформацией решаемых задач.

10) Использование онтологии в соответствии с выбранным сценарием.

Большинство современных машиностроительных предприятий работают в среде «производство на заказ», когда заказчик размещает конкретный заказ на конкретную продукцию, указывая при этом требуемое количество и дату поставки. На рисунке 9 приведён фрагмент семантической сети процесса выполнения заказа. Например, *мастер смены* получает и выполняет *сменно-суточные задания*, а также *проставляет отметку о выполнении задания*. *Мастер смены* подчиняется *начальнику участка*, который в свою очередь *подготавливает производственное расписание*.

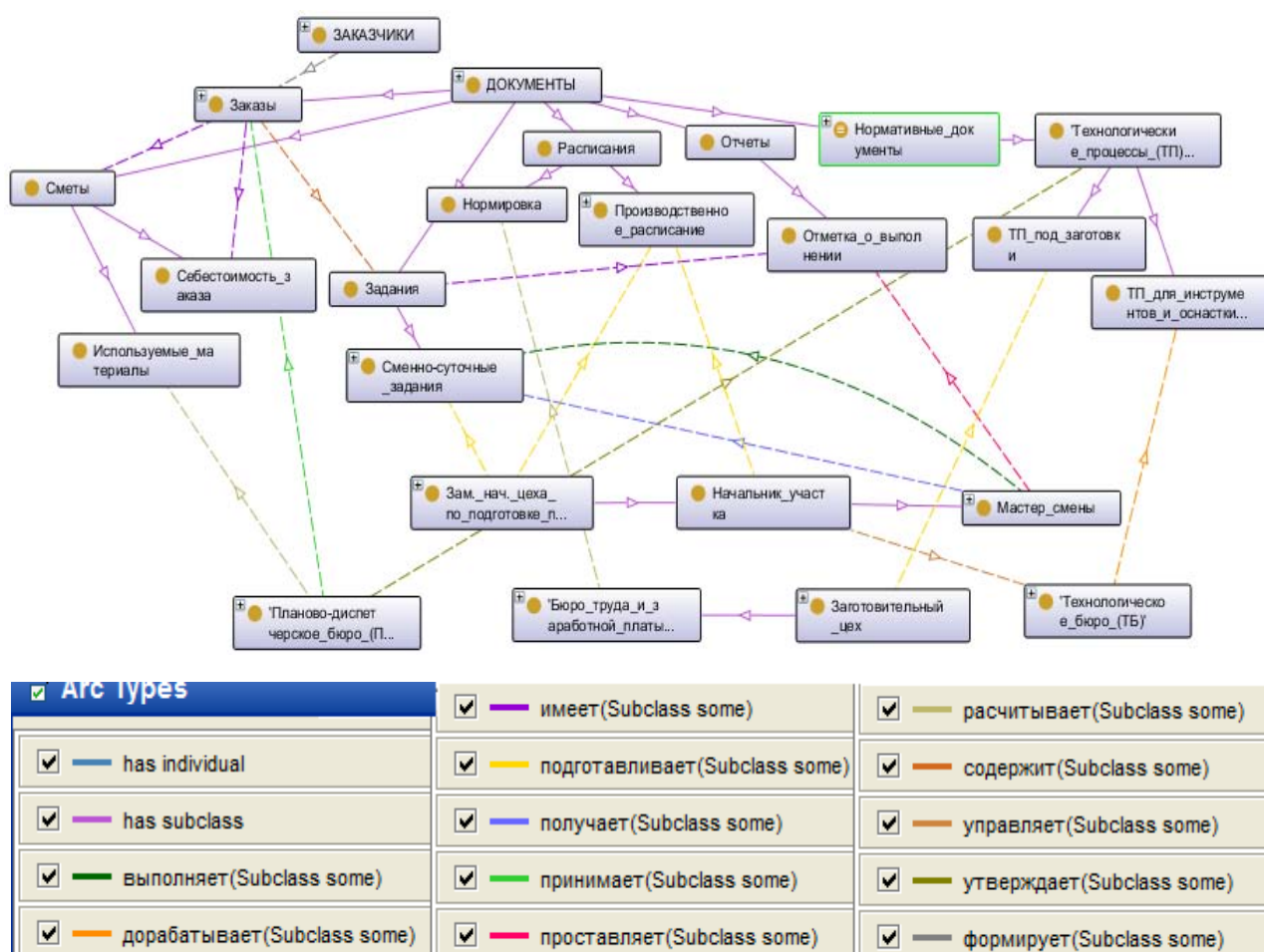


Рисунок 9 – Фрагмент семантической сети процесса выполнения заказа

Таким образом, описана семантика рабочего процесса, выполняемого мастером смены и начальником участка, все сущности этого процесса связаны между собой, а знания формализованы и использованы при создании ИС.

На рисунке 10 показано окно главного меню мультиагентной ИС производственного планирования «Smart Factory», разработанной НПК «Разумные решения» для ОАО «Кузнецов» с использованием сущностей базовой онтологии машиностроения.

Планирование заказа в системе «SmartFactory», построенной на основе базовой онтологии машиностроения, представлено на рисунке 11 в форме учебного примера, подготовленного для курса «Онтология производственной сферы», изучаемого в СГАУ.

Наряду с мультиагентной парадигмой распределения ресурсов и работ на предприятии в онтологии предприятия используется принцип ответственности, основанный на традиционной иерархической парадигме.

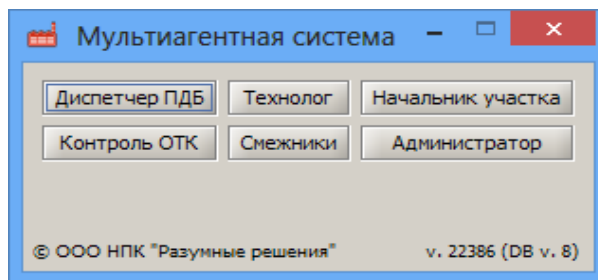


Рисунок 10 – Окно выбора рабочего экрана системы производственного планирования «Smart Factory»

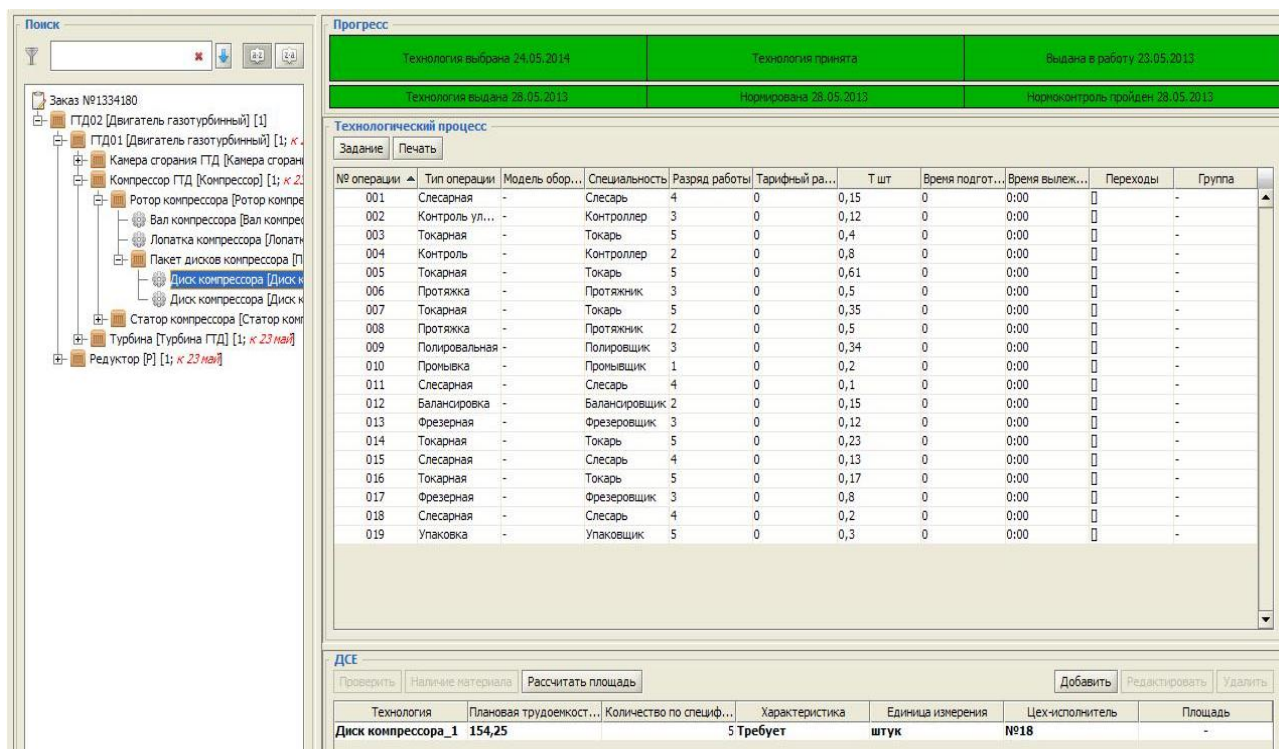


Рисунок 11 – Планирование заказа в системе «Smart Factory», построенной на основе базовой онтологии машиностроения

В разработке ИС производственного планирования базовая онтология машиностроения явилась прикладным инструментом и обеспечила разработчиков ИС полной информацией о предприятии, его структуре, протекающих в нём бизнес-процессах. Онтология, построенная на основе обработки и анализа информации, позволила не только описать исследуемую ПрО и решаемые в ней задачи, и тем самым зафиксировать знания о ПрО, но и использовать эти знания при формировании шаблонов экранов, структуры баз данных, отработке сценария работы с ИС.

Заключение

Проведённый анализ существующих стандартов, языков моделирования, редакторов онтологий позволил исследовать возможности создания семантических моделей ПрО ППАТ и разработать методику создания онтологий в ПрО ППАТ, являющихся семантическими основами при создании прикладных ИС.

С учётом разработанной методики создан тезаурус ПрО «самолёт», который является семантической основой разрабатываемой в СГАУ системы робот-проектант и используется в

обучении студентов. Создана базовая онтология машиностроительного предприятия, которая послужила основой при создании мультиагентной системы производственного планирования «Smart Factory», разработанной НПК «Разумные решения» для ОАО «Кузнецов» (г. Самара). За счёт внедрения системы с использованием семантической основы стало возможным:

- существенно упростить интеграцию с существующей на заводе ERP-системой «Кузнецов» для расчёта заработной платы сотрудникам (за счёт единого формата представления данных в модели машиностроительного предприятия, обеспечивающего формализованную запись знаний в онтологии машиностроения);
- обеспечить быструю реакцию на непредсказуемые события (новый заказ, поломки оборудования и т.д.) за счёт единого понятийного аппарата в основе онтологии машиностроения, сокращающего время на обработку запросов мультиагентной системой;
- уменьшить влияние негативного человеческого фактора (ошибки, опечатки и т.д.) при принятии решений (за счёт единой терминологической базы в онтологии машиностроения);
- увеличить производительность цеха с тем же количеством имеющихся ресурсов, а также повысить прозрачность бизнес-процессов в производственных цехах.

Благодарности

Автор выражает благодарность сотрудникам кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов СГАУ и НПК «Разумные решения» за консультации при создании онтологий в ПрО ППАТ, научному руководителю Н.М. Боргесту за оказанное доверие и передаваемый опыт в области онтологического моделирования, а также Министерству образования и науки РФ за финансовую поддержку проведённых исследований.

Список источников

- [1] **Gruber, T.** A translation approach to portable ontology specifications / T. Gruber // Knowledge Acquisition. – 1993. – Vol. 5. – P. 199-220.
- [2] **Смирнов, С.В.** Онтологии как смысловые модели / С.В. Смирнов // Онтология проектирования. – 2013. – №2(8). – С. 12-19.
- [3] **Овдей, О.М.** Обзор инструментов инженерии онтологий / О.М. Овдей, Г.Ю. Проскудина // Институт программных систем НАН Украины. – <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2004/part4/op>
- [4] **Гаврилова, Т.А.** Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 382 с.
- [5] **Боргест, Н.М.** Онтология проектирования: теоретические основы. Часть 1. Понятия и принципы / Н.М. Боргест. – Самара: Изд-во СГАУ, 2010. – 88 с.
- [6] ГОСТ 7.25-2001 СИБИБД. Тезаурус информационно-поисковый одноязычный. Правила разработки, структура, состав и форма представления – http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_7252001_SIBID_Tezaurus_in.html.
- [7] **Лукашевич, Н.В.** Тезаурусы в задачах информационного поиска / Н.В. Лукашевич. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – 512 с.
- [8] **Natalya, F.N.** Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology / F.N. Natalya, D.L. McGuinness // Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001.
- [9] Коммюнике онтологического саммита 2013 // Онтология проектирования. – 2013. – №2(8). – С. 66-74.
- [10] **Добров Б. В.** Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения / Добров Б. В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В., Соловьев В.Д. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. — 173 с.
- [11] **Боргест, Н.М.** Робот-проектант: фантазия и реальность / Н.М. Боргест, А.А. Громов, А.А. Громов, Р.Х. Морено, М.Д. Коровин, Д.В. Шустова, С.А. Одинцова, Ю.Е. Князихина // Онтология проектирования. – 2012. – №4(6) – С. 73-94.
- [12] **Боргест, Н.М.** Программное обеспечение онтологии концептуального проектирования самолета / Н.М. Боргест, А.В. Глушков, А.В. Петровский, Д.В. Шустова // Перспективные информационные техноло-

- гии для авиации и космоса (ПИТ-2010): Избранные труды Международной конф. с элементами научной школы для молодежи. – Самара: СГАУ, 2010. – С. 348-352.
- [13] Protégé. – <http://protege.stanford.edu>.
- [14] **Боргест, Н.М.** Принципы создания тезауруса «проектирование самолета» с использованием редактора Protégé / Н.М. Боргест, Д.В. Шустова, С.Р. Гиматдинова // 13-я Национальная конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012 (16-20 октября 2012 г., Белгород, Россия): Труды конф. Т. 3. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – С. 186-193.
- [15] **Егер, С.М.** Проектирование самолетов: Учебник для вузов / С.М. Егер, В.Ф. Мишин, Н.К. Лисейцев, А. А. Бадягин, В. Е. Ротин, Ф. И. Склянский, Н. А. Кондратов, В. А. Киселев, И. А. Фомин. // Под ред. С. М. Егера. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 2005. — 616 с.
- [16] **Боргест, Н.М.** Краткий словарь авиационных терминов / Н.М. Боргест, А.И. Данилин, В.А. Комаров // Под ред. В.А. Комарова. – М.: Изд-во МАИ, 1992. – 224 с.
- [17] Большой энциклопедический словарь (БЭС). – <http://www.slovopedia.com>.
- [18] ОАО «Кузнецов» – <http://www.kuznetsov-motors.ru/company>.
- [19] **Шпилевой, В.Ф.** Разработка мультиагентной системы «Smart Factory» для оперативного управления ресурсами в режиме реального времени / В.Ф. Шпилевой, П.О. Скобелев, Е.В. Симонова, А.В. Царёв, С.С. Кожевников, Э.В. Кольбова, И.В. Майоров, Я.Ю. Шепилов // Информационно-управляющие системы. – 2013. №6(67). – С. 91-98

APPROACH TO DEVELOPING A SEMANTIC BASIS OF INFORMATION SYSTEMS FOR AIRCRAFT SYSTEMS DESIGN AND PRODUCTION

D.V. Shustova

*Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University),
Samara, Russia
ShustovaDV@yandex.ru*

Abstract

The modern period of development of information technologies is closely connected with intellectual support of decision-making processes, with the improvement of methods and technologies for users to interact with information systems. Today, one of the most interesting approaches in the theory and practice of information knowledge-based systems is the ontological approach. The paper presents the results of an analysis of existing standards and ontology editors. The paper gives insight on how to create ontologies that are to be used as semantic foundations for developed information systems for design and manufacture of aircraft domain. Examples of the use of the developed technique for the design of - Thesaurus about the “airplane”, which serves as the basis of semantic information system “robot designer”; basic ontology of an engineering enterprise for a production planning system, which is a semantic basis for the creation of information system “Smart Factory”, are presented.

Key words: *information system, ontology, thesaurus, semantic basis, relationship, entity*

Acknowledgment

The author expresses his gratitude to the staff of the Department of aircrafts design SSAU and "Smart Solutions" company for advice when creating ontologies, prof. Borgest N.M. for the transfer of experience in the field of ontological modeling, as well as the Ministry of Education and Science for financial support of conducted research.

References

- [1] **Gruber, T.** A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge Acquisition, 1993, V. 5, pp.199-220.
- [2] **Smirnov, S.V.** Ontologii kak smyslovye modeli [Ontology as a semantic model] / S.V. Smirnov // Ontologia proektirovaniya. - 2013. - №2 (8) – pp. 12-19. ISSN 2223-9537 / 2313-1039 (In Russian).
- [3] **Ovdey, O.M.** Obzor instrumentov inzhenerii ontologii [Overview ontology engineering tools] / O.M. Ovdey, G.Y. Proskudina // Program Systems Institute of the NAS of Ukraine. - <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2004/part4/op> (In Russian).

- [4] **Gavrilova, T.A.** Bazy znaniy intellektual'nykh sistem [Knowledge base of intelligent systems] / T.A. Gavrilova, V.F. Khoroshevskiy. - SPb.: Piter, 2000. - 382 p. (In Russian).
- [5] **Borgest, N.M.** Ontologiya proektirovaniya: teoreticheskie osnovy. Chast' 1. Ponyatiya i printzipy [Ontology design: theoretical basis. Part 1: Concepts and Principles] / N.M. Borgest. - Samara: Publishing House of SSAU, 2010. - 88 p. (In Russian).
- [6] GOST 7.25-2001 SIBID. Thesaurus monolingual information retrieval. Terms of development, structure, composition and presentation - http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_7252001_SIBID_Tezaurus_in.html (In Russian).
- [7] **Lukashevich, N.V.** Tezaurusy v zadachakh informatsionnogo poiska [Thesauri in problems of information retrieval] / N.V. Lukashevich. - M.: Publishing House of MSU, 2011. - 512 p. (In Russian).
- [8] **Natalya, F.N.** Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology / F.N. Natalya, D.L. McGuinness // Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001.
- [9] Kommynike ontologicheskogo sammita 2013 [Ontology Summit 2013 Communiqué] // Ontologiya proektirovaniya. - 2013. - No. 2(8) - pp. 66-74. ISSN 2223-9537 / 2313-1039. (In Russian).
- [10] **Borgest, N.M.** Robot-proyektant: fantaziya i real'nost' [Robot designer: fantasy and reality] / N.M. Borgest, A.A. Gromov, A.A. Gromov, A.D. Moreno, M.D. Korovin, D.V. Shustova, S.A. Odintsova, Y.E. Knyazikhina // Ontologiya proektirovaniya. - 2012. - No. 4(6) - pp. 73-94. ISSN 2223-9537 / 2313-1039 (In Russian).
- [11] **Borgest, N.M.** Programmnoe obespechenie ontologii kontseptual'nogo proektirovaniya samolyota [Software ontology conceptual design of the aircraft] / N.M. Borgest, A.V. Glushkov, A.V. Petrovsky, D.V. Shustova // Advanced information technologies for aviation and space (PIT-2010): Proc. of the International Conference with the elements of scientific school for young people. - Samara: Publishing House of SSAU, 2010 - pp. 348-352. (In Russian).
- [12] **Protégé.** Ontology editor - <http://protege.stanford.edu>
- [13] **Borgest, N.M.** Printsipy sozdaniya tezaurusa «proyektirovaniye samoleta» s ispol'zovaniyem redaktora Protégé [Principles of Creating a thesaurus "aircraft design" using the editor Protégé] / N.M. Borgest, D.V. Shustova, S.R. Gimatdinova // The 13th National Conference on Artificial Intelligence CAI 2012 (16-20.10.2012, Belgorod, Russia): Proc. Vol. 3. - Belgorod: Publishing House of BGTU, 2012. - pp. 186-19 (In Russian).
- [14] **Jaeger, S.M.** Proyektirovaniye samoletov: Uchebnik dlya vuzov [Design of aircraft: Textbook for universities] // S.M. Jaeger, V.F. Mishin, N.K. Liseyev, A. A. Badyagin, V. Ye. Rotin, F. I. Sklyanskiy, N. A. Kondratov, V. A. Kiselev, I. A. Fomin. // Ed.: S.M. Jaeger. - 3rd ed., Rev. and add. - M.: Mashinostroenie, 1983. - 616 p. (In Russian).
- [15] **Borgest, N.M.** Kratkiy slovar' aviatsionnykh terminov [Concise Dictionary of aviation terms] / N.M. Borgest, A.I. Danilin, V.A. Komarov // Ed.: V.A. Komarov. - M.: Publishing House of the MAI, 1992. - 224 p. (In Russian).
- [16] **Bol'shoy entsiklopedicheskiy slovar' (BES)** [Great Encyclopedic Dictionary (GED)] - <http://www.slovopedia.com>. (In Russian).
- [17] "Kuznetsov" JSC - <http://www.kuznetsov-motors.ru/company>.
- [18] **Shpilevoy, V.F.** Razrabotka mul'tiagentnoy sistemy «SmartFactory» dlya operativnogo upravleniya resursami v rezhime real'nogo vremeni [The development of multi-agent system "SmartFactory" for operational management of resources in real-time] / V.F. Shpilevoy, P.O. Skobelev, E.V. Simonova, A.V. Tsarev, S.S. Kozhevnikov, E.V. Kol'bova, I.V. Mayorov, Ya.Yu. Shepilov // Information and Control Systems. - 2013. - No. 6(67). - pp. 91-98 (In Russian).

Сведения об авторе



Шустова Дина Владимировна, 1987 г. рождения. Окончила Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) в 2009 г., магистратуру СГАУ в 2010 г. Аспирант кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов СГАУ. В списке научных трудов более 30 работ в области автоматизации проектирования и искусственного интеллекта. Область научных интересов: онтология проектирования.

Dina Vladimirovna Shustova (b.1987) graduated from the Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University) in 2009, magistracy SSAU (2010). She is a post-graduate student of SSAU, co-author of more than 30 scientific articles and abstracts in the field of CAD and AI. Area of scientific interests: ontology of designing.

УДК 165.0

АРИФМЕТИКА СОЗНАНИЯ ДЖ. СПЕНСЕРА-БРАУНА

В.В. Попков*Международный институт Александра Богданова, Екатеринбург, Россия
president.ibi@mail.ru*

Аннотация

В статье представлен краткий обзор идей Дж. Спенсера-Брауна – британского логика, математика и философа, автора оригинальной теории исчисления индикаций, предоставляющей математическую основу для воображаемой или двойственной логики, учитывающей двойственность и самореферентность человеческого познания. Также в связи с изложением идей Спенсера-Брауна рассматриваются вопросы соотношения математики и логики, проявления наблюдаемого и ненаблюдаемого, проведён сравнительный анализ «арифметики сознания» Спенсера-Брауна и булевой алгебры. На конкретных примерах показана онтологическая асимметрия логики Аристотеля и её преодоление с помощью алгебры и арифметики Спенсера-Брауна. Исходя из законов формы, продемонстрированы два класса явлений, и связанных с ними понятий, соответствующих ответам на вопросы: «что происходит»? и «что за этим кроется»? Показана роль исчисления индикаций, как математического аппарата для моделирования когнитивных процессов.

Ключевые слова: различение, индикация, двойственность, самореферентность, форма, ненаблюдаемое, булева алгебра.

Введение

Данная статья ставит своей целью ознакомить российского читателя с малоизвестной в нашей стране оригинальной книгой «Законы формы» (The Laws of Form [1]) британского математика, логика и философа Джорджа Спенсера-Брауна (род. 1923 г.)¹. В 70-х годах XX века эта небольшая по объёму книга выдержала пятнадцать изданий на английском языке и одно на немецком. Утверждают, что это книга по логике и математике, которая, по мнению некоторых логиков, содержит одну из форм «модальной логики», характеризующую тем, что в ней есть правила логической системы, которые по-разному применяются в разных местах в манере, определяемой правилами самой логики. В этой книге, действительно, много говорится о логике и математике, но не это в ней главное. Главное в ней – это богатство идей, проистекающее всего лишь из двух исходных онтологических посылок – законов формы. Одним из движущих мотивов в продвижении данной работы, писал ДСБ, была надежда примирить исследования внутренней структуры нашего знания вселенной, как она выражается в логико-математических науках, и исследования его внешней структуры, выраженной в физических науках. Здесь работы Эйнштейна, Шредингера и других учёных привели к осознанию предельной границы физического знания в форме того способа, с помощью которого мы это знание приобретаем. Стало ясным, что если определённые сведения о восприятии, или то, что мы называем внутренним миром, могут быть открыты с помощью углублённого исследования того, что мы в противопоставление называем миром внешним, тогда равным образом тщательное исследование этого внутреннего мира, в свою очередь, прольёт свет на факты, встречающиеся во внешнем мире; так как то, к чему мы подходим с той или другой

¹ George Spencer-Brown или, как кратко его именуют в англоязычной транскрипции, – GSB. Далее в русском варианте будет использоваться аббревиатура ДСБ.

стороны в каждом случае – их общая граница. Этого удалось добиться с помощью элегантного и необычного аппарата – алгебраического символизма исчисления индикаций, которое основано на скрытом основании познания – способности различать. ДСБ объясняет, что любая вселенная начинается с разграничения. Ты можешь провести грань где угодно, но где-то ты всё же должен её провести. Стоит тебе однажды сделать это, и ты становишься на путь, на котором одни возможности для выбора закрываются навсегда, но открываются другие возможности, зависящие от предыдущего выбора. Возможностей для выбора не становится меньше, но они начинают выстраиваться в некую структуру, и хотя возможности растут, но они всё в большей степени зависят от образующихся структур. Но первое разграничение всегда состоит в противопоставлении чего-то и ничто, что может быть чем-то. Спенсер Браун так описывает это состояние: «Внимательно прослеживая в себе процесс этого размежевания, мы можем восстановить с точностью и полнотой, которые приводят нас в благоговейный трепет, первичные формы, лежащие в основе лингвистических, математических, физических и биологических представлений. При этом мы видим, что привычные законы описания нашего жизненного опыта детерминированы исходным размежеванием. Само это размежевание постоянно присутствует в нашем восприятии — даже если мы его не осознаём — как наша первая попытка провести различие между независимыми вещами в мире, где изначально границы могли быть установлены произвольно. На этом этапе вселенную нельзя отличить от того, как мы действуем в ней, а мир может показаться подобным зыбучему песку под ногами» [1, с. 12]. Если я есть неотъемлемая часть вселенной, если физические законы, управляющие процессами в моём теле, в точности такие же, как и в других местах космоса, тогда я так же связан с внешним миром, как и с той частью тела, которую могу видеть. Без зеркала я не могу видеть свою спину и голову. С помощью зеркал я не могу видеть свой мозг, и даже если, подобно нейрохирургу, я буду изучать мозг другого человека, я не смогу наблюдать свой собственный мозг во время этих экспериментов. Выхода из этой ситуации не существует, но у неё есть одно удивительное следствие, мимо которого невозможно пройти, а именно: **человек сам есть та вселенная, которую он наблюдает.**

Такое открытие даёт нам понять, что все события, которые мы раньше считали внешними и независимыми от нашей воли, в действительности являются нашим собственным поведением. Аргументы, используемые для доказательства правильности наших теорий об устройстве Вселенной, теперь как мы можем видеть, сами подтверждаются доводами, которые зависят от этих аргументов. Но аргументы сами ни в коем случае не являются началом вопроса. Приходя в этот мир и усваивая часть знаний, созданных предыдущими поколениями, вы начинаете очень далеко от центра и не можете увидеть связности того, что вы делаете. Вы не видите следующее: то, что получается в результате, зависит от того, что было заложено изначально и, по большей части, не вами. Теперь вы можете разработать академическую систему, которая опирается на гипотезу о существовании объективного знания, поиском которого вы занимаетесь. Вот вы пришли и привели доказательство, и записали его и т.д., и когда кто-то спросит: «Но что именно придает формуле такую форму? Почему именно эта форма, а не другая? Что делает это утверждение достоверным? Что делает это таким, каким мы его видим – почему не другим»? И обычный ответ в таком случае: «Что ж, так получается, и в этом загадка». Но загадка всегда означает нечто скрытое. С общепринятой научной точки зрения, существует так называемая объективная реальность, которую мы можем видеть своими глазами и ощущать своими пальцами, и слышать своими ушами, и чувствовать вкус своим языком, и запах своим носом и т.д. Другими словами, если рассматривать вселенную с научной точки зрения, то так, как мы её видим, проявляется в соответствии с формой чувств, которыми она воспринимается, и системой обработки данных, поступающих от восприятия. Измените чувства, и восприятие вселенной изменится. Измените систему обработки данных,

и вселенная предстанет другой. Зададим теперь философский вопрос: *какова же в таком случае объективная вселенная, независимая от этих чувств?* И получим философский ответ: не может быть такой вселенной, потому что она изменяется, в зависимости от того, как её «видят», от сенсорного восприятия, эмпирических и теоретических обобщений. Рассмотрим вопрос немного глубже, и мы увидим, что мы провели различие, которое не существует. Мы отделили вселенную от сенсорного восприятия. Но поскольку вселенная изменяется в соответствии с изменениями в восприятии, мы не можем отделить вселенную от восприятия. Следовательно, вселенная и органы чувств – это единое целое. Как же так получается, что она выглядит такой фундаментальной и объективной? Вот на этот глубокий вопрос и попытался ответить Дж. Спенсер–Браун в своей книге «Законы формы».

1 Холокосм и мерокосм

Материалисты утверждают, что то, что у нас в голове, есть отражение независимого от нас внешнего мира. Они говорят, что тело рождается с чистым, как лист бумаги, мозгом, а затем становится тем, что оно есть – мыслящим и чувствующим человеком благодаря непрерывному процессу воздействия на мозг и тело внешнего мира. Логически это выглядит правдоподобно, но это ошибка. Сейчас мы знаем, что структура нашего тела задается не снаружи, а изнутри генетической программой, и у нас крайне мало возможностей повлиять на эту программу, как-то улучшить или деформировать её. В не меньшей степени, мы не имеем каких-либо доказательств утверждать, что наиболее важные структуры нашего мозга подобным же образом не формируются изнутри. И что бы мы ни делали снаружи с помощью стандартных процедур обучения и образования, точно также как и с телом, мы лишь в незначительной степени можем изменить структуры нашего мозга.

Для обозначения того аспекта реальности, который открывается наблюдением изнутри, ДСБ ввел понятие «холокосм», и соответственно, для наблюдения аспекта реальности, открываемого нам снаружи – «мерокосм» [2]. Эти два аспекта существования одинаково реальны, но система образования в настоящее время построена так, что приписывает избыточную степень реальности мерокосму и фактически считает холокосм нереальным. Хорошо известно, что любой промах в понимании реальности чреват опасностью, но специфический провал в понимании холокосма, к сожалению, плохо уясняется и не может быть устранен немедленно. Существует неизбежное и абсолютное ограничение нашего знания о внешнем мире, обусловленное обобщенным принципом Гейзенберга. Оно состоит в следующем.

Желая наблюдать что-либо во внешнем мире, мы должны вступить во взаимодействие с ним, к примеру, хотя бы направить свет на наблюдаемый объект. И чем более чувствительным и тонко организованным является объект, тем более это взаимодействие может его изменить. Таким образом, может оказаться так, что мы на самом деле наблюдаем то, что имеет мало сходства с тем, что есть на самом деле. Этот принцип действует для любого процесса наблюдения и на любом уровне. Социальные науки, возможно, еще не достигли в полной мере понимания того, что в своих областях они действуют также в соответствии с данным принципом, причём в двух направлениях. Во-первых, если вы обнародуете нечто о том, как должны поступать люди, они прочитают это и могут поступить именно таким образом. Во-вторых, люди, которые находятся под наблюдением, ведут себя по другому, чем те же люди, за которыми не наблюдают.

Итак, любая восприимчивая реальность, материального или иного рода, фактически недоступна для процедур наблюдения, и всё, что мы можем получить в результате исследования, – это всего лишь наши трактовки наблюдаемого, – смыслы, которые мы придаём тому, что мы наблюдаем во внешнем мире. Если это так, то мы должны либо смириться с тем, что

наблюдаемое нами есть совсем не то, что мы наблюдаем, либо искать совершенно другой путь для постижения реальности.

И такой способ, утверждает ДСБ, существует. Надо просто принять, что то, что есть восприимчивая или тонкая реальность, суть то, что наблюдается не снаружи, а изнутри. Этот способ не вносит возмущения в наблюдаемую реальность, потому что теперь реальность – это мы сами. Для этого надо применить нетривиальный ход, или как его называет ДСБ – ловкий трюк. Он состоит в тщательно отработанной процедуре немедленного забывания после того, как вы проделали что-то, того, как это было сделано. Среди разных вещей, которые мы начисто забываем, существует тот неоспоримый факт, что мы сами используем наши шансы. Мы не можем аннулировать проделанный путь, если мы уже не можем вспомнить, как мы сделали это, и точно также не можем устранить независимость происшедшего и взять его под контроль². Существует целая область холокосма, которую очень легко посетить, находясь в мерокосме. Она называется математикой. Такие математические вещи, как числа, не существуют в физическом мире. Как бы вы не старались, вы никогда не найдете отдельное число, хотя числа появляются немедленно, как только вы хотите что-то сосчитать. Источник этого чудесного появления чисел находится на уровне более глубоком, чем физическое существование. Материальный мир и мир математики это разные порядки сущего, хотя мы можем убедиться, как тесно они связаны и взаимно дополняют друг друга. То, что мы знаем в холокосме, мы знаем вполне определённо. Например, запишем известное математическое утверждение из школьного курса алгебры:

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

Это не просто чье-то мнение, – любой человек, знакомый с математикой, нисколько не сомневается, что это именно так. Откуда берётся такая уверенность? Ведь мы не можем узреть этого нашими глазами непосредственно в окружающем мире. Но мы можем использовать внутренний взор и преимущество холокосма, где числа и их представители в виде букв существуют, и найти необходимое соотношение путём введения математических символов и манипуляций с ними. Наше внутреннее видение внутри холокосма ничуть не менее определённое, чем наше обычное физическое наблюдение в мерокосмическом мире с его столами, стульями и яичницей на завтрак. Главное отличие состоит в том, что в холокосме мы можем увидеть намного более интересное, так как холокосм имеет преимущество перед мерокосмом. Внутренние уровни строго определяют, какими должны быть внешние уровни, но не наоборот. Чтобы полететь на Луну, мы должны знать вещь, которая принадлежит холокосму, а именно, математические законы движения. Чтобы открыть эти законы движения, вовсе не обязательно побывать на Луне.

2 Наблюдаемое и ненаблюдаемое

Обычно ненаблюдаемое представляют как неизвестное. Для этого придумали специальный термин – скрытые параметры, которые ничем не отличаются (в смысле правил логики) от обычных переменных, только они могут принимать произвольные значения. Хотя математический аппарат, который бы позволял представлять скрытые параметры, отсутствует, но сама идея использования ненаблюдаемого оказывается чрезвычайно плодотворной для построения прорывных теорий. Лучший пример – механика Ньютона, где все законы движения выведены из законов для ненаблюдаемого абсолютного пространства [3]. Другой пример связан с именем великого немецкого физика Генриха Герца (1857-1894), который вошел в

² Даосский мудрец Чжуан Цзы утверждал: «Для ловли рыбы нужны верши; но вот рыба поймана, и люди забывают о вершах; для ловли зайцев нужны капканы; но зайцы пойманы, и люди забывают о капканах. Для передачи идей нужны слова; но, постигнув идеи, люди забывают о словах» (Цит. по Капра Ф. Дао физики, с. 35).

историю мировой науки, в основном, благодаря своим исследованиям в области электродинамики и теории поля. В 1910 г. (уже после его смерти) в Германии была опубликована книга Г. Герца «Принципы механики, изложенные в новой связи» [4], которая сыграла важную роль в формировании классической механики, хотя изложенная в ней теория и не получила в дальнейшем достаточного развития и применения. До «новой» механики Герца существовали две различные системы изложения принципов механики, которые он называет «классической» и «энергетической».

В основе этих систем лежат четыре понятия, три из которых являются одинаковыми: это пространство, время и масса. Четвёртое же понятие в каждой системе – своё; оно как раз и отличает эти системы друг от друга: в «классической» системе это сила (и в основе теории лежат законы Ньютона), в «энергетической» – энергия (и в основе теории лежит закон сохранения энергии). В «новой» механике Герца четвёртым понятием является так называемая «скрытая» или «невидимая» масса (т.е. некий связанный с обычными, «видимыми» массами материальный объект, характеристики которого нам неизвестны). Как отмечает Герц в своей книге, «если мы хотим получить законченную, замкнутую в себе, закономерную картину мира, то мы должны допускать за вещами, которые мы видим, ещё другие, невидимые вещи и искать за пределами наших чувств ещё скрытые факторы» [4, с. 27]. В «герцевой» системе «скрытые параметры» тоже существуют, но они не принадлежат какой-то иной категории, новой по сравнению с категориями всех уже введённых «видимых понятий» – пространства, времени и массы. Действительно, «скрытая» или «невидимая» масса отличается от обычной или «видимой» массы не по своей природе, а лишь в силу наших недостаточных знаний о ней (т.е. вследствие субъективных, а не объективных причин).

Система Герца базируется на двух положениях: 1) в природе имеются лишь системы со связями, свободные от действия любой внешней силы; 2) если некоторые тела кажутся нам подчиненными каким-либо силам – это значит, что они связаны с другими телами, для нас невидимыми. Учёный предположил, что все наблюдаемые изменения скорости тел вызваны на самом деле не силами, а какими-то неисследованными связями. Вместо понятий силы и энергии Герц ввёл представление о скрытых связях, скрытых массах и движениях, а основной закон, связывающий воедино эти понятия, выразил в форме, аналогичной закону инерции. Механика Герца построена в высшей степени увлекательно и последовательно, хотя оказалась слишком сложной для использования в расчётах. По мнению учёных, она сыграла значительную роль в развитии одной из основных проблем физики – пространственно-временной формы движения материи [5].

Попытка построения непротиворечивой интерпретации для модели ненаблюдаемого объекта была предпринята Березуевым [6]. Его рассмотрение ценно для нас тем, что показывается связь ненаблюдаемого с известным «парадоксом лжеца», то есть ненаблюдаемое соединяет возможное состояние мира с логическими построениями нашего ума. Напомним, что «парадокс лжеца» в одной из известных формулировок утверждает: *«это утверждение ложно»*.

Логическая проблема состоит в том, что предположение о ложности приведённого высказывания ведёт к его истинности и наоборот. Заметим, что во фразе «это утверждение ложно» ничего о реальности не упоминается. Логика должна абстрагироваться от реальности и всяких наблюдений реальности, по крайней мере, это касается формальной логики. В логике неявно предполагается равенство всех наблюдателей. Что есть истина для одного, то должно быть истиной для всех наблюдателей. Два субъективных наблюдателя способны найти общий язык между собой только в отношении наблюдаемых объектов. Попытка использовать в разговоре ссылки на ненаблюдаемые объекты, которые для одного из наблюдателей будут наблюдаемыми, а для другого нет, приведут к непониманию. Единственным вы-

ходом из положения будет полное исключение каких-либо ссылок на ненаблюдаемое и разрешение вести разговоры исключительно о наблюдаемых объектах. Даже если удастся придумать приемлемое определение скрытому параметру, придётся изменять текст, описывающий наблюдение, для разных наблюдателей, - там, где упоминаются ненаблюдаемые объекты. Очевидно, что два описания обоих наблюдателей нельзя объединить средствами логики в некое общее обобщающее описание. Отличия в текстах описаний должны быть, ведь наблюдатели воспринимают разную реальность.

Соотношение наблюдаемого и ненаблюдаемого и возникающие логические коллизии можно проиллюстрировать наглядно с помощью японского сада камней. Например, сад камней монастыря Рёндзи в Киото представляет собой небольшую по размерам площадку - плоскую, прямоугольной формы, засыпанную белым гравием с расставленными в группы пятнадцатью камнями, разложенными так, что посетитель сада может одновременно видеть лишь четырнадцать из них, под каким бы углом он ни смотрел. Но через какое-то время наблюдатель начинает понимать, что хотя камней, которые он видит, всегда четырнадцать, но в зависимости от положения наблюдателя это могут быть разные наборы камней. В каждом из этих наборов скрывается пятнадцатый камень, который также может быть разным. Он всегда заслонен от наблюдения каким-то из соседних камней. Но чтобы заметить это, наблюдатель должен, во-первых, менять точку наблюдения, а, во-вторых, каким-то образом маркировать камни. Будет ли это сделано путем удержания их образов в памяти, или, предположим, они будут пронумерованы - это не имеет значения. Важно, что маркировка позволяет идентифицировать каждый камень и таким образом, двойной процесс - идентификации и смены точек зрения рано или поздно позволяет наблюдателю установить, что камней всё же пятнадцать, а не четырнадцать. Отметим важное обстоятельство - «ненаблюдаемый», пятнадцатый камень даёт возможность наблюдать разные наборы из четырнадцати камней. Это обстоятельство проливает свет на очень важный момент о соотношении наблюдаемого и ненаблюдаемого. Если бы камней было на самом деле четырнадцать, то смена точек наблюдения, хотя и давала бы разные картинки, но в них не содержалось бы ничего нового, - просто четырнадцать камней в разных ракурсах - и всё. Но при наличии пятнадцатого, ненаблюдаемого камня картинки могут быть совершенно разными, так как некоторые камни становятся ненаблюдаемыми, а другие, наоборот, появляются, и, таким образом, картинки могут представлять разные образы (аналог получения нового знания) чего-то, чего ранее не было, и вдруг оно появилось. Для двух наблюдателей нет предмета расхождения по количеству камней, - и тот и другой видят четырнадцать камней. Но вот камни могут быть разными, и это уже может быть предметом спора. По этой причине описания наблюдателей следует считать несопоставимыми между собой по форме и по смыслу. Только организатор сада (внешний объективный наблюдатель³) имеет единое описание, но никакие новые типы абстракций он не использует, они ему попросту не нужны.

Следовательно, единственным очевидным логическим приёмом, который можно применить для построения логики ненаблюдаемого, является использование разных типов наблюдателей. Необходимы, как минимум, два наблюдателя, один из которых наблюдает всё (объективный наблюдатель), а другой что-то не наблюдает. Только таким способом мы можем строить логические умозаключения относительно скрытых параметров. Следовательно, скрытый параметр - это такая абстракция, которую нельзя определить в рамках логики одного наблюдателя, т.е. никак не обойтись без двух разных наблюдателей и описаний.

³ О понятии Абсолют знаний, близком к рассматриваемому объективному наблюдателю, рассуждает в своих статьях в нашем журнале Н.М. Боргест «Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения» (№3(9), 2013, с.9-31) и «Научный базис онтологии проектирования» (№1(7), 2013, с.7-25). *Прим.ред.*

Вернёмся теперь к «парадоксу лжеца». Пусть организатор японского сада выдаёт наблюдателю три утверждения:

- А. В саду 14 камней.
- (1) В. Предыдущее утверждение (то есть А) ложно.
- С. Предыдущее утверждение (то есть В) ложно.

Для самого организатора сада каждое утверждение либо истинно, либо ложно. Система утверждений (1) не содержит противоречий, поскольку организатор сада строит логически корректные фразы, так как он имеет такую возможность. Но для наблюдателя законы логики не распространяются. При каких обстоятельствах утверждения В и С можно свести к одной фразе «это утверждение ложно»? Ответ: когда В и С будут совпадать по форме и по содержанию. Это возможно в случае, когда они ложны и истинны одновременно. Такая ситуация возникает при сопоставлении одной гипотезы (в саду 14 камней) двум наблюдаемым объектам, то есть двум разным картинам сада, в которых не наблюдаются разные камни. Если утверждение С и ложно и истинно, то оно может указывать не только на утверждение В, но и на себя, поскольку В и С по своей логической форме абсолютно одинаковы. Тогда его можно переписать в форме – «предыдущее и это утверждения ложны». Утверждение В также можно переписать в таком виде. У нас получилось:

- А. В саду 14 камней.
- (2) В. Предыдущее и это утверждения ложны.

Отбросив первое предложение и первую часть второго, мы получаем «парадокс лжеца». Как видим, парадокс вполне естественно возникает в разговорах о ненаблюдаемых объектах. Вывод возможен только один – одиночному наблюдателю вообще не следовало бы начинать рассуждать о ненаблюдаемых объектах. Об этом могут говорить только два наблюдателя, но и им будет сложно договориться, так как ненаблюдаемые объекты у них разные. Только организатор сада способен дать непротиворечивую интерпретацию происходящему. Зачем же учёным изучать ненаблюдаемое? Затем, что существование ненаблюдаемого, как считает А. Каминский [7], определяется существованием наблюдателя. Если есть наблюдатель, то ненаблюдаемое обязательно должно существовать.

3 Аксиомы формы

Различение. Ключевым понятием «Законов формы» Спенсера–Брауна является понятие *различения*. Пример различения – пробел в тексте - находится перед вашими глазами.

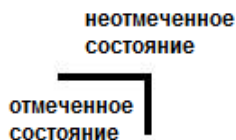
Пустой пробел в тексте перед вашим взором не содержит ничего. Это и есть **различение**, определяемое текстом сверху и снизу пробела. Разрыв в тексте содержит пустое пространство плоскости, которое видно только потому, что его выделяют строчки текста сверху и снизу. В самом деле, вы, прежде всего, видите этот пробел, нежели обращаете внимание на строчки текста, его выделяющие. При более внимательном взгляде на рамку, мы можем заметить, что при переходе взгляда с верхней части текста к нижней части через незаполненную часть страницы, меняется перспектива: вначале взгляд «проваливается» внутрь пустоты, а потом возвращается из неё, «натываясь» на первую строчку нижнего текста. Такое изменение перспективы также является различением. Запомним это важное свойство различения – с одной стороны это знак, а с другой переход или пересечение границы.

Для исчисления различий (индикаций) ДСБ использовал такой знак⁴:



⁴ Далее, кроме слова знак, могут использоваться его синонимы – метка или символ.

Этот знак означает *отмеченное состояние*, что немедленно означает появление двойственного ему *неотмеченного состояния*. Можно считать, что отмеченное состояние находится слева внизу, а неотмеченное справа вверху, либо наоборот – это не имеет значения. Но в дальнейшем для определённости выбирается первый вариант. Подчеркнём, что этот знак, хотя и находится на двумерной плоскости, но к ней он никак не привязан, так как может означать метку в пространстве любой размерности:



Понятия рамки, самореферентности, метки и границы характеризуют базовую проблему разъединения содержания и окружения (контента и контекста) и являются различиями. Вышеуказанный знак содержит границу, так что невозможно перейти из одной стороны к другой, не пересекая эту границу. Такой знак можно использовать для обозначения сути контента, коей может быть мотивировка, намерение или инструкция пересечь границу. Итак, различие определяется отделением одного состояния от другого, и, по утверждению ДСБ, этого достаточно для всей алгебры релейных схем, прокладки поездных маршрутов, условий замкнутости (незамкнутости), теории принятия решений, систематизации обратной связи, самоорганизующихся систем, автоматизации и для *логики*. Той самой логики, с помощью которой мы приводим доводы; логики, которая является основой достоверности любых теорий создаваемых человеком. Другими словами, для всех форм доводов, которые считаются допустимыми в доказательствах истинности научных исследований.

Форма. По определению, форма - это совершенная сдержанность⁵. ДСБ пояснял это определение путем аналогии, а именно сравнением с границами на карте между государствами: на карте это линия, но на самом деле это взаимосбалансированные усилия государств по поддержанию действующих границ. Такое состояние можно было бы назвать скорее напряжённым двусторонним равновесием. Таким образом, формы следует рассматривать, как пограничные линии, как маркировки некоторой дифференциации, которая заставляет нас чётко представлять себе, на какой стороне формы мы пребываем, и где, соответственно, следует начинать следующие операции. Символ $\sqcap$ поэтому имеет двойственное значение. С одной стороны, как это отмечалось выше, это метка состояния, вводящая различие, но с другой - он означает границу или переход из отмеченного состояния в неотмеченное. Ясно, что другая сторона пограничной линии (она же форма) дана вместе с первой. Каждая сторона формы является другой стороной другой формы. Ни одна из сторон не является чем-то самостоятельным. Отмеченная сторона формы актуализируется лишь благодаря тому, что именно она, а не другая сторона получает обозначение. Форма также означает запись развёрнутой во времени самореферентии, так как всегда приходится исходить из той или иной обозначенной стороны, и для дальнейшей операции требуется время, необходимое для пребывания на обозначенной стороне, либо для пересечения границы, конституирующей данную форму.

Всё исчисление индикаций ДСБ выводится из двух законов.

Первый закон формы - *закон наименования* - гласит: *Состояние, названное одним именем дважды или более раз, - это, то же самое состояние с тем именем, которое уже выбрано.* Символ « = » означает эквивалентность, и словами может выражаться так: состояние слева – это, то же самое, что состояние справа: $\sqcap \sqcap = \sqcap$

⁵ В оригинале: *The Form is perfect continence*. Заметим, что в английском языке есть слово *continent*, имеющее в русском переводе два значения: континент (существительное) и сдержанный (прилагательное). Из геофизики также известно, что континенты сдерживают друг друга, и по линии их границ существуют сильные напряжения.

В этой стандартной форме первого закона записаны процессы, когда происходит их слияние в союз или конденсацию (отсюда другое название закона наименования – закон *конденсации*). Эти процессы ведут к группам действительности или процессов, формирующимся в одно объединение. Там, где были прежде два или более, - теперь есть один: это можно сравнить с аккордом или хором, звучащими как один звук или голос.

Второй закон формы - закон *пересечения* - утверждает: Для любой границы повторное её пересечение означает отсутствие пересечения вовсе:

$$\sqcap =$$

Иначе этот закон называют законом *стирания* (*cancellation*) или *уничтожения* (*annihilation*). Этот закон не столь очевиден как первый и поэтому проиллюстрирован на рисунке 1. Как видно из рисунка, повторное пересечение возвращает нас в исходное неотмеченное состояние, поэтому в правой части формулы закона нет ничего.



Рисунок 1 - Иллюстрация закона пересечения

Согласимся, что это непривычно, - оставить справа пустое место. Но, в самом деле, если пространство не отмечено, то что же там справа можно поставить? Любой знак немедленно отметит это состояние и оригинальная суть предложенного Спенсером–Брауном обозначения не просто исказится, а попросту станет неверной.

Пересечение – это креативный акт. Ведь если повторение наименования лишь подтверждает его идентичность, то пересечение в противоположных направлениях относительно сторон формы повторением не является. Внимательный читатель может спросить: какой же это креатив, если справа ничего не отмечено? Но «не отмечено» не означает, что «там» ничего нет. Наоборот, «там» может быть всё, что угодно, так как в логике Спенсера-Брауна именно неотмеченному состоянию соответствует *не существование* или *становящееся существование*. Именно на этом основывается плодотворность пересечения. Всякое определение, всякое обозначение, всякое познание, всякое действие порождают форму, которая раздваивает мир, вследствие чего возникает дифференциация и появляется потребность во времени, а предшествующая дифференциации неопределённость становится недоступной.

4 Парадокс лжеца в математической записи

Рассмотрим уравнение

$$x^2 + 1 = 0.$$

Его можно переписать в виде

$$x = \frac{-1}{x}.$$

Если $x = +1$, это даёт

$$+1 = \frac{-1}{+1} = -1,$$

что парадоксально. Если $x = -1$, мы имеем

$$-1 = \frac{-1}{-1} = +1,$$

что так же парадоксально.

Парадокс в математике разрешается введением особого класса чисел - *мнимых*, так что корнями уравнения, приведённого выше, является $\pm i$, где i – это новый вид единицы, который является квадратным корнем из -1 .

Возвращаясь к выражению $x = -1/x$ и используя символ пересечения, для обоих «решений» ($+1 = -1$) и ($-1 = +1$) можно записать одно выражение:

$$x = \overline{x} \mid .$$

Если перевести это на язык математики Спенсера-Брауна, мы получили пересечение, равное x , или пересечение, возвращающееся само в себя, то есть мы получили колебательную систему. Отметим, что x может находиться только в двух положениях: либо отмеченном, либо не отмеченном. Теперь, если x отмечено, то оно не отмечено и наоборот: если x не отмечено, то оно отмечено.

Спенсер-Браун указал на аналогию введённых им чисел с мнимыми числами: и те, и другие являются колебаниями между действительным и «воображаемым» миром. Это кажется каким-то фокусом, но примеров этому много. Например, для простого электромеханического звонка (если бы у него было сознание) таким воображаемым миром являлся бы, к примеру, мир, в котором нет звука звонка. Наблюдатель со стороны видит, что в целостной системе происходят взаимообусловленные (самореферентные) колебания между двумя состояниями (звук есть, и звука нет, - зуммер), но для звонка есть только одно состояние, которое периодически возникает ниоткуда. Произнеся слово «периодически», мы неявным образом ввели время; то есть пространство, создаваемое «Законами формы» и не имеющее размерности, тем не менее, порождает концепцию времени. Это кажется, на первый взгляд, удивительным, но на самом деле здесь нет ничего странного.

Например, в компьютерных программах постоянно используется такая повторяющаяся процедура, как «итерация». Например, программа предписывает вычислять некоторое число X , следуя команде $X_{k+1} = X_k + 1$. Ясно, что состояние $k + 1$ соответствует более позднему периоду времени, нежели состояние k . Время, таким образом, вписано в процесс, хотя в явном виде его там не видно. Отметим также, что это время, вообще говоря, не имеет размерности; в общем случае мы не можем сказать, каков промежуток времени между состояниями k и $k + 1$: год, неделя, час или секунда; мы лишь знаем, что состояние $k + 1$ соответствует более позднему времени. Это подобно тому, как мы породили безразмерное пространство, просто проведя в нем различие.

Различение – фундаментальная операция, делающая возможным наблюдение, и соответственно, обозначения чего-то в качестве такового, но само оно является «слепым пятном»⁶, так как ускользает от наблюдения. В общепринятом восприятии для обозначения существования мы не можем использовать ничто, пустоту - реальное пространство не позаботилось о корректном заполнении в этом случае табло сознания.

В логике Спенсера-Брауна символ $\neg$ обозначает ИСТИННО, а ЛОЖНО и НЕТ никак не помечается. Т.е. нужно ли выразить ЛОЖНО в исходных переменных или операцию НЕТ, всё равно используется один и тот же символ. А поскольку можно сконструировать любую логическую операцию, правильно расположив НЕТ, то теперь мы используем арифметику на уровне *ниже* уровня булевой алгебры.

⁶ Слепым пятном зрения называется нечувствительный к свету участок сетчатки, откуда выходит зрительный нерв. Удивительно то, что мы не видим никакого чёрного пятна или какой-то размытости, - ведь в этом случае, мы бы видели, что мы что-то не видим. Мы, однако же, не видим того, что мы не видим. Именно благодаря слепому пятну или наличию выхода зрительного нерва и осуществляется процесс зрительного восприятия. «Слепое пятно» сознания в метафорическом смысле и есть то самое различие, которое делает возможным познание, но само - как познавательное средство - остается незримым.

5 Алгебра высказываний Буля и исчисление индикаций Спенсера-Брауна

Критика и обсуждения. Критических отзывов в адрес «Законов формы» немного. В 1977 г. канадский математик Банашевский опубликовал статью [8], в которой был сделан вывод, что первичная алгебра Спенсера-Брауна является ничем иным, как теорией симметрической дифференциации (теории соединения и дополнения) двухэлементной алгебры Буля. Наиболее язвительную и, на мой взгляд, наименее обоснованную критику на «Законы формы» обрушил в 2002 г. Регер из Университета Юты (США)⁷. В своем кратком отзыве, который приведён ниже почти целиком, он обвиняет Спенсера-Брауна в четырёх ошибках. «Первая техническая ошибка – это провал попытки провести различие между формальной системой и её интерпретацией. Другими словами, новое обозначение для пропозициональной логики не может сказать нам ничего нового о логике: это просто позволяет определённые формулы сделать более удобными для записи (а некоторые, наоборот, становятся менее удобными). Вторая ошибка состоит в том, что необходимо преодолеть десять глав книги, в которых выводятся почти тривиальные теоремы, но таким способом, что нематематики будут явно смущены тем, что это всё имеет какой-то смысл. Вообще-то, они будут правы – пропозициональная логика – это достаточно невыразительная формальная система, и сама по себе она бесполезна. Третья ошибка – это чрезвычайно причудливая Глава 11, которая вводит логический эквивалент мнимых чисел. Это – интересная идея, которая возможно имеет потенциал, чтобы преодолеть парадокс Рассела, но эта глава никуда не ведёт: все запутано и изложено слишком сжато. Четвёртая ошибка – язык, используемый в книге: вместо того, чтобы использовать установленную терминологию, Спенсер-Браун вводит большое количество красочных новых терминов – в некоторых случаях это просто неудобно, а в других это может ввести в заблуждение. И всё это приводит к заключительному выводу, который полностью дискредитирует «Законы формы». Заявлено, что этот труд является крупным достижением, обобщением существующих формальных систем, который имеет далеко идущее значение для широкого диапазона дисциплин. Но это совсем не так; это всего лишь цветистый терминологический букет для того, чтобы не заскучали новички в колледже. Общий вывод таков – эта книга содержит много текста, но очень мало содержания. Это похоже на большой фальшивый алмаз – привлекательный и ничего не стоящий, но очаровывающий неосторожного читателя».

Чтобы не оставлять читателя в недоумении относительно правоты или заблуждения критиков Спенсера-Брауна, вслед за Робертсоном [9] проведём сравнительный анализ «Законов мышления» Буля и «Законов формы» Спенсера-Брауна. Спенсер-Браун, действительно, отталкивался от традиционной Булевой алгебры, но быстро обнаружил, что для описания сложных задач действительности он нуждается в инструменте, который не содержался в алгебре Буля. Необходима была новая арифметика, которую можно было бы приспособить для решения логических задач. Но традиционная алгебра Буля не содержала арифметики. Буль строил свою алгебру на тесной аналогии с обычной алгеброй чисел, используя стандартные символы для обозначения сложения, вычитания и умножения, но, в то же время, приписывая им логический смысл. В алгебре Буля эквивалентом обычных чисел были только два значения: «истинно» или «ложно». Подобно тому, как в обычной алгебре решением уравнения является число, так и в Булевой алгебре решением являлось одно из чисел: либо «ложно», либо «истинно».

Такая концепция построения алгебры логики, использующая привычные параллели с численной алгеброй, во многом способствовала тому, что алгебра Буля была понята и принята математиками (к сожалению, это, как часто случается, произошло уже после смерти Буля).

⁷ См. резюме по адресу: http://www.cs.utah.edu/~regehr/research/regehr_cv.pdf (последнее обращение 02.02.15)

Но, как оказалось, система записи обычной числовой алгебры была не самой лучшей для логической алгебры. На практике, сложные логические утверждения приводили к сложным Булевым уравнениям, которые трудно было распутать, для того чтобы определить являются ли они истинными или ложными.

Таким образом, отсутствие арифметического основания в алгебре Буля означало, что у неё не было возможности опуститься на более низкий, базовый уровень для решения сложных логико-алгебраических проблем. Спенсер-Браун был вынужден развить арифметику для Булевой алгебры попросту потому, что он нуждался в нужном инструменте для продолжения своей работы. Математики, выросшие на символизме Булевской системы, которая была развита из обычной алгебры чисел, даже не предполагали, что возможен иной более элегантный и глубокий подход. Спенсер-Браун доказал возможность существования базовой системы логики, основанной только на понятии пустоты и различия в этой пустоте. Пустота - это то, что не имеет определения, дифференциации, различия. Когда всё есть нечто, тогда всё является ничем. Когда мы ставим метку, то там, где до этого была только пустота, появляется различие (метка) и то, что различием не является. Мы можем говорить о том, что было ничем, как о том, что стало чем-то, поскольку оно отличается теперь от того, что было до внесения метки в ничто.

Из факта первого различения появляются два закона (конденсации и разрежения) и далее уже не имеет значения, сколько различений сделано, - все они являются, в конечном счете, комбинацией парных различений. Эти два почти очевидных закона позволили Спенсеру-Брауну развить его арифметику, которая приводит к выводу о существовании глубочайшей архетипической⁸ природы действительности. Этот вывод является одной из основных причин, по которой «Законы формы» либо поносят, либо преклоняются перед ними. Математики подозрительно относятся к утверждению, что аксиомы могут что-то сказать о реальности, и на это есть основания. Более двух тысяч лет величайшие умы полагали, что геометрия Эвклида не только логически безупречная система, но что она в полной мере соответствует действительности. Но в середине XIX в. оказалось, что эта геометрия является лишь частным случаем более общей неевклидовой геометрии, и вообще, геометрий может существовать сколько угодно. С тех пор математики стали более внимательно оценивать свои абстракции и формализмы, тщательно отделять свой математический мир идей от физического мира. Поэтому попытка Спенсера-Брауна развить аксиомы, которые сообщают нечто важное о действительности, по определению выступает против сути современной математики.

Итак, два закона – конденсации и разрежения - составляют полную и замкнутую систему арифметики Спенсера-Брауна. Это, конечно, необычная арифметика, в которой вместо чисел обычной арифметики, например 1, 2, 3, ..., используются только два «числа» - помеченное и непомеченное. Теперь любая комбинация меток, независимо от их сложности, может быть сокращена с использованием простых правил арифметики. Путём введения переменных, обозначаемых, как и в обычной алгебре, буквами алфавита, и подставляемых в помеченное или непомеченное состояния, Спенсер-Браун вносит свою арифметику в алгебру Буля. Далее он обосновывает теоремы, включающие комбинации меток и переменных и показывает, каким образом можно выразить истину или ложь, независимо от того, что стоит за этими переменными. Разумеется, алгебра Спенсера-Брауна эквивалентна алгебре Буля, но у неё есть значительное преимущество. Поскольку двузначная арифметика совершенно безразлична к тому, к чему она прилагается (в смысле истинности или ложности), то и результирующая алгебра совершенно не зависит от приложений. Эта алгебра может трактоваться как алгебра

⁸ Архетип (от греч. *arche* - начало и *topos* - форма, образец) – начало, прообраз. Термин «архетипический» получил распространение в современной философии под влиянием работ швейцарского психолога К.Г. Юнга и означает некие первичные, врожденные структуры так называемого коллективного бессознательного.

Буля, но она точно также может интерпретироваться как алгебра для расчёта сетей или любых других двузначных систем. Это обстоятельство либо игнорируется, либо не понимается критиками Спенсера-Брауна.

6 Асимметрия логики Аристотеля

Всё, что нас окружает, имеет действительное состояние, которое совершенно самодостаточно и живёт своей жизнью (в нем нет ни ИСТИННО, ни ЛОЖНО) – эти понятия привнесены людьми, даже если это не представлено на их «внутреннем табло». Выделив что-то из окружающего мира, сознание всё остальное отбрасывает, как фон. Например, рассматривая стул, оно отделяет стул от его окружения с помощью операции ИЛИ: стул или фон. При этом не замечается, что стул актуализируется, выделяется из фона не операцией ИЛИ, а дополнительным отрицанием этого фона – «втаскиванием» окружения стула одновременно с его отрицанием (ИСКЛ-ИЛИ) – это повторный вход, который не осознается. Являются ли помеченное и непомеченное состояния симметричными? Можем ли мы с тем же успехом, как белый/чёрный или истинно/ложно сказать помечено/непомечено? Ответ – нет, и по очень важной причине. ИСТИННО/ЛОЖНО и БЕЛЫЙ/ЧЁРНЫЙ являются Булевой логикой с двумя состояниями, в то время как Помечено/Непомечено – с одним, с тем, которое имеет метку.

В логике обычно считается, что то, что «не истинно» означает то же, что «ложно», а «не ложно» соответственно означает «истинно». Так что можно выбирать, ассоциировать ли немаркированное состояние с истиной, а маркированное с не истиной, или наоборот, немаркированное с не истиной, а маркированное с истиной. С точки зрения исчисления Спенсера-Брауна, второй способ на самом деле легче для интерпретации. Соответственно, он идентифицирует маркированное состояние и пустое пересечение с истиной, а немаркированное состояние, и соответственно, незаполненное пространство, с ложью. Поэтому в логике Спенсера-Брауна символ $\sqcap$ обозначает ИСТИННО, а ЛОЖНО и НЕТ никак не помечается. Т.е. нужно ли выразить ЛОЖНО в исходных переменных или операцию НЕТ, всё равно используется один и тот же символ. А поскольку можно сконструировать любую логическую операцию, правильно расположив НЕТ, то используем арифметику на уровне ниже уровня Булевой алгебры.

Теперь мы можем повторить идеи, обсуждавшиеся выше, в элегантной манере Спенсера-Брауна, и, как следствие, увидеть последствия ошибки сознания в том, как мы видим большинство простейших логических операций, которые обычно считаем надёжными. В обычной логике наблюдатель перетаскивает каждый объект на свое табло и, как описано выше, неизбежно приходит к тому, что вынужден использовать пометку (или другими словами, делать что-то) для ИСТИННО (или существования) и не делать пометку для ЛОЖНО (или отрицания того, что существует). Однако теперь в терминах первичной алгебры он перетаскивает каждый объект через границу, и поэтому изменяет знак с ИСТИННО на ЛОЖНО и наоборот. Алгебраическое описание перетаскивания содержит требование, чтобы в каждом акте разглядывания чего-либо обычный наблюдатель поменял знак.

Операция ИЛИ. Логическое ИЛИ на самом деле очень похоже на то, как в обычном разговоре используется слово «или». Если одна вещь, или другая, или обе, истинны, то комбинация их истинна. Например, «Если сегодня (а) вторник или (b) пятница, то я работаю в библиотеке». В таблице истинности ЛОЖНО появляется только в случае, если сегодня не вторник и не пятница, а например, понедельник или четверг, тогда я точно не работаю в библиотеке. Но если, проснувшись утром, я не могу вспомнить какой сегодня день недели, то неважно, будет ли это вторник или пятница, я всё равно пойду в библиотеку. Обратим внима-

ние (см. таблицу 1), что исходные понятия для ИЛИ симметричны (вторник и пятница – это дни недели), но результаты - нет. Исходное ИСТИННО доминирует.

Таблица 1 - Иллюстрация асимметрии ИСТИННО – ЛОЖНО при операции ИЛИ

ИЛИ	(a) ИСТИННО	(a) ЛОЖНО
(b) ИСТИННО	ИСТИННО	ИСТИННО
(b) ЛОЖНО	ИСТИННО	ЛОЖНО

То, что скрывается в нашем понимании даже этого простейшего логического отношения между двумя величинами - есть иллюзия, что в нашей вселенной доминирует логическая ИСТИНА. Факт логической асимметрии нашей вселенной обусловлен тем, что невозможно провести отграничение вселенной от чего-то другого; другого просто нет. А. Картер приводит оригинальное свидетельство в пользу этого утверждения: «по определению, каждая вещь, о которой мы сможем когда-либо получить знание, находится внутри вселенной. Если мы никогда не сможем получить знание о вещи, то она не является частью нашей вселенной. Теперь, если я залезаю в нору, то я покончу с норой и соответствующей кучей вынутого грунта. Факт существования вынутого грунта «уравновешивает» факт существования норы. Но когда это переносится на вселенные, любой другой факт, уравновешивающий факт существования нашей вселенной, является истиной за пределами нашей вселенной, а не внутри её. Таким образом, мы никогда не сможем получить какое-либо знание об этом факте. Таким образом, с нашей точки зрения изнутри вселенной не существует другого факта, уравновешивающего факт существования этой вселенной. Она просто существует, и это всё, что для неё есть» [10].

Как мы увидим, этот факт логической асимметрии нашей вселенной делает выбор помеченного или непомеченного состояния для обозначения существования действительно очень важным, поскольку ответы получаются действительно разные.

7 Система обозначений логических переменных в элементарной алгебре

Пусть теперь переменные **a**, **b**... обозначают возможные истинные значения различных простых предложений в сложном предложении, а для этого мы можем выделить определённую переменную для каждого отдельного простого предложения. Далее нам нужно найти формы в элементарной алгебре ДСБ, которые будут должным образом представлять константы в пропозициональном исчислении, посредством которых связаны значения. Можно толковать $\sim a$, или **не a**, посредством $\overline{a}$. В элементарной алгебре Спенсера–Брауна **a** ИЛИ **b** записывается так:

$$\overline{a \mid b}$$

Это надо понимать так, что пространство помечается двумя метками: **a** или **b**.

Можно пометить два пространства по отдельности:

$$\overline{a} \mid \overline{b}$$

Это означает, что теперь есть два помеченных пространства: одно помечено как **a**, а другое, как **b** (**a** И **b**). Все остальные формы можно вывести из таблицы 2.

Таблица 2 - Обозначение логических операций в пропозициональном исчислении и в элементарной алгебре Спенсера-Брауна

Словами	В пропозициональном исчислении	В элементарной алгебре
не a	$\sim a$	$\overline{a}$
a или b	$a \vee b$	ab
a и b	$a.b$	$\overline{\overline{a} \overline{b}}$
a включает b	$a \supset b$	$\overline{a} \overline{b}$

Операция ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ (ИСКЛ-ИЛИ). Это означает, что если одно утверждение истинно или другое, но не оба одновременно, то результат истинен. Например, в нашем предыдущем примере с походом в библиотеку, условия изменятся следующим образом: если сегодня - (**a**) вторник и дождь не идёт или сегодня - (**b**) пятница и дождь идёт, то я иду в библиотеку. То есть, если я, скажем, проснулся и увидел, что идёт дождь, то я проверяю, какой сегодня день – если вторник, то я не иду в библиотеку, если пятница, то иду. Если дождя нет, то я снова проверяю, какой день, и если это пятница, то я не иду в библиотеку, но если это вторник, то иду. В случае с простым ИЛИ было проще; вторник ли, пятница, - я всё равно иду в эти дни в библиотеку. Исключающее ИЛИ, как видим, достигается включением в исходные утверждения дополнительных условий со связкой И и отрицанием НЕТ; например, сегодня пятница и дождь не идёт. Исходные утверждения в отличие от предыдущего случая утрачивают свою симметрию. Но таблица истинности (таблица 3) для ИСКЛ-ИЛИ теперь стала симметричной, что кажется, ещё больше запутывает ситуацию, так как теперь при более сложных, несимметричных условиях для истинности, мы вдруг получили более простую симметричную таблицу истинности.

Таблица 3 - Иллюстрация симметрии ИСТИННО – ЛОЖНО при операции ИСКЛ-ИЛИ

ИСКЛ-ИЛИ	(a) ИСТИННО	(a) ЛОЖНО
(b) ИСТИННО	ЛОЖНО	ИСТИННО
(b) ЛОЖНО	ИСТИННО	ЛОЖНО

Запишем теперь ИСКЛ-ИЛИ в виде, используя отрицание НЕТ (или НЕ, что одно и то же):

$$\text{ИСКЛ-ИЛИ} = (a \text{ ИЛИ } b) \text{ И } (\text{НЕ } (a \text{ И } b))$$

Эта запись удовлетворяет требованию, чтобы из условия, что одно из двух утверждений (a) или (b) было истинно, но не оба одновременно, следовало, что результат истинен.

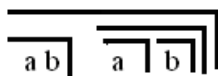
Если теперь сделать пометку для ИСТИННО вне знака пересечения, то операцию И (как противоположность естественному И-НЕ) можно выразить так:

$$\overline{\overline{a} \overline{b}}$$

Теперь операцию ИСКЛ-ИЛИ можно записать в виде:

$$\overline{ab} \overline{\overline{a} \overline{b}}$$

Эта запись выглядит довольно громоздкой, но можно её сократить в соответствии с законом сгущения, что даёт нам:



Что на обычном языке записывается так:

ИСКЛ-ИЛИ = (а ИЛИ b) И ((НЕ a) ИЛИ (НЕ b))

Более сложная версия на обычном языке является более простой версией выражения, полученного из элементарной алгебры, и наоборот. Это означает, что естественный разговорный язык логически искажён. Посмотрев на выражение, которым мы закончили, мы можем понять проблему не-существования (или существования НЕТ, которого нет). Она происходит из потребности человеческого сознания в точно выраженной передаче каждой ощущаемой вещи из действительности на внутреннее табло *до того, как она появляется на табло для получения заключений*. В более сложной языковой версии обе **a** и **b** появляются симметрично слева и справа от И. Если **a** есть ИСТИННО с одной стороны И, она будет ИСТИННО и с другой стороны. Потому что пространство всегда знает, что значение **a** сохраняется и оно всегда одно и то же. То же справедливо и для **b**. Нас вообще не должно беспокоить, какое из них истинно.

На деле **a** и **b** позаботятся о себе сами, поэтому если одна из них делает ИСТИННО левую часть И, то она автоматически внесёт ЛОЖНО в правую часть из-за индикации над ней. Чтобы так сделать, наблюдателю ничего не нужно делать на своём внутреннем табло. Поэтому всё, о чём мы должны побеспокоиться - это способно ли другое значение произвести ИСТИННО после НЕ над ней, подразумевая, что только одно из значений есть ИСТИННО. Трудность в том, что люди не желают удостовериться, что пространство имеет действительное состояние, которое самодостаточно и живёт своей жизнью (даже если это не представлено на их табло).

8 Абрис математики исчисления индикаций

В исчислении индикаций ДСБ различает каноны и теоремы. Каноны – это способы, с помощью которых предписания или команды объединяются в совокупности (или созвездия, как их называет ДСБ). Канон – это приказ, или набор приказов, разрешить или допустить, но не построить или создать. Например, команда построить (т.е. «провести различение»), даже если она является наиболее важной, не является каноном. Всего в исчисление вводится шесть канонов. Вот, к примеру, что утверждает четвёртый канон, называемый гипотезой упрощения.

Принимается, что значение расположения⁹ – это значение простого выражения, которое можно пошагово изменить.

Пример. Чтобы найти значение расположения



произведём упрощение с помощью следующих последовательных шагов (конденсации и аннигиляции), чтобы превратить его в простое выражение.



Теперь, по гипотезе упрощения его значение должно быть маркированным состоянием. Таким образом, можно высказать суждение о значении любого размещения, если это размеще-

⁹ Имеется в виду расположение меток (индикаций).

ние можно упростить. Но очевидно, что одни размещения можно упростить несколькими способами, и понятно, что другие упростить не удастся совсем.

В математике на некоторой стадии становится очевидным, что мы некоторое время следовали какому-то правилу, сами того не сознавая. Это можно назвать использованием *скрытого или неявного* условия. Каноны как раз и должны сразу заявить о себе как заранее принятые условия.

Теперь доказательства теорем или подтверждения определённых высказываний, типа «подразумеваются в...», «вытекают из...», допускаются канонами или постоянными распоряжениями, которые уже были введены или созданы.

Говоря об исчислении индикаций, мы начинаем с точки такого вырождения, чтобы обнаружить, что идеи описания, обозначения, названия и инструкции могут означать одно и то же. Читателю важно осознать это самому, или же ему будет трудно понять (хотя он сможет следить за ходом рассуждений) доказательство, которое ведёт ко второму элементарному уравнению.

В команде «совершим переход в состояние, отмеченное маркером» обозначение сразу же приобретает двойное значение: во-первых, как команда перейти, во-вторых, как указатель (и, следовательно, название) того места, куда нас привело это пересечение. До выполнения этой команды вопрос о том, будет ли символ нести в себе указание, остается открытым. Но команда недвусмысленно определяет состояние, в которое совершается переход, и, таким образом, определяет указание, которое впредь будет нести символ. Этот двойной перенос названия на инструкцию и инструкции на название называют на языке математики структурой, в которой идеи или значения *вырождаются*. Её также можно назвать на языке психологии местом, где идеи сжимаются в одном символе. Именно такое сжатие и даёт символу его силу.

В математике, как и в других дисциплинах, сила системы определяется её элегантностью, которая достигается с помощью сжатия максимального объёма необходимой информации до наименьшего необходимого объёма, освобождая, таким образом, этот наименьший объём информации от ненужных подробностей настолько, насколько это позволяет необходимость записывать и читать эту информацию с лёгкостью и без ошибок.

Теперь мы можем провести различие между элегантностью в исчислении, которая облегчает его использование, и способом его словесного описания, которое может затруднить его понимание. В обычной жизни мы привыкли получать указания, что делать, которые подтверждаются несколькими разными способами; и когда нам даётся предписание, освобождённое от деталей до одной только сути и указывающее, что делать, только единожды и единственным способом, мы можем его отвергнуть, независимо от того, каким бы точным и недвусмысленным оно ни было. В математике нам нужно избавиться от этой привычки, чтобы принимать предписание буквально и сразу же.

Приведём также пример двух теорем, следствия из которых позволят нам рассмотреть примеры логических исчислений с применением индикаций (таблица 4).

Таблица 4 - Иллюстрация содержания двух теорем (инвариантность и перестановочность)

Инвариантность	Перестановочность
$\overline{\overline{p}} \mid p = .$	$\overline{\overline{pr}} \mid \overline{\overline{qr}} = \overline{\overline{p}} \mid \overline{\overline{q}} \parallel r$

Это упрощение свойственно «математике сознания» ДСБ, так как целью соотношения указанных выше выражений с символами исчисления индикаций является не просто их представление в новой записи, а вычисление. Теперь мы не просто избегаем ненужного мно-

гословия в репрезентативной форме, но делаем процесс логического вычисления намного проще. В этом случае можно обойтись без целого ряда длинных и утомительных вычислений, а также без их не менее трудных альтернатив, как, например утомительных (и слабых математически) процедур составления таблиц истинности или графических методов диаграмм Венна и их современных эквивалентов. Это возможно за счёт того, что три класса алгебраических выражений, которые соответствуют в логической интерпретации истинному (тавтологическому), ложному (противоречащему) и условному (может быть), легко различаются при манипулировании с ними с помощью исчисления индикаций.

Примеры:

- $$1) \quad (q \supset r) \supset ((p \vee q) \supset (r \vee p)).$$

Это логическое утверждение в исчислении индикаций записывается так:

$$\overline{q} \mid r \mid \overline{pq} \mid rp$$

Проведём преобразования в соответствии с канонами и теоремами исчисления индикаций:

$$\overline{\overline{q}} \mid r \mid pq \mid rp = \overline{\overline{q}} \mid r \mid \overline{q} \mid rp = \overline{} \mid \overline{q} \mid rp = \overline{}$$

То есть, логическое предложение из примера 1 – истинно.

- 2) $((r \supset p) \supset (\sim(p \vee q))).p.$

Это логическое утверждение в исчислении индикаций имеет вид:

$$\overline{\overline{\overline{r} \mid \overline{p} \mid p} \mid \overline{p} \mid pq}$$

В соответствии с канонами и теоремами исчисления индикаций получаем:

$$\overline{\overline{r}} \overline{\overline{p}} \overline{\overline{p}} \overline{\overline{p}} \overline{\overline{pq}} = \overline{\overline{r}} \overline{\overline{p}} \overline{\overline{pq}} = \overline{\overline{\quad}} \overline{\overline{\quad}} =$$

То есть, логическое предложение из примера 2 - ложно.

- 3) $((p \supset q).(r \supset s).(q \vee s)) \supset (p \vee r).$

В исчислении индикаций это выглядит следующим образом:

$$\overline{\overline{p} \mid \overline{q} \mid \overline{r} \mid \overline{s} \mid \overline{qs} \mid pr}$$

В результате преобразований получаем:

$$\overline{\overline{p}q} \overline{r}s \overline{qs} \quad pr = \overline{\overline{p}q} \overline{r}s \overline{qs} \quad pr = \overline{qs} \quad pr$$

Это означает, что логическое предложение из примера 3 – условно, то есть верно либо **qs**, либо **pr**.

Эти вычисления, проведённые в элементарной алгебре, предложенной ДСБ, настолько просты, что математически кажутся тривиальными. То есть, когда каждое предложение записывают в исчислении индикаций, для каждого человека, знакомого с этой формой исчисления, ответ будет очевидным с первого взгляда.

Обратимся теперь к попытке Спенсера-Брауна ввести логический эквивалент мнимых чисел. Глава 11 в книге ДСБ, в которой описываются воображаемые (мнимые) состояния формы, действительно, одна из самых трудных для понимания. Чтобы обосновать переход от неопределённой в пространстве величины, которая реальна в отношении времени, и может, в

отношении самой себя, стать определённой в пространстве, и, следовательно, стать реальной в форме, Спенсер–Браун придумал специальный термин – «туннель», который обеспечивает переход от мнимой стороны формы к реальной стороне. Для логического обоснования приведённое им объяснение (использование «туннеля») представляется недостаточно обоснованным. Наш соотечественник, выдающийся учёный, философ и богослов П.А. Флоренский, рассматривая мнимости в геометрии, предложил истолкование мнимых чисел в виде двумерных образов на кривых поверхностях [11]. Возможно, дальнейшая разработка этой идеи и перенос её в логическую плоскость поможет обоснованию идеи ДСБ. Удивительно, но рассмотрение Флоренским чисто математической задачи также привело его к выводу о существовании мира непротяженных, неизменяемых, вечных сущностей – идей, а также позволило развить подход к описанию неожиданных свойств пространства. Отметим также имена наших соотечественников А. Богданова [12, 13] и Н. Васильева [14], развивавших идеи воображаемой (двойственной) логики задолго до появления книги ДСБ.

9 Законы формы как философия и математический аппарат для описания когнитивных процессов

Когнитивная наука возникла во второй половине XX века как новый подход к изучению человеческого мышления. Если до этого мышление изучалось философами и логиками в основном умозрительно, то когнитивная наука подходит к изучению мышления на основе методологии естественных наук. Когнитивные основания логики различия Спенсера–Брауна получили подтверждение Ф. Варелой и У. Матураной в серии работ по эволюционной эпистемологии. Их позиция заключается в понимании жизни и познания как двух сторон одного и того же процесса. «Живые системы — это когнитивные системы, а жизнь как процесс представляет собой процесс познания. Это утверждение действительно для всех организмов, как располагающих нервной системой, так и не располагающих ею» [15].

Матурана сформулировал гипотезу о том, что *циклическая организация* нервной системы является базовой организацией для всех живых систем. Такой сетевой паттерн, в котором функция каждого компонента состоит в том, чтобы помочь произвести и трансформировать другие компоненты, одновременно поддерживая общую цикличность сети, и является *основной организацией живого*. Он постулировал, что нервная система не только *сама организуется*, но и постоянно *сама на себя ссылается*, поэтому восприятие не может рассматриваться как представление внешней реальности, но должно быть понято как непрерывное создание новых взаимоотношений внутри нейронной сети. Варела и Матурана выдвинули идею аутопоэзиса¹⁰, которая оказалась необыкновенно плодотворной и хорошо работающей в самом широком диапазоне явлений: от нейрофизиологии зрения до феноменологии социальных и культурных процессов.

Понять идею аутопоэзиса можно на сравнении компьютера и нервной системы. Компьютер обрабатывает информацию. Это означает, что он манипулирует символами на основе определенных правил. Символы представляют собой определённые элементы, загружаемые в компьютер извне; в ходе обработки информации изменений в структуре машины не происходит. Физическая структура компьютера («железо») неизменна, она определена замыслом разработчика и конструкцией.

Нервная система живого организма функционирует совершенно иначе, - она взаимодействует со своим окружением, постоянно изменяя свою структуру таким образом, что в каждый определённый момент её физическая структура является записью предыдущих струк-

¹⁰ Аутопойесис - (*autopoiesis* – аутопоэз, аутопоэзис, аутопоэзис и т.п.) – самосозидание. Ауто- означает «само-» и относится к автономии самоорганизующихся систем; а пойс имеет тот же греческий корень, что и «поэзия», и означает «созидание».

турных изменений. Нервная система не обрабатывает информацию из внешнего мира, но, наоборот, *творит некий мир* в процессе познания и интерпретирует его в человеческом мышлении и языке. Познание есть не отображение независимого, предопределённого мира, но сотворение нового мира. Конкретным организмом в процессе его жизнедеятельности создается не мир *вообще*, а некий *конкретный* мир, всегда обусловленный структурой организма. Эти краткие тезисы составляют суть конструктивизма – относительно нового направления, оформившееся с 80-х годов XX века в эпистемологии, сформированное в междисциплинарном пространстве современного естествознания и гуманитарных наук.

Способы, которые мы используем для структурного сопряжения с окружающей средой, и, следовательно, мир, который мы творим, зависят от нашей собственной структуры. И хотя человек часто использует ментальное отображение и информацию, наш познавательный процесс построен не на них. Мы настолько привыкли к абстрактным операциям, что склонны верить, что значение содержится в элементе информации, а не в контексте, из которого он был извлечён. Можно подумать, что единицей знания является понятие или их совокупность – ведь из их комбинаций рождается мысль и знание, – но это не так. Оказывается полезным признать существование ещё более абстрактного уровня. Различие – вот что является единицей знания. Можно привести предложенную польским учёным Коржибским аналогию с картой [10]. Карта – это не территория. То, что попадает на карту – это различия (в высоте, протяженности, растительности, населённости и т.п.). Наше знание – это такая же карта. Выбор различий (выбор факта, выбор идеи) вообще говоря, произволен. Мы можем иметь множество карт, но территория (объективная реальность) остаётся «вещью в себе». Различие между листом бумаги на столе и деревом столешницы не содержится ни в бумаге, ни в дереве. Также очевидно, что различие не находится в пространстве или в промежутке времени (в последнем случае мы могли бы говорить об изменении).

Следовательно, делает вывод Бэйтсон [16], – различие – это абстрактное понятие, это идея, это ментальная конструкция. Оно не локализовано ни в пространстве, ни во времени. Различение может быть определено как процесс (или результат) различия между классом явлений и являющимся дополнительным (комплементарным) ему классом (т.е. всех явлений, не включённые в данный класс). Речь идёт об исчислении, которое маркирует различения, и тем самым, предполагает наблюдателя, который использует различение, чтобы обозначать одну сторону, а не другую. Таким образом, различение структурирует вселенную всех опытных явлений на две части. Одну такую часть, которая выделена из её дополнения или фона, ДСБ назвал *индикацией*. Если применяется более одного различения, то структура становится более сложной и число потенциальных индикаций возрастает в зависимости от числа различений и способа их соединения. Различение может рассматриваться как элемент когнитивной структуризации. Вначале исчисление ещё не может учитывать наблюдение, но затем быстро обнаруживается, что сам предполагаемый наблюдатель есть различение, а именно, различение наблюдателя и того, *что* он наблюдает.

Ключевым в теории Спенсера Брауна является понятие формы, которая есть не что иное, как граница, которая прорисована в мире, так что возникают две стороны и нужно решить, на какой стороне следует начинать операции; на какой стороне ты хочешь обозначить, «что происходит», и какая другая сторона, следовательно, «за этим кроется». Различения конструируются в пустом пространстве – пространстве представления. Это пространство не имеет метрики, оно не имеет никаких характеристик и полностью свободно для производства различений. Пространство представления охватывает все различения, которые оно содержит, и которые могут, в частности, трактоваться такими понятиями, как «внутри», или «снаружи». Такая всеохватность означает, что различение не приводит к картезианской дуализму. Как указывает Брикен [17], – теперь контекст и контент не разделены исключаящим «ИЛИ», а

соединены включающим «или». Представляющее пространство, хотя и выглядит весьма абстрактным, предоставляет уникальный инструмент, которого нет в традиционной методологии научных рассуждений, а именно - оно может быть пустым (немаркированным). Пустота не может восприниматься непосредственно, для этого у человека нет органов чувств. Различение обеспечивает не прямой доступ: немаркированное различие указывает на пустой контекст, но не в смысле того, что он ничего не содержит, а в том смысле, что он может содержать нечто, что заложено в нем контентом: например, ответ на вопрос «что за этим скрывается?» Луманна [18] и etc¹¹. Имплиcitный контекст, - это, используя терминологию А. Богданова [13], как бы «отпечаток» комплекса (контента) в окружающей среде. А можно сказать и наоборот, что контекст «отливается» в двойственную ему форму *эксплицитного контента*.

Введение законов ассимиляции и аннигиляции может рассматриваться как элементарный акт когнитивной структуризации на пути построения когнитивных репрезентаций. Репрезентация - это представление в человеческом мозге (или шире - в любой системе, способной к различению) мира, частей мира и процессов в нём. Действительно, любой процесс восприятия предполагает классификацию явлений. Эта операция классификации имеет два взаимосвязанных аспекта.

- 1) Явления, которые взяты вместе как класс, рассматриваются как эквивалентные с точки зрения целей наблюдателя; они ассимилированы и принадлежат одному эквивалентному классу. Это отражается в законе ассимиляции. Отметим важное обстоятельство: все наблюдаемые явления, которые предоставляются нам органами чувств и для которых есть стандартные метки - понятия, принадлежат к одному классу репрезентаций. Все они ассимилированы в сознании, как существующее, но не являются точным воспроизведением реальной жизни; на самом деле это сочетание информации, умозаключений и реконструкций на основе знаний о знаниях, в объёме которого идут поиски ответа на вопрос «что происходит?»
- 2) Явления, принадлежащие различным классам, считаются отличными или различными, они принадлежат к различным классам эквивалентности. Именно это отражает закон пересечения, так как возврат в исходное состояние после повторного пересечения предполагает наличие различия. Здесь возникает проблема выбора: принять различное и ассимилировать его, переведя в класс существующего, или отвергнуть, как ложное или несуществующее. Именно в этой точке может возникнуть заблуждение, если знак существования принимается за само существование, или если существующее отвергается, как несуществующее. Если применяется более одного различения, то структура становится более сложной и число потенциальных индикаций возрастает в зависимости от числа различений и способа их соединения. Ответ на вопрос «что за этим кроется?» будет зависеть от структуры этого построения.

Операции различения и ассимиляции (нивелирования) по необходимости сосуществуют вместе. Если бы когнитивная система (человек) распознавала бы только ассимиляцию и не замечала бы различия, то она была бы неспособна к восприятию различных явлений и не смогла бы адаптироваться к изменяющемуся окружению. С другой стороны, система, которая замечала бы только различие и не видела бы ассимиляции (однородных объектов), была бы неспособна к предвидению, и точно также не смогла бы адаптироваться. Различения дифференцируют явления, а нивелирование интегрирует их. Восприятие явлений - это коммуникация или смысловой процесс, включающий в себя информацию, сообщение и понимание [18]. Согласно Луманну не может быть никакой информации вне коммуникации, нет ни-

¹¹ Физики давно и успешно применяют понятие «физического вакуума» - полностью лишённого вещества пространства, в котором постоянно рождаются и исчезают виртуальные частицы.

каких сообщений вне коммуникации, нет никакого понимания вне коммуникации. Причем, это следует понимать не в смысле какой-либо причинности, согласно которой информация должна была бы быть причиной сообщения, а сообщение — причиной понимания, а в смысле круговой взаимной предпосылки.

Коммуникация в соответствии с законами нивелирования и различения удваивает реальность. Она создает два её варианта: вариант «да» и вариант «нет», и тем самым принуждает к селекции. И как раз в том, что теперь должно что-то происходить (пусть это будет обрыв коммуникации), заложен автопоэзис системы, которая гарантирует себе своё собственное продолжение. Различение внутреннего и внешнего вводится внутри самой системы и оказывается не «объективным» отличием системы от мира, а её собственной операцией. Но совершение одной операции, поскольку оно возможно лишь с отсылкой к другой операции, означает, что система полностью производит самое себя. Она есть *автопоэтическая* (самопроизводящая) система. Автопоэзис не означает независимости от окружающего мира и творения из ничего. Он возможен лишь при наличии структурной пары - связи системы и окружающего мира. Мир, коррелятивный системе, есть условие возможности её самопроизводства, автопоэзис же означает, что внутри системы нет ничего, что не было бы элементом системы, а элементы системы могут быть произведены лишь ею самой.

Таким образом, заострение альтернативы приёма или отклонения является ничем иным, кроме как автопоэзисом самой коммуникации. Мир не детерминирует действий системы. У неё есть возможность выбора. Выбирая то или иное действие, система стремится к редукции ситуации до объёма, способного удержать целостность системы. Но редукция всякий раз оборачивается усложнением: каждое действие влечёт за собой множество следствий, которые не поддаются учёту. Чтобы реагировать на усложнившийся мир, система умножает число состояний, совместимых с её структурой, т.е. усложняется, а это ещё более усложняет результаты её функционирования. Ей становится всё сложнее реагировать даже на себя самое. Таким образом, образуются внутренний и внешний горизонты как области, в пределах которых может совершаться отбор информации и выбор способов совершения действий.

Заключение

- 1) Древнюю и глубокую загадку, которой озадачился ещё Людвиг Виттгенштейн в своём Логико-философском трактате [19], состоящую в том, что мир, который нас окружает, сконструирован таким образом, что может видеть самого себя, Дж. Спенсер–Браун решает совершенно неожиданным поворотом восприятия - введением символизма исчисления индикаций (помечено – непомечено). Этот простой, казалось бы, ход, сразу выводит нас за пределы видимых явлений и даёт возможность переступить через границу восприятия. Так, слово «там» содержит в себе фокус. «Там» существует в реальности не как «где», для имеющегося «там». Нет и вопроса «когда?» Это всё конструкции воображения, это изобретение устойчивых форматов человеческого ума для видимых явлений.
- 2) Любая индикация подразумевает двойственность, так как мы не можем создать вещь, не создав параллельно того, чем она не является, и любая двойственность подразумевает тройственность: то, что есть вещь, то, чем она не является, и граница между ними. Итак, как поясняется в главе 1 «Законов формы», невозможно представить что-либо, не определив два состояния, а определить эти два состояния невозможно, не создав трёх элементов. Ни один из них не существует в реальности в отдельности от других.
- 3) При выявлении правил алгебраического манипулирования ДСБ открыто признает существование других систем исчисления, и прежде всего, булевой алгебры. Отличие системы ДСБ от алгебры Буля не только в том, что алгебра ДСБ это система исчисления с одним

состоянием (помечено или не помечено), а булева алгебра с двумя (истинно и ложно), но прежде всего в том, что ДСБ таким способом неявно вводит второго наблюдателя, что делает логические рассуждения более реалистичными.

- 4) В обыденном сознании предполагается, что «ничто» (в нашем эмпирическом понимании – ненаблюдаемое) не может иметь никаких последствий. Даже с точки зрения здравого смысла это не так. Ничто – это непроявленность бытия. Отмечая одну сторону бытия, мы должны понимать, что по другую сторону остаётся не ничто, а что-то, что может быть чем угодно. Позиции наблюдателей могут быть диаметрально противоположны, но самое главное, что они могут сосуществовать в одном и том же научном сообществе. Опровержение оппонента не может строиться на логическом анализе его рассуждений. Такой анализ показывает лишь сводимость или несводимость новой истины (отмеченной стороны) к уже существующим (отмеченным состояниям других наблюдателей).

Список источников

- [1] *Spenser-Brown, G.* Laws of Form / G. Spenser-Brown. - Allen and Unwin, London, 1969.
- [2] *Keys, J.* Only Two can play This Game / J. Keys - Cat Books, 17 Halifax Rd, Cambridge, 1971. – 144 p.
- [3] *Грязнов, А.Ю.* Абсолютное пространство как идея чистого разума / А.Ю. Грязнов // Вопросы философии. – 2004. - №2. - С. 127-147.
- [4] *Герц, Г.* Принципы механики, изложенные в новой связи / Г. Герц. - М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 388 с.
- [5] *Попков, В.В.* Двойственность и единство видимых и «невидимых» переменных в механике Генриха Герца и диакопике Габриэля Крона / В.В. Попков, Е.В. Шипицын // Вестник Международного Института А. Богданова. – 2004. - №18(2).
- [6] *Березуев, Р.И.* Неформализуемость ненаблюдаемого и парадокс лжеца / Р.И. Березуев // Квантовая Магия. – 2006. – Т. 3. - Вып. 2. - С. 2131-2142.
- [7] *Каминский, А.В.* Анатомия квантовой суперпозиции (3-х битная Вселенная) / А.В. Каминский // Квантовая Магия. – 2006. – Т. 3. - Вып. 1. - С. 1130-1142.
- [8] *Banaschewski, B.* On G. Spencer Brown's Laws of Form / B. Banaschewski // Notre Dame Journal of Formal Logic. – 1977. – No. 18(3). – P. 507-509.
- [9] *Robertson, G.* Some-thing from No-thing: G. Spenser-Brown's Laws of Form / G. Robertson // Cybernetics & Human Knowing. - 1999. - Vol.6. - No.4. - P. 43–55.
- [10] *Коржибский, А.* Наука и психическое здоровье (книга 2): общее введение в не-аристотелевы системы и общую семантику / А. Коржибский // Перевод на русский О. Матвеева, 2007. - <http://www.ligis.ru/librari/2465.htm> - (актуально на 02.02.15).
- [11] *Флоренский, П.А.* Мнимости в геометрии: расширение области двумерных образов геометрии (опыт нового истолкования мнимостей) / П.А. Флоренский. - М.: ЛИБРОКОМ, 2009. – 72 с.
- [12] *Богданов, А.А.* Эмпириомонизм / А. Богданов. - М.: Изд-во Республика, 2003. – 400 с.
- [13] *Богданов, А.А.* Тектология: всеобщая организационная наука / А.А. Богданов. - М.: Финансы, 2003. – 496 с.
- [14] *Васильев, Н.А.* О частных суждениях, о треугольнике противоположностей, о законе исключенного четвертого / Н.А. Васильев // Воображаемая логика. Избранные труды. – М.: Наука, 1989. – 264 с.
- [15] *Матурана, У.* Древо познания: биологические корни человеческого понимания / У. Матурана, Ф. Варела. - М.: Прогресс-Традиция, 2001. – 224 с.
- [16] *Бэйтсон, Г.* Шаги в направлении экологии разума. Избранные статьи по теории эволюции и эпистемологии / Г. Бэйтсон - М.: Комкнига, 2005. -248 с.
- [17] *Bricken, W.* Distinction Networks / W. Bricken // Proc. 19th Annual German Conference on Artificial Intelligence, (Bielefeld, Germany, September 11 - 13, 1995). Eds.: I. Wachsmuth, C.R. Rollinger and W. Brauer. - Springer-Verlag, 1995. - P. 35-48.
- [18] *Луманн, Н.* Что такое коммуникация? / Перевод с нем. Д. В. Озирченко // Социологический журнал. — 1995. — № 3. — С. 114—125
- [19] *Виттгенштейн, Л.* Логико-философский трактат. Л. Виттгенштейн. - М: АСТ, 2010. – 100 с.

G. SPENCER-BROWN'S ARITHMETIC OF CONSCIOUSNESS

V.V. Popkov

International Alexander Bogdanov Institute, Ekaterinburg, Russia
president.ibi@mail.ru

Abstract

The article presents a short review of ideas of G. Spencer-Brown – the British logician, mathematician and philosopher, the author of the original theory of calculation of indications providing a basis for the imagined or dual logic, considering a duality and self-reference character of human knowledge. In addition, questions of manifestation of observable and not observable are considered in connection with Spencer-Brown's ideas. The comparative analysis of “arithmetic of consciousness” of Spencer-Brown and Boolean algebra is carried out. An ontological asymmetry of logic of Aristotle and its overcoming by means of algebra and Spencer-Brown's arithmetic is shown on examples. Based on the laws of form, two classes of phenomena, and accordingly, the related concepts that are relevant to answering the questions: “what is happening”? and “what is hidden behind this?” are demonstrated. The role of calculation of indications, as mathematical apparatus for modeling of cognitive processes is shown.

Keywords: distinction, indication, duality, self-reference, form, not observable, Boolean algebra.

References

- [1] **Spenser-Brown, G.** Laws of Form / G. Spenser-Brown. - Allen and Unwin, London, 1969.
- [2] **Keys, J.** Only Two can play This Game / J. Keys - Cat Books, 17 Halifax Rd, Cambridge, 1971. – 144 p.
- [3] **Gryaznov, A.Yu.** Absolutnoe prostranstvo kak ideya chistogo razuma [Absolute space as an idea of pure reason]. // Voprosy filosofii. - 2004. – No. 2. - P. 127-147. (In Russian)
- [4] **Hertz, H.** Prynzipy mehaniki izlozhennye v novoy svyazi [Principles of mechanics presented in a new relation] / H. Hertz. - M.: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1959. – 388 p. (In Russian)
- [5] **Popkov, V.V.** Dvoystvennost i edinstvo vidimyykh i nevidimyykh peremennykh v mehanike Henriha Herta i diakoptike Gabriela Krona [Duality and unity of the visible and invisible variables in the Heinrich Hertz's mechanics and Gabriel Kron's diakoptic]. / V.V. Popkov, E.V. Shipytzyn // The Bulletin of The International Institute A. Bogdanov, 2004, No.18(2). (In Russian)
- [6] **Berezuev, R.I.** Neformalizuemost nenabludaemogo i paradox lzheza [Unformalizability unobservable and the paradox of the liar] / R.I. Berezuev // Qvantovaya magia. - 2006. – V. 3. - Issue 2. - P. 2131-2142. (In Russian)
- [7] **Kaminsky, A.V.** Anatomia kvantovoy superpozitsii (3-bitnaya vseleinnaya) [Anatomy of quantum superposition (3-bit universe)] / A.V. Kaminsky // Qvantovaya magia. - 2006. – V. 3. - Issue 1. - P. 1130-1142. (In Russian)
- [8] **Banaschewski, B.** On G. Spencer Brown's Laws of Form / B. Banaschewski // Notre Dame Journal of Formal Logic. - 1977. – No. 18(3). – P. 507-509.
- [9] **Robertson, G.** Some-thing from No-thing: G. Spenser-Brown's Laws of Form / G. Robertson // Cybernetics & Human Knowing. - 1999. - Vol.6. - No.4. - P. 43-55.
- [10] **Korzybski, A.** Science and Sanity: An Introduction to Non-Aristotelian Systems and General Semantics. (Preface by Robert P. Pula.) — Institute of General Semantics, 1994. Hardcover, 5th edition. - 824 p.
- [11] **Florensky, P.A.** Mnimosti v geometrii: rasshirenie oblasti dvumernyykh obrazov v geometrii (opyt novogo istolkovaniya mnimostey) [Imaginary in geometry: expanding the field of two-dimensional images of the geometry (the experience of a new interpretation of the imaginary materials)] / P.A. Florensky. – M.: Editorial URSS, 2004. – 72 p. (In Russian)
- [12] **Bogdanov, A.** Empiriomonism [Empiriomonism] / A. Bogdanov. - M.: Publishing house “Republic”, 2003. – 400 p. (In Russian)
- [13] **Bogdanov, A.A.** Tektologiya: vseobshaya organizatsionnaya nauka. [The Tectology: universal organizational science] / A.A. Bogdanov. - M.: Finance, 2003. – 496 p. (In Russian)
- [14] **Vasilyev, N.A.** O chastnykh syzhdeniyah, treugolnike protivopolozhnostey, zakone iskluchennogo chetvertogo. [On private judgments, the triangle of opposites, the law of excluded fourth. Imaginary logic]. / N.A. Vasilyev // Voozbrazhaemaya logika. Selected works. – M.: Nauka, 1989. – 264 p. (In Russian)
- [15] **Maturana, H.** Derevo poznaniya: biologicheskie korni chelovecheskogo ponimaniya [The Tree of knowledge: biological roots of human understanding] / H. Maturana, F. Varela. - M.: Progress-Tradition, 2001. (In Russian)

- [16] **Bateson, G.** Steps to an Ecology of Mind: Collected Essays in Anthropology, Psychiatry, Evolution, and Epistemology, Published April 15th 2000 by University Of Chicago Press, - 565 p.
- [17] **Bricken, W.** Distinction Networks / W. Bricken // Proc. 19th Annual German Conference on Artificial Intelligence, (Bielefeld, Germany, September 11 - 13, 1995). Eds.: I. Wachsmuth, C.R. Rollinger and W. Brauer. - Springer-Verlag, 1995. - P. 35-48.
- [18] **Luhmann, N.** Shto takoe komunikatsiya? [What is communication?] / Translated from German by D. V. Ozirchenko // Sociologic journal. — 1995. — No. 3. — pp. 114—125. Also Center of humanitarian technologies. Informational and analytical portal. (In Russian) - <http://gtmarket.ru/laboratory/expertize/2954> (valid on 1.02.2015)
- [19] **Wittgenstein, L.** Logiko-filosofski slovar [Logico-philosophical treatise]. - M: AST, 2010. – 100 p. (In Russian)

Сведения об авторе



Попков Валериан Владимирович, 1949 г. рождения. Окончил Уральский государственный университет (1972) и Свердловский институт народного хозяйства (1983), д.э.н. (2002), профессор (2006). Директор Автономной некоммерческой организации «Международный институт Александра Богданова». Автор 130 публикаций и 7 монографий (4 в соавторстве). Область научных интересов: финансы и кредит, эволюционная экономика, эконофизика, экономический конструктивизм, теория познания.

Valerian Vladimirovich Popkov, (b. 1949). He graduated from the Ural State University (1972) and the Sverdlovsk Institute of National Economy (1983), Doctor of Economics (2002), Professor (2006). Director of the Autonomous nonprofit organization “International Alexander Bogdanov Institute”. The author of 130 publications and 7 monographs (4 with coauthors). Research interests: finance and credit, evolutionary economics, econophysics, economic constructivism, epistemology.

УДК 519.61

АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ФУНКЦИЙ, ЗАДАННЫХ С ТОЧНОСТЬЮ ДО ИНТЕРВАЛА

В.И. Левин

Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия
vilevin@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены существующие подходы к расчёту, анализу, синтезу и оптимизации систем в условиях неопределённости. Сформулирована и подробно описана задача вычисления и анализа поведения неполностью определённой функции, заданной с точностью до интервала возможных значений. Для решения этой задачи предложен алгоритм детерминизации, который позволяет свести задачу к двум аналогичным – для верхней и нижней граничных функций исходной неполностью определённой функции. В этом алгоритме используется аппарат интервальной математики и интервально-дифференциального исчисления. Выделены различные типы возможного поведения интервальных функций (постоянство, возрастание, убывание, расширение, сужение) и различные типы экстремальных точек этих функций (точка максимума, точка минимума, точка максимального расширения, точка минимального расширения). Доказаны теоремы, позволяющие выделять участки различного поведения интервальных функций и точки с различными видами их экстремума. Подробно описана работа предложенного алгоритма детерминизации, позволяющего анализировать поведение интервальных функций. Эта работа проиллюстрирована на конкретном примере.

Ключевые слова: оптимизация систем, неопределённость, детерминированная функция, интервальная функция, анализ поведения функций.

Введение

Современная наука и практика обработки информации успешно справляется с задачами исследования различных систем с полностью определёнными (детерминированными) параметрами. Эти задачи обычно формулируются как задачи расчёта, анализа и синтеза тех или иных функций с детерминированными параметрами, служащих соответствующими характеристиками изучаемых систем. Но на практике часто встречаются другие системы – системы с неточно известными, т.е. неполностью определёнными (недетерминированными) параметрами. Причины появления таких систем заключаются в естественной неопределённости, свойственной многим реальным процессам, происходящим в системах; в неточном задании параметров большинства систем из-за неизбежных погрешностей при их вычислении или измерении; в изменении во времени параметров систем; в необходимости или целесообразности совместного исследования целых семейств однотипных систем, имеющих одинаковые функции-характеристики и различающиеся лишь значениями параметров этих функций. Учёт неопределённости систем особенно важен при их проектировании, поскольку полная определённость в работе системы появляется лишь на последних этапах её создания.

Исследование введённых неопределённых систем формулируется в виде задач расчёта, анализа и синтеза различных функций с недетерминированными параметрами, служащих соответствующими характеристиками данных систем. Все эти задачи значительно сложнее их вышеупомянутых детерминированных аналогов, которые приходится решать при исследовании систем с детерминированными параметрами. Усложнение связано с тем, что алгебра недетерминированных чисел сложнее алгебры детерминированных чисел.

В настоящей статье рассматриваются задачи расчёта и анализа неточно заданных (недетерминированных) функций интервального типа. В качестве математического аппарата используется интервальная алгебра и интервально-дифференциальное исчисление.

1 Постановка задачи

Рассмотрим обычную (детерминированную) функцию одной независимой переменной

$$(1) \quad y = f(x),$$

однозначно отображающую заданное множество $X = \{x\}$ независимых переменных x в заданное множество $Y = \{y\}$ зависимых переменных y в соответствии с некоторым законом f , который и называется функцией. Хорошо известно, что задача расчёта (вычисления значений) функции (1) решается с помощью адекватного этой задаче математического аппарата алгебры вещественных чисел, при использовании подходящих методов вычисления, а задача анализа поведения функции (1) – с помощью адекватного ей аппарата классического дифференциального исчисления [1].

Рассмотрим теперь недетерминированную (конкретно, интервальную) функцию одной независимой переменной [2]

$$(2) \quad \tilde{y} = \tilde{f}(x),$$

однозначно отображающую заданное множество $X = \{x\}$ независимых вещественных (как и в (1)) переменных x в заданное множество $\tilde{Y} = \{\tilde{y}\}$ зависимых переменных-интервалов $\tilde{y} = [y_1, y_2]$, в соответствии с законом $\tilde{f}$, который и называется интервальной функцией. По определению (2), любую интервальную функцию $\tilde{f}$ можно представить в виде пары обычных функций f_1, f_2

$$(3) \quad \tilde{f} = \{f_1, f_2\},$$

которые имеют вид

$$(4) \quad y_1 = f_1(x), \quad y_2 = f_2(x).$$

Из соотношений (3), (4) видно, что интервальная функция $\tilde{f}$ эквивалентна паре обычных функций f_1, f_2 , из которых первая однозначно отображает заданное множество $X = \{x\}$ независимых переменных x функции $\tilde{f}$ в множество $Y_1 = \{y_1\}$ нижних границ интервалов $\tilde{y} = [y_1, y_2]$ – зависимых переменных этой функции, а вторая однозначно отображает то же множество $X = \{x\}$ в множество $Y_2 = \{y_2\}$ верхних границ интервалов $\tilde{y} = [y_1, y_2]$ – зависимых переменных функции.

Задача настоящей работы заключается в построении двух систематических процедур (алгоритмов), связанных с изучением интервальных функций вида (2). А именно:

- процедуры расчёта (вычисления значений) интервальной функции;
- процедуры анализа поведения интервальной функции.

2 Решение задачи вычисления интервальной функции

Начнём с решения задачи расчёта (вычисления значений) интервальной функции. Здесь возможны два случая.

Случай 1. Интервальная функция задана в разделённом виде, в котором верхняя и нижняя границы интервального значения функции выражены каждая по отдельности. Этот вид представления интервальной функции вытекает из соотношений (2)–(4). Именно, из (2), (3) следует явное представление интервальной функции в виде интервала

$$(5) \quad [y_1, y_2] = [f_1(x), f_2(x)],$$

границы которого согласно (5) выражаются формулами

$$(6) \quad y_1 = f_1(x), \quad y_2 = f_2(x).$$

Итак, вычисление интервального значения $\tilde{y} = [y_1, y_2]$ интервальной функции (2), соответствующего значению x независимой переменной этой функции, осуществляется по алгоритму:

Шаг 1. Записываем вычисляемую интервальную функцию (2) в разделённом виде (5), (6) с помощью нижней f_1 и верхней f_2 граничных функций функции (2).

Шаг 2. Вычисляем нижнюю граничную функцию f_1 , используя для этого какой-либо подходящий известный метод вычисления обычных (детерминированных) функций [3].

Шаг 3. Вычисляем соответствующую верхнюю граничную функцию f_2 , используя ту же методику, что и на шаге 2.

Шаг 4. Соединяя вычисленные значения нижней f_1 и верхней f_2 граничных функций, получим явное представление (5) вычисленной интервальной функции (2) в виде интервала.

Случай 2. Интервальная функция задана в неразделённом виде, т.е. в виде суперпозиции элементарных интервальных функций: интервального сложения и вычитания, умножения интервала на вещественное число, умножения и деления интервалов [4]. В этом случае перед собственно вычислением интервальная функция приводится к разделённому виду, после чего к функции применяется алгоритм случая 1. Приведение любой интервальной функции к разделённому виду можно осуществить с помощью основных формул интервальной математики, выражающих результаты элементарных преобразований интервалов [4]:

$$(7) \quad \left\{ \begin{array}{l} [a_1, a_2] + [b_1, b_2] = [a_1 + b_1, a_2 + b_2]; \quad [a_1, a_2] - [b_1, b_2] = [a_1 - b_2, a_2 - b_1]; \\ k \cdot [a_1, a_2] = \begin{cases} [ka_1, ka_2], & k > 0, \\ [ka_2, ka_1], & k < 0; \end{cases} \quad [a_1, a_2] \cdot [b_1, b_2] = [\min_{i,j} (a_i \cdot b_j), \max_{i,j} (a_i \cdot b_j)]; \\ [a_1, a_2] / [b_1, b_2] = [a_1, a_2] \cdot [1/b_2, 1/b_1]. \end{array} \right.$$

Пример. Привести в области $x \geq 0$ к разделённому виду интервальную функцию $\tilde{y} = ([2, 3]x + [1, 2]x) \cdot ([5, 7]x + [4, 6]x)$.

Решение. Применяя к заданной интервальной функции последовательно третью, первую и четвёртую формулы (7), получим нужный вид функции

$$\begin{aligned} \tilde{y} = [y_1, y_2] &= ([2x, 3x] + [x, 2x]) \cdot ([5x, 7x] + [4x, 6x]) = [3x, 5x] \cdot [9x, 13x] = \\ &= [\min(3 \cdot 9x^2, 3 \cdot 13x^2, 5 \cdot 9x^2, 5 \cdot 13x^2), \max(3 \cdot 9x^2, 3 \cdot 13x^2, 5 \cdot 9x^2, 5 \cdot 13x^2)] = [27x^2, 65x^2]. \end{aligned}$$

Таким образом, $y_1 = 27x^2$, $y_2 = 65x^2$, и, наконец, разделённая форма заданной интервальной функции $\tilde{y} = [y_1, y_2] = [27x^2, 65x^2]$.

3 Решение задачи анализа поведения интервальной функции: сравнение интервалов

Перейдём к описанию уже упомянутой ранее (раздел 1) задачи анализа поведения интервальной функции. Постановка этой задачи аналогична постановке задачи анализа поведения обычной детерминированной функции и включает, в первую очередь, отыскание:

- 1) интервалов возрастания функции;
- 2) интервалов убывания функции;
- 3) интервалов постоянства значений функции;
- 4) точек максимума функции;
- 5) точек минимума функции.

Кроме того, постановка задачи анализа поведения интервальной функции может включать отыскание особых интервалов (особых точек) такой функции. Существование таких интервалов (таких точек) связано с интервальным характером этой функции. У обычных детерминированных функций такие интервалы (точки) отсутствуют.

Очевидно, что решение задач анализа поведения интервальной функции требует сравнения величин интервалов. В связи с этим ниже кратко изложены основные результаты теории сравнения интервалов [5, 6]. Данные результаты составляют теоретическую базу детерминистического подхода к принятию решений в условиях интервальной неопределённости. Теоретические основы других возможных подходов к принятию решений в условиях неопределённости можно найти в литературе [7–10]. Принятие решений в условиях неопределённости является важной составной частью онтологии проектирования [11].

Рассмотрим два интервала $\tilde{a} = [a_1, a_2]$ и $\tilde{b} = [b_1, b_2]$. Попытаемся сравнить величины этих интервалов, рассматривая их как интервальные числа. Прямое сравнение интервалов $\tilde{a}$ и $\tilde{b}$ на основе отношений отдельных пар вещественных чисел (a_i, b_j) , где $a_i \in \tilde{a}, b_j \in \tilde{b}$, не всегда возможно. Действительно, в общем случае одни пары чисел будут находиться в отношении $(a_i > b_j)$, а другие – в противоположном отношении $(a_i < b_j)$. Поэтому остаётся только реализовать сравнение интервалов на теоретико-множественном уровне, рассматривая каждый из интервалов как единое целое, неделимое на части. При этом операции нахождения максимума $\vee$ и минимума $\wedge$ двух интервалов $\tilde{a} = [a_1, a_2]$ и $\tilde{b} = [b_1, b_2]$ можно ввести в виде следующих теоретико-множественных конструкций

$$(8) \quad \tilde{a} \vee \tilde{b} = \{a \vee b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}, \quad \tilde{a} \wedge \tilde{b} = \{a \wedge b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}.$$

Таким образом, взятие максимума (минимума) двух интервалов $\tilde{a}$ и $\tilde{b}$ определяется, согласно (8), как нахождение множества максимумов (минимумов) двух точных величин a и b , при условии, что эти величины пробегают все возможные значения соответственно из интервалов $\tilde{a}$ и $\tilde{b}$. Теперь для того, чтобы интервалы $\tilde{a}$ и $\tilde{b}$ можно было сравнить по величине, при этом установив их отношение $\tilde{a} \geq \tilde{b}$ или $\tilde{a} \leq \tilde{b}$, нужно, чтобы:

- 1) введённые операции $\vee, \wedge$ над этими интервалами существовали;
- 2) эти операции давали в результате один из операндов: $\tilde{a}$ или $\tilde{b}$;
- 3) указанные две операции были согласованы, т.е. если большим (меньшим) оказывается один из интервалов, то меньшим (большим) является другой из них.

Сформулированное условие сравнимости величин интервалов является, очевидно, необходимым и достаточным.

Нетрудно доказать, что условие согласованности операций $\vee$ и $\wedge$ над интервалами всегда выполняется. Очевидно также, что эти операции существуют для любой пары $\tilde{a}, \tilde{b}$, причём результатом операции в общем случае оказывается некоторый новый интервал, отличный как от $\tilde{a}$, так и от $\tilde{b}$. Таким образом, необходимым и достаточным условием сравнимости интервалов $\tilde{a}$ и $\tilde{b}$ оказывается условие, по которому операции $\tilde{a} \vee \tilde{b}$ и $\tilde{a} \wedge \tilde{b}$ должны иметь своим результатом один из интервалов – $\tilde{a}$ или $\tilde{b}$. Из этой формулировки условия сравнимости

интервалов выводятся различные его конструктивные формы, удобные для практического применения. Эти формы содержатся в нижеследующих теоремах 1 – 4.

Теорема 1. Для того чтобы два интервала $\tilde{a}=[a_1, a_2]$ и $\tilde{b}=[b_1, b_2]$ были сравнимы по величине и находились в отношении $\tilde{a} \geq \tilde{b}$, необходимо и достаточно выполнения условий

$$(9) \quad a_1 \geq b_1, \quad a_2 \geq b_2,$$

а для того чтобы эти интервалы были сравнимы по величине и находились в отношении $\tilde{a} \leq \tilde{b}$, необходимо и достаточно выполнения условий

$$(10) \quad a_1 \leq b_1, \quad a_2 \leq b_2.$$

Из этой теоремы вытекает, что любые интервалы $\tilde{a}, \tilde{b}$ сравнимы по величине (по отношению $\geq$ или $\leq$) и находятся в этом отношении только тогда, когда в таком же отношении находятся их одноименные границы a_1, b_1 и a_2, b_2 .

Значение теоремы 1 в том, что она сводит сравнение интервалов и выбор большего (меньшего) из них к очевидной операции сравнения границ указанных интервалов, являющихся вещественными числами.

Теорема 2. Для того чтобы два интервала $\tilde{a}=[a_1, a_2]$ и $\tilde{b}=[b_1, b_2]$ были несравнимы по величине (по отношению $\geq$ или $\leq$), т.е. не находились в отношении $\tilde{a} \geq \tilde{b}$ или $\tilde{a} \leq \tilde{b}$, необходимо и достаточно выполнения условий

$$(11) \quad (a_1 < b_1, a_2 > b_2) \quad \text{или} \quad (b_1 < a_1, b_2 > a_2).$$

Интервалы $\tilde{a}$ и $\tilde{b}$ несравнимы по отношениям $\geq$ и $\leq$ только тогда, когда один из них полностью «накрывает» другой. Смысл теоремы 2 в том, что она выявляет существование случаев несравнимости интервалов по отношениям $\geq$ и $\leq$, в отличие от обычных вещественных чисел, которые всегда сравнимы по этим отношениям. Несравнимость некоторых интервалов – естественный результат того, что интервальные числа, в отличие от обычных вещественных чисел, задаются не точно, а с неопределённостью (число принимает некоторое значение в заданном интервале, но при этом не уточняется, какое именно это значение).

Будем рассматривать теперь систему нескольких интервалов

$$(12) \quad \tilde{a}_1=[a_{11}, a_{12}], \tilde{a}_2=[a_{21}, a_{22}], \tilde{a}_3=[a_{31}, a_{32}], \dots$$

Сравнение по отношениям $\geq, \leq$ величин интервалов выписанной системы (12), рассматриваемых как интервальные числа, реализуется в результате попарного сравнения указанных интервалов, выполняемого в соответствии с теоремами 1 и 2. Главные результаты, получаемые этим путём, содержатся в нижеследующих теоремах 3 и 4.

Теорема 3. Для того чтобы в системе нескольких интервалов (12) существовал максимальный интервал, который находится со всеми остальными интервалами в отношении $\geq$, и этим интервалом являлся $\tilde{a}_1$, необходимо и достаточно, чтобы границы этого интервала были расположены относительно одноимённых границ всех остальных интервалов согласно условиям

$$(13) \quad \begin{cases} a_{11} \geq a_{21}, a_{11} \geq a_{31}, a_{11} \geq a_{41}, \dots \\ a_{12} \geq a_{22}, a_{12} \geq a_{32}, a_{12} \geq a_{42}, \dots \end{cases}.$$

Теорема 4. Для того чтобы в системе нескольких интервалов (12) существовал минимальный интервал, который находится со всеми остальными интервалами в отношении $\leq$, и этим интервалом являлся $\tilde{a}_1$, необходимо и достаточно, чтобы границы данного интервала были расположены относительно одноимённых границ всех остальных интервалов согласно условиям

$$(14) \quad \left\{ \begin{array}{l} a_{11} \leq a_{21}, a_{11} \leq a_{31}, a_{11} \leq a_{41}, \dots \\ a_{12} \leq a_{22}, a_{12} \leq a_{32}, a_{12} \leq a_{42}, \dots \end{array} \right.$$

Как показывают теоремы 3 и 4, интервал является максимальным (минимальным) в системе интервалов только тогда, когда максимальны (минимальны) его нижняя граница – среди нижних границ всех интервалов и верхняя граница – среди верхних границ всех интервалов. Подобно случаю сравнения двух интервалов, сравнение произвольного числа интервалов не выявит экстремального интервала, если интервалы, входящие в систему, попарно несравнимы.

До сих пор мы рассматривали процедуры выделения, вообще говоря, нестрого максимального (нестрого минимального) интервала, основанные на теоретико-множественных операциях (8) вычисления нестрого максимума (нестрого минимума) двух интервалов. Аналогично этому вводятся процедуры выделения строго максимального (строго минимального) интервала, т.е. единственного интервала, являющегося максимальным (минимальным).

Будем считать равными по определению совпадающие интервалы, т.е. для произвольных интервалов $\tilde{a} = [a_1, a_2]$ и $\tilde{b} = [b_1, b_2]$, условие их равенства вводится таким образом:

$$(15) \quad (\tilde{a} = \tilde{b}) \Leftrightarrow (a_1 = b_1, a_2 = b_2).$$

Из выражения (15) следует, что неравными являются интервалы, удовлетворяющие следующему условию:

$$(16) \quad (\tilde{a} \neq \tilde{b}) \Leftrightarrow (a_1 \neq b_1 \text{ или } a_2 \neq b_2).$$

Теперь определение того факта, что некоторый интервал $\tilde{a}$ является строго максимальным из двух интервалов $\tilde{a}, \tilde{b}$ можно записать в виде

$$(17) \quad (\tilde{a} > \tilde{b}) \Leftrightarrow (\tilde{a} \vee \tilde{b} = \tilde{a}, \tilde{a} \wedge \tilde{b} = \tilde{b}, \tilde{a} \neq \tilde{b}),$$

аналогичным образом, определение того, что некоторый интервал $\tilde{a}$ является строго минимальным из двух интервалов $\tilde{a}, \tilde{b}$ записывается в виде

$$(18) \quad (\tilde{a} < \tilde{b}) \Leftrightarrow (\tilde{a} \vee \tilde{b} = \tilde{b}, \tilde{a} \wedge \tilde{b} = \tilde{a}, \tilde{a} \neq \tilde{b}).$$

Здесь $\vee$ и $\wedge$ – теоретико-множественные операции (8) вычисления максимума и минимума двух интервалов.

Из формулировки условий (17), (18) сравнимости интервалов в виде строгих неравенств между ними можно вывести различные конструктивные формы этих условий, удобные для практики. Такие формы содержатся в теоремах 5–8, которые подобны теоремам 1–4, дающим удобные конструктивные формы сравнимости интервалов в виде нестрогих неравенств.

Теорема 5. Для того чтобы два интервала $\tilde{a} = [a_1, a_2], \tilde{b} = [b_1, b_2]$ были сравнимы по величине и находились в отношении $\tilde{a} > \tilde{b}$, необходимо и достаточно выполнения условий

$$(19) \quad (a_1 > b_1, a_2 \geq b_2) \text{ или } (a_1 \geq b_1, a_2 > b_2),$$

а для того чтобы эти интервалы были сравнимы по величине и находились в отношении $\tilde{a} < \tilde{b}$, необходимо и достаточно выполнения условий

$$(20) \quad (a_1 < b_1, a_2 \leq b_2) \text{ или } (a_1 \leq b_1, a_2 < b_2).$$

Из теоремы ясно, что интервалы $\tilde{a}$ и $\tilde{b}$ сравнимы по величине (по отношению $>$ или $<$) и находятся в указанном отношении лишь тогда, когда в том же отношении находятся их нижние границы a_1, b_1 (при этом верхние границы a_2, b_2 находятся в соответствующем не-

строгом отношении: для $>$ это $\geq$, а для $<$ это $\leq$) или же, наоборот, их верхние границы a_2, b_2 (при этом нижние границы a_1, b_1 находятся в соответствующем нестрогом отношении).

Теорема 6. Для того чтобы два интервала $\tilde{a} = [a_1, a_2]$ и $\tilde{b} = [b_1, b_2]$ были не сравнимы по величине (по отношению $>$ или $<$), т.е. не находились в отношении $\tilde{a} > \tilde{b}$ или $\tilde{a} < \tilde{b}$, необходимо и достаточно выполнения условий

$$(21) \quad (a_1 < b_1, a_2 > b_2) \text{ или } (b_1 < a_1, b_2 > a_2) \text{ или } (a_1 = b_1, a_2 = b_2).$$

Итак, произвольные интервалы $\tilde{a}$ и $\tilde{b}$ не сравнимы по отношениям $>$ и $<$ только в тех случаях, когда один из них полностью «накрывает» другой либо когда интервалы равны между собой. Значение теоремы 6 в том, что она показывает существование случаев несравнимости интервалов по отношениям $>$ и $<$ даже тогда, когда сравниваемые интервалы не равны между собой, а только «накрывают» один другой. Эта ситуация отличается от ситуации со сравнением вещественных чисел, где неравные числа всегда сравнимы по отношениям $>$ и $<$.

Рассмотрим теперь систему нескольких интервалов (12). Сравнение по отношениям $>$ и $<$ величин интервалов системы (12), рассматриваемых как интервальные числа, реализуется путем попарного сравнения этих интервалов, в соответствии с теоремами 5 и 6. Основные результаты, получаемые этим путём, изложены в нижеследующих теоремах 7 и 8.

Теорема 7. Для того чтобы в системе нескольких интервалов (12) существовал максимальный интервал, который находится со всеми остальными интервалами в отношении $>$, и этим интервалом был $\tilde{a}_1$, необходимо и достаточно, чтобы границы этого интервала были расположены относительно одноимённых границ всех остальных интервалов согласно условиям

$$(22) \quad \left\{ \begin{array}{l} (a_{11} > a_{21}, a_{12} \geq a_{22}) \text{ или } (a_{11} \geq a_{21}, a_{12} > a_{22}) \\ (a_{11} > a_{31}, a_{12} \geq a_{32}) \text{ или } (a_{11} \geq a_{31}, a_{12} > a_{32}) \\ (a_{11} > a_{41}, a_{12} \geq a_{42}) \text{ или } (a_{11} \geq a_{41}, a_{12} > a_{42}) \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}.$$

Теорема 8. Для того чтобы в системе нескольких интервалов (12) существовал минимальный интервал, который находится со всеми остальными интервалами в отношении $<$, и этим интервалом являлся $\tilde{a}_1$, необходимо и достаточно, чтобы границы данного интервала были расположены относительно одноимённых границ всех остальных интервалов согласно условиям

$$(23) \quad \left\{ \begin{array}{l} (a_{11} < a_{21}, a_{12} \leq a_{22}) \text{ или } (a_{11} \leq a_{21}, a_{12} < a_{22}) \\ (a_{11} < a_{31}, a_{12} \leq a_{32}) \text{ или } (a_{11} \leq a_{31}, a_{12} < a_{32}) \\ (a_{11} < a_{41}, a_{12} \leq a_{42}) \text{ или } (a_{11} \leq a_{41}, a_{12} < a_{42}) \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}.$$

4 Решение задачи анализа поведения интервальной функции. Основные теоремы и алгоритм

В предыдущем разделе изложен вспомогательный для задачи анализа поведения интервальной функции материал, связанный со сравнением интервальных величин. Теперь можно перейти к анализу собственно поведения интервальных функций.

Рассмотрим произвольную интервальную функцию (2). Будем считать, что эта функция задана в разделённом виде (5), (6). Это не ограничивает общности рассмотрения, так как функция, заданная в неразделённом виде, всегда может быть приведена к разделённому виду (см. раздел 2). Будем также полагать, что нижняя и верхняя граничные функции интерваль-

ной функции непрерывны и дифференцируемы. Сформулируем условия, при которых функция возрастает, убывает, остается постоянной, достигает максимума (минимума), ведёт себя иным способом.

По аналогии с обычными (детерминированными) функциями [1] введём понятия возрастания, убывания, постоянства, максимума и минимума интервальной функции.

Определение 1. Интервальная функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ называется возрастающей на интервале (a, b) , если для любых x_1 и x_2 из указанного интервала, для которых $x_1 < x_2$, выполняется неравенство $\tilde{f}(x_1) < \tilde{f}(x_2)$.

Определение 2. Интервальная функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ называется убывающей на интервале (a, b) , если для любых x_1 и x_2 из данного интервала, для которых $x_1 < x_2$, выполняется неравенство $\tilde{f}(x_1) > \tilde{f}(x_2)$.

Определение 3. Интервальная функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ называется постоянной на интервале (a, b) , если для любых x_1 и x_2 из этого интервала, для которых $x_1 < x_2$, выполняется равенство $\tilde{f}(x_1) = \tilde{f}(x_2)$.

Определение 4. Точка $x = x_0$ называется точкой максимума заданной интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$, а само число $\tilde{f}(x_0)$ – максимумом этой функции, если для всех точек x из некоторой окрестности точки x_0 , не совпадающих с x_0 , истинно строгое неравенство $\tilde{f}(x_0) > \tilde{f}(x)$.

Определение 5. Точка $x = x_0$ называется точкой минимума интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$, а число $\tilde{f}(x_0)$ – минимумом этой функции, если для всех точек x из некоторой окрестности точки x_0 , не совпадающих с x_0 , выполняется строгое неравенство $\tilde{f}(x_0) < \tilde{f}(x)$.

Введём теперь понятия расширения и сужения интервальной функции, которые не применимы к обычным (детерминированным) функциям.

Определение 6. Интервальная функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ называется расширяющейся на интервале (a, b) , если для любых точек x_1 и x_2 из этого интервала, для которых $x_1 < x_2$, интервал $\tilde{f}(x_2)$ полностью «накрывает» интервал $\tilde{f}(x_1)$.

Определение 7. Интервальная функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ называется сужающейся на интервале (a, b) , если для любых x_1 и x_2 из данного интервала, для которых $x_1 < x_2$, интервал $\tilde{f}(x_1)$ полностью «накрывает» интервал $\tilde{f}(x_2)$.

Определение 8. Точку $x = x_0$ будем называть точкой максимального расширения интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$, а число $D(x_0) = f_2(x_0) - f_1(x_0)$ – максимальной шириной указанной функции, если для всех точек x из некоторой окрестности точки x_0 , не совпадающих с x_0 , интервал $\tilde{f}(x_0)$ полностью «накрывает» интервал $\tilde{f}(x)$.

Определение 9. Точку $x = x_0$ будем называть точкой максимального сужения интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$, а число $d(x_0) = f_2(x_0) - f_1(x_0)$ – минимальной шириной функции $\tilde{f}(x)$, если для всех точек x некоторой окрестности точки x_0 , не совпадающих с x_0 , интервал $\tilde{f}(x)$ полностью «накрывает» $\tilde{f}(x_0)$.

Сформулируем и докажем условия, которые определяют то или иное поведение интервальной функции.

Теорема 9. Для того чтобы интервальная функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ являлась возрастающей на интервале (a, b) , необходимо и достаточно, чтобы на указанном интервале её нижняя граничная функция $f_1(x)$ была возрастающей, а верхняя граничная функция $f_2(x)$ – неубывающей либо, наоборот, функция $f_2(x)$ была возрастающей, а функция $f_1(x)$ – неубывающей.

Доказательство. Представим интервальную функцию $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ в интервальной форме (5): $\tilde{y} = [f_1(x), f_2(x)]$. Возрастание данной функции на интервале (a, b) по определению 1 означает, что для любых x_1, x_2 из этого интервала, таких, что $x_1 < x_2$, выполняется неравенство $[f_1(x_1), f_2(x_1)] < [f_1(x_2), f_2(x_2)]$, которое, по теореме 5, приводит к двум возможным вариантам:

$$f_1(x_1) < f_1(x_2), f_2(x_1) \leq f_2(x_2) \text{ или } f_1(x_1) \leq f_1(x_2), f_2(x_1) < f_2(x_2).$$

Итак, либо на всём интервале (a, b) нижняя граничная функция $f_1(x)$ интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ является возрастающей, а верхняя граничная функция $f_2(x)$ – неубывающей либо наоборот, $f_2(x)$ является возрастающей, $f_1(x)$ – неубывающей, что и требовалось доказать.

Теорема 10. Для того чтобы интервальная функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ была убывающей на интервале (a, b) , необходимо и достаточно, чтобы на указанном интервале её нижняя граничная функция $f_1(x)$ была убывающей, а верхняя граничная функция $f_2(x)$ – невозрастающей либо, наоборот, функция $f_2(x)$ была убывающей, а функция $f_1(x)$ – невозрастающей.

Доказательство аналогично доказательству теоремы 9, однако использует определение 2 вместо определения 1.

Теорема 11. Для того чтобы интервальная функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ была постоянной на интервале (a, b) , необходимо и достаточно, чтобы на этом интервале её нижняя $f_1(x)$ и верхняя $f_2(x)$ граничные функции были постоянными.

Доказательство следует из определения интервала как множества всех вещественных чисел между заданными двумя числами – границами интервала, включая сами границы.

Теорема 12. Для того чтобы $x = x_0$ была точкой максимума интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$, а число $\tilde{f}(x_0)$ – максимумом этой функции, необходимо и достаточно, чтобы в указанной точке достигала максимума её нижняя граничная функция $f_1(x)$ и не достигала минимума её верхняя граничная функция $f_2(x)$ либо, наоборот, достигала максимума её верхняя граничная функция $f_2(x)$ и не достигала минимума её нижняя граничная функция $f_1(x)$.

Доказательство. Представим нашу интервальную функцию $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ в интервальной форме (5): $\tilde{y} = [f_1(x), f_2(x)]$. Существование максимума этой функции в точке $x = x_0$ по определению 4 означает, что для всех точек x из некоторой окрестности точки x_0 , не совпадающих с x_0 , выполняется неравенство $\tilde{f}(x_0) > \tilde{f}(x)$ или, в интервальной форме $[f_1(x_0), f_2(x_0)] > [f_1(x), f_2(x)]$, причём последнее неравенство, согласно теореме 5, эквивалентно условию

$$(f_1(x_0) > f_1(x), f_2(x_0) \geq f_2(x)) \text{ или } (f_1(x_0) \geq f_1(x), f_2(x_0) > f_2(x)).$$

Условия левой скобки показывают, что в точке x_0 функция $f_1(x)$ обращается в максимум, функция $f_2(x)$ при этом не обращается в минимум. Условия правой скобки говорят, что в точке x_0 функция $f_2(x)$ обращается в максимум, а функция $f_1(x)$ не обращается в минимум, что и требовалось доказать.

Теорема 13. Для того чтобы $x = x_0$ была точкой минимума интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$, а число $\tilde{f}(x_0)$ – минимумом этой функции, необходимо и достаточно, чтобы в указанной точке достигала минимума её нижняя граничная функция $f_1(x)$ и не достигала максимума её верхняя граничная функция $f_2(x)$ либо, наоборот, достигала минимума её верхняя граничная функция $f_2(x)$ и не достигала максимума её нижняя граничная функция $f_1(x)$.

Доказательство теоремы 13 аналогично доказательству теоремы 12, но использует определение 5.

Теорема 14. Для того чтобы интервальная функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ являлась расширяющейся на интервале (a, b) , необходимо и достаточно, чтобы на этом интервале была убывающей её нижняя граничная функция $f_1(x)$ и была возрастающей её верхняя граничная функция $f_2(x)$.

Доказательство. Для любых x_1, x_2 из интервала (a, b) , таких, что $x_1 < x_2$, в силу расширения функции f на этом интервале должно выполняться условие: интервал $\tilde{f}(x_2)$ полностью «накрывает» $\tilde{f}(x_1)$. Выражая интервалы в интервальной форме $\tilde{f}(x_1) = [f_1(x_1), f_2(x_1)]$, $\tilde{f}(x_2) = [f_1(x_2), f_2(x_2)]$, имеем условие «накрытия» интервалов:

$$f_1(x_2) < f_1(x_1), \quad f_2(x_2) > f_2(x_1).$$

Первое из неравенств показывает, что функция $f_1(x)$ убывающая, а второе – что функция $f_2(x)$ возрастающая. Что и требовалось доказать.

Теорема 15. Для того чтобы интервальная функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ была сужающейся на интервале (a, b) , необходимо и достаточно, чтобы на данном интервале была убывающей её верхняя граничная функция $f_2(x)$ и была возрастающей её нижняя граничная функция $f_1(x)$.

Доказательство аналогично доказательству теоремы 14.

Теорема 16. Для того чтобы точка $x = x_0$ являлась точкой максимального расширения интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$, а число $D(x_0) = f_2(x_0) - f_1(x_0)$ максимальной шириной этой функции, необходимо и достаточно, чтобы в некоторой окрестности точки x_0 слева функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ была расширяющейся, а в некоторой окрестности точки x_0 справа она была сужающейся.

Теорема 17. Для того чтобы точка $x = x_0$ была точкой максимального сужения интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$, а число $d(x_0) = f_2(x_0) - f_1(x_0)$ минимальной шириной данной функции, необходимо и достаточно, чтобы в некоторой окрестности точки x_0 слева функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ была сужающейся, а в некоторой окрестности точки x_0 справа она была расширяющейся.

Доказательства теорем 16 и 17 вытекают прямо из определений 8 и 9 точек максимального расширения и сужения интервальной функции.

Анализ поведения интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$, согласно изложенному в этом разделе материалу, всегда сводится к анализу поведения двух обычных детерминированных

функций: нижней $f_1(x)$ и верхней $f_2(x)$ граничных функций функции $\tilde{f}(x)$. Это позволяет использовать для анализа поведения интервальных функций хорошо известные и разработанные методы анализа поведения обычных (детерминированных) функций, основанные на применении классического дифференциального исчисления [1]. При этом алгоритм анализа поведения произвольной интервальной функции может быть описан следующим образом.

Шаг 1. Проверка формы, в которой представлена интервальная функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$, подлежащая анализу. Если она неразделённая, т.е. не имеющая вид интервала $\tilde{y} = [y_1, y_2] = [f_1(x), f_2(x)]$, где $y_1 = f_1(x)$ и $y_2 = f_2(x)$ – соответственно нижняя и верхняя граничные функции заданной интервальной функции, то выполняем переход к шагу 2. Если она разделённая, т.е. имеющая указанный вид, то переход к шагу 3.

Шаг 2. Приведение функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ из неразделённого вида к разделённому с помощью основных формул интервальной математики (7) (см. раздел 2).

Шаг 3. Анализ поведения нижней граничной функции $y_1 = f_1(x)$ интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ с помощью известных методов анализа поведения обычных (детерминированных) функций, на основе классического дифференциального исчисления. В ходе анализа устанавливаем интервалы возрастания и убывания функции f_1 и точки её максимумов и минимумов.

Шаг 4. Анализ поведения верхней граничной функции $y_2 = f_2(x)$ интервальной функции выполняется теми же методами и по той же программе, что и предыдущий шаг.

Шаг 5. Составление сводной таблицы поведения граничных функций $y_1 = f_1(x)$, $y_2 = f_2(x)$ путём заполнения в ней первых трёх строк (см. таблицу, в соответствии с результатом анализа поведения функций $f_1(x)$ и $f_2(x)$ (шаги 3, 4).

Шаг 6. Анализ сводной таблицы с помощью теорем 9–15, позволяющих идентифицировать последовательные интервалы $(-\infty, x_1), (x_1, x_2), \dots, (x_{n-1}, x_n), (x_n, \infty)$ в ней как интервалы возрастания, убывания, расширения или сужения анализируемой интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$, а промежуточные точки $x_1, x_2, \dots, x_n$ между интервалами как точки максимума (минимума) $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ или точки максимума (минимума) её расширения или сужения. Например, если на некотором интервале (x_i, x_{i+1}) функция $f_2(x)$ возрастает, а на соседнем интервале (x_{i+1}, x_{i+2}) убывает, так что в точке x_{i+1} она максимальна, и при этом функция $f_1(x)$ на обоих интервалах постоянная, то согласно теоремам 9, 10, 12 интервальная функция $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ на интервале (x_i, x_{i+1}) возрастает, в точке x_{i+1} достигает максимума, затем на интервале (x_{i+1}, x_{i+2}) убывает.

После выполнения шага 6 заполняется четвёртая строка сводной таблицы поведения и на этом анализ поведения заданной интервальной функции заканчивается. Характерный возможный вид четвёртой строки сводной таблицы поведения интервальной функции проиллюстрирован в таблице. По результатам анализа можно вычертить график функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ (см. рисунок).

Заключение

В настоящей статье разработаны систематические методы решения задач расчёта и анализа поведения недетерминированных функций интервального типа, в которых функции определяются с точностью до интервала возможных значений. В качестве математического аппарата использованы интервальная алгебра и дифференциальные характеристики верхней и

нижней границ интервальных функций, которые можно рассматривать как специальное дифференциальное исчисление для неточно задаваемых функций интервального типа.

Таблица – Сводная таблица поведения граничных функций, определяющих интервальную функцию

$\mathcal{Y}$	$(-\infty, x_1)$	x_1	(x_1, x_2)	x_2	(x_2, x_3)	x_3	(x_3, x_4)	...	(x_{n-1}, x_n)	x_n	(x_n, ∞)
$y_1 = f_1(x)$	монотонная	возможный экстремум f_1 или f_2	монотонная	возможный экстремум f_1 или f_2	монотонная	возможный экстремум f_1 или f_2	монотонная	...	монотонная	возможный экстремум f_1 или f_2	монотонная
$y_2 = f_2(x)$	монотонная	возможный экстремум f_1 или f_2	монотонная	возможный экстремум f_1 или f_2	монотонная	возможный экстремум f_1 или f_2	монотонная	...	монотонная	возможный экстремум f_1 или f_2	монотонная
$\tilde{y} = \tilde{f}(x)$	возрастание	максимум	убывание	минимум	расширение	максимальное расширение	сужение	...	сужение	максимальное сужение	расширение

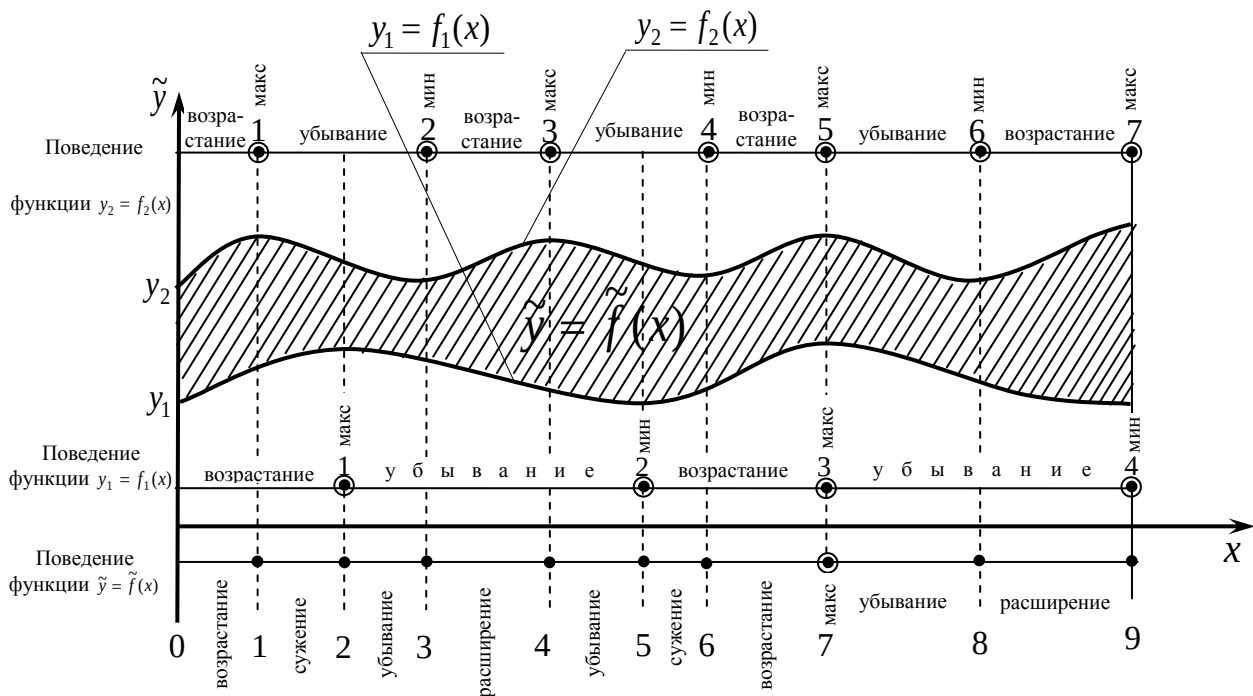


Рисунок - Пример интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$ ($y_1 = f_1(x)$ – нижняя граничная функция, $y_2 = f_2(x)$ – верхняя граничная функция)

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Фихтенгольц, Г.М.** Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 1. / Г.М. Фихтенгольц. – М.: Физматлит, 2001. – 616 с.
 - [2] **Левин, В.И.** Интервальная производная и начала недетерминистского дифференциального исчисления / В.И. Левин // *Онтология проектирования*. – 2013. – № 4(10). – С. 72–84.
 - [3] **Милн, В.Э.** Численный анализ / В.Э. Милн. – М.: Издательство иностранной литературы, 1980. – 350 с.
 - [4] **Алефельд, Г.** Введение в интервальные вычисления / Г. Алефельд, Ю. Херцбергер. – М.: Мир, 1987. – 360 с.
 - [5] **Левин, В.И.** Интервальные методы оптимизации систем в условиях неопределённости / В.И. Левин. – Пенза: Изд-во Пензенского технологического института, 1999. – 101 с.
 - [6] **Левин, В.И.** Оптимизация в условиях интервальной неопределённости. Метод детерминизации / В.И. Левин // *Автоматика и вычислительная техника*. – 2012. – №4. – С. 17–25.
 - [7] **Tsoukias, A.** A Characterization of PQI Interval Orders / A. Tsoukias, P. Vincke // *Discrete Applied Mathematics*. – 2003. – №127(2). – P. 387–397.
 - [8] **Ozturk, M.** Positive Negative Reasons in the Interval Comparisons: Valued PQI Interval Orders / M. Ozturk, A. Tsoukias // *LAMSADE-CNRS: Universite Paris Dauphine*. 2004. – 7 p.
 - [9] **Davidov, D.V.** Identification of Parameters of Linear Interval Controllable Systems with the Interval Observation / D.V. Davidov // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. – 2008. – Vol. 47. – №6. – P. 861–865.
 - [10] **Пиявский, С.А.** Простой и универсальный метод принятия решений в пространстве критериев «стоимость–эффективность» / С.А. Пиявский // *Онтология проектирования*. – 2014. – № 3(13). – С. 89–102.
 - [11] **Боргест, Н.М.** Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения / Н.М. Боргест // *Онтология проектирования*. – 2013. – № 3(9). – С. 9–31.
-

ANALYSIS OF FUNCTIONS WHICH SPECIFIED UP TO INTERVAL

V.I. Levin

Penza State Technological University, Penza, Russia
vilevin@mail.ru

Abstract

The existing approaches to the calculation, analysis, synthesis and optimization of systems under conditions of uncertainty are considered. The problem of calculating and analyzing the behavior of is not fully determined function specified up to a range of possible values is formulated and described in detail. To solve this problem, an algorithm of determination is proposed, which reduces the problem to two similar problems - the upper and lower boundary functions of the original incompletely defined function. This algorithm uses means of interval mathematics and interval-differential calculus. We highlighted the different types of possible behavior of interval functions (consistency, increase, decrease, expansion, contraction) and various types of extreme points of these functions (the maximum point, minimum point, the point of maximum expansion, the point of minimum expansion). The theorems admitting to allocate areas in the different behavior of interval functions and points of their various extreme are proved. The execution of the proposed determination algorithm that allows to analyze the behavior of interval functions is described. This operation is illustrated in the specific example.

Keywords: *problem of system optimization, uncertainty, deterministic function, interval function, analysis of functions, boundary function.*

References

- [1] **Fihtengolz, G.M.** Kurs Differencialnogo i Integralnogo Ischisleniya. T. 1. [Course of differential and integral calculus. Vol. 1] / G.M. Fihtengolz. – М.: Fizmatlit, 2001. – 616 p. (In Russian).
- [2] **Levin, V.I.** Intervalnaya Proizvodnaya i Nachala Nedeterministskogo Differencialnogo Ischisleniya [The interval derivative and the basis of nondeterministic differential calculus] / V.I. Levin // *Ontologia Proektirovania*. – 2013. – № 4(10). – P. 72–84. (In Russian).
- [3] **Miln, V.E.** Chislennyi analiz [Numerical analysis] / V.E. Miln. – М.: Izdatelstvo Inostrannoy Literatury, 1980. – 350 p.
- [4] **Alefeld, G.** Introduction to Interval computation / G. Alefeld, J. Herzberger. – N.Y.: Academic Press, 1983 – 352 p.

- [5] **Levin, V.I.** Intervalnye Metody Optimizatsii Sistem v Usloviyah Neopredelennosti [Interval methods of optimization systems under uncertainty] / V.I. Levin. – Penza: Izd-vo Penzenskogo Technologicheskogo instituta, 1999. – 101 p. (In Russian).
- [6] **Levin, V.I.** Optimizatsiya v Usloviyah Intervanoy Neopredelennosti. Metod Determinizatsii [Optimization under interval uncertainty. Determinization method] / V.I. Levin // Avtomatika i Vychislitel'naya Tehnika. – 2012. – No. 4. – P. 157-163. (In Russian).
- [7] **Tsoukias, A.** A Characterization of PQI Interval Orders / A. Tsoukias, P. Vincke // Discrete Applied Mathematics. – 2003. – №127(2). – P. 387-397.
- [8] **Ozturk, M.** Positive Negative Reasons in the Interval Comparisons: Valued PQI Interval Orders / M. Ozturk, A. Tsoukias // LAMSADE-CNRS: Universite Paris Dauphine. 2004. – 7 p.
- [9] **Davidov, D.V.** Identification of Parameters of Linear Interval Controllable Systems with the Interval Observation / D.V. Davidov // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2008. – Vol. 47. – №6. – P. 861–865.
- [10] **Piyavskiy, S.A.** Prostoy I Universalniy Metod Prinyatiya Resheniy v Prostranstve Kriteriev «Stoimost'–Effektivnost'» [A Simple and universal method of decision making within the scope of criteria of “cost and efficiency”] / S.A. Piyavskiy // Ontologia Proektirovaniya. – 2014. – No. 3(13). – P. 89–102. ISSN 2223-9537 / 2313-1039 (In Russian).
- [11] **Borgest, N.M.** Kluchevye Terminy Ontologii Proektirovaniya: obzor, analiz, obobsheniya [Keywords of Ontology of Designing: Review, Analysis, Generalisation] / N.M. Borgest // Ontologia Proektirovaniya. – 2013. – No. 3(9). – P. 9–31. ISSN 2223-9537 / 2313-1039 (In Russian).

Сведения об авторе



Левин Виталий Ильич окончил Каунасский политехнический институт, Открытый университет Израиля. Доктор технических наук, профессор, PhD, Full Professor, заведующий кафедрой математики (1975–2000), советник ректора по науке (2006–2011) Пензенского государственного технологического университета, профессор Московского университета им. С.Ю. Витте (с 2003 г.). В списке научных трудов сотни работ (в том числе десятки монографий) по логике; математическому моделированию в технике, экономике, социологии, принятию решений; оптимизации; теории надёжности; истории науки; проблемам образования. Действительный член МАИ, ЕАИ, МАНЭБ и АСН, заслуженный деятель науки Российской Федерации, лауреат международных премий «Соросовский профессор», международный эксперт в области социологии конфликта и рейтингования университетов.

Vitaly Ilyich Levin graduated from Kaunas Politechnical Institute, Open University of Israel, Doctor of Engineering Science, Professor, PhD, Full Professor. Head of Mathematics Department (1975–2000), the scientific counselor of rector (2006–2011) of Penza State Technological University, professor of Moscow University named after S.J. Vitte (since 2003). He is the author of hundreds of publications (among them dozens of monographs), in logic; mathematical modelling of engineering, economics, sociology; optimization; reliability; history of science; education problems. The member of IIA, EIA, IAELP, ASS. Honoured scientist of Russia, Laureate of International Prizes “Soros Professor”, International Reviewer in Sociology of conflicts and University ranking.

**III международная конференция
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ (ITIDS'2015)**

18-21 мая 2015 г., Уфа, Россия

ОРГАНИЗАТОРЫ

Министерство образования Республики Башкортостан
Уфимский государственный авиационный технический университет
Институт социально-экономических исследований

ОСНОВНАЯ ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- нечеткие модели и методы;
- нейросетевые технологии;
- распознавание образов;
- эволюционные и иммунные алгоритмы;
- интеллектуальные модели;
- системный анализ;
- методы принятия решений в технических системах;
- поддержка принятия решений в чрезвычайных ситуациях;
- облачные вычисления;
- роботы и робототехнические системы.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Председатель оргкомитета: д.т.н., проф. Юсупова Н.И.
450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, УГАТУ, факультет информатики и робототехники, ауд. 6-417а.
Тел.: (347) 2737967. e-mail: ITIDS2013@gmail.com

**XV международная научная конференция им. Т.А.Таран
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
ИНФОРМАЦИИ (ИАИ-2015)**

20-22 мая 2015 г., Киев, Украина

ОРГАНИЗАТОРЫ

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Российская ассоциация искусственного интеллекта
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Национальный технический университет Украины «КПИ»
Институт прикладного системного анализа

ОСНОВНАЯ ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- интеллектуальный анализ данных;
- методы инженерии знаний;
- интеллектуальный поиск и анализ информации в локальных и глобальных сетях;
- интеллектуальный анализ данных в социальной сфере и гуманитарных исследованиях;
- интеллектуальные обучающие системы;
- интеллектуальные системы для дистанционного обучения и контроля знаний;
- прикладные системы интеллектуального анализа данных;
- интеллектуальные компьютерные средства;
- методы искусственного интеллекта при моделировании систем.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Ответственный секретарь: Копычко С.Н. Секретариат: Темникова Е.Л., Тавров Д.Ю.
03056, Киев, пр. Перемоги, 37, НТУУ «КПИ», кафедра прикладной математики, корп. 14, комн. 60.
Тел.: (+38-044) 406-81-77, 454-96-96. Факс: (+38-044) 406-84-58. iaikpi@ukr.net, temnikova_elena@ukr.net

**XVII Международная конференция
ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ
В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ (ПУМСС-2015)
22-25 июня 2015 г., Самара, Россия**

ОРГАНИЗАТОР

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук (ИПУСС РАН)

ОСНОВНАЯ ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- современная теория оптимального управления и её приложения;
- информационные технологии в управлении;
- процессы управления в обществе (в социальных, экономических и политических системах);
- управление космическими полётами;
- автоматизация и интеллектуализация эргатических систем управления;
- человек в техногенном мире: управление, взаимодействие и интеграция;
- управление в сложных технических системах;
- измерения, контроль и диагностика в экстремальных условиях.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

443020, Самара, ул. Садовая, 61, ИПУСС РАН, E-mail cscmp@iccs.ru,
тел. (846) 333-26-77 – Боровик Сергей Юрьевич, ученый секретарь программного комитета,
тел/факс (846) 333-27-70 – Моисеева Татьяна Владимировна, ученый секретарь оргкомитета.

**XX Байкальская Всероссийская конференция с международным участием
ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И УПРАВЛЕНИИ
29 июня - 7 июля 2014 г., Иркутск–Байкал, Россия**

ОРГАНИЗАТОРЫ

Президиум Иркутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН
Институт динамики систем и теории управления СО РАН
Иркутский государственный технический университет
Иркутский государственный университет путей сообщения

ОСНОВНАЯ ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- теоретические и методологические аспекты информационных и математических технологий;
- математическое моделирование в научных исследованиях, вычислительная математика, оптимизация;
- семиотический подход к построению интеллектуальных систем, информационное и семантическое моделирование;
- интеллектуальные вычисления (Intelligent computing) и интеллектуальная поддержка принятия решений;
- ситуационные центры, ситуационное управление и системы поддержки принятия решений в управлении;
- корпоративные информационные, геоинформационные, интеллектуальные системы;
- параллельные и распределенные вычисления, GRID- технологии, облачные вычисления;
- методы, технологии и инструментальные средства создания Smart Grid (интеллектуальных энергетических систем);
- кибербезопасность (защита информационных систем критически важных инфраструктур).

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

664033, Иркутск, Лермонтова, 130, ИСЭМ СО РАН, e-mail: imt@isem.sei.irk.ru, www.sei.irk.ru/sei34
Телефон: (3952) 500-646 доп. 440. Макагонова Надежда Николаевна, Курганская Ольга Викторовна

Рекомендуемые издания 2014-2015 года по тематике журнала



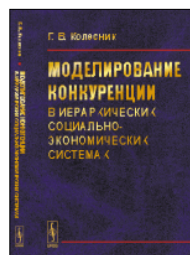
Боргест Н.М. *Будущее университета. Онтологический подход.* LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. - 112 с.

Кратко показана история становления и развития университета, как важного элемента общественно-государственной системы развития цивилизации. На основе онтологического анализа рассмотрены сущности предметной области «университет». Приведён анализ оценки будущего высшей школы России, а также анализ моделей и стратегий развития университетов. Показаны примеры и технологии реализации проектного обучения в вузах России и за рубежом. Представлен материал по автоматизации процессов, сопровождающих деятельность университета. Система менеджмента качества на базе стандарта ISO 9000 рассматривается как первый шаг на пути к автоматизации процессов в университете.



Дебольский Н.Г. *Философия будущего: Соображения о её начале, предмете, методе и системе.* URSS, 2015. - 184 с.

Книга русского философа, психолога, педагога Н.Г. Дебольского (1842-1918), в которой он выступает в защиту метафизической теории познания, критикуя противоположную, эмпирическую точку зрения на предмет философии. Цель автора - показать, что «возможно метафизическое, или онтологическое познание, то есть познание того, что существует в себе»; что, кроме учения о явлениях, возможно учение о «вещах в себе». Критически анализируя положения крайнего и умеренного эмпиризма, Н.Г. Дебольский приходит к выводу о единственно возможном онтологическом начале познания.



Колесник Г.В. *Моделирование конкуренции в иерархических социально-экономических системах.* URSS, 2015. - 352 с.

На основе принципов и подходов мезоэкономики, институциональной теории, теории игр и теории активных систем развивается инструментарий, позволяющий исследовать влияние, которое оказывает структура взаимосвязей и взаимоотношений между агентами в мезоэкономических системах на протекание и результаты их деятельности. Выявлены общие закономерности протекания процессов конкуренции между агентами в иерархических структурах, которые исследованы для широкого класса социально-экономических систем, в том числе для корпоративных структур, рынков, систем государственного управления.



Гречко П.К. *Онтометодологический дискурс современности: Историческая продвинутость и её вызовы.* URSS, 2015. - 312 с.

Представлен анализ фундаментальных измерений постмодерной современности, их содержательно-онтологического наполнения и методологической функционализации. Современность определяется как социально-историческая эпоха, идущая на смену времени Модерна. Показано, что перспективно смотрятся такие современные феномены, как сложность (complexity), концептность, различие и различия, диспозиционность, коммуникативная универсальность, медийная информация и коммуникативные мессиджи-смыслы, альтернатива и альтернативность, техногенность.



Новиков А.М., Новиков Д.А. *Методология научного исследования. Изд.3.* URSS, 2015. - 272 с.

Методология - это учение об организации деятельности. Такое определение однозначно детерминирует и предмет методологии - организация деятельности. В книге с позиций системного анализа в логике современного проектно-технологического типа организационной культуры изложены основы методологии научного исследования (методологии науки, методологии научной деятельности) как учения об организации научной деятельности.

Работа предназначена для методологов науки, всех, кто интересуется проблемами научного исследования, в том числе студентов, аспирантов и докторантов.



Мадера А.Г. *Моделирование и принятие решений в менеджменте: Руководство для будущих топ-менеджеров.* URSS, 2015. - 688 с.

Книга посвящена методам и принципам моделирования и принятия решений, применяемым в различных управленческих проблемах. В ней разбираются модели самых разнообразных управленческих ситуаций, методы принятия решений в условиях риска, неопределённости и многокритериальности, финансовое прогнозирование, оптимальные инвестиционные решения. Цель

настоящей книги - научить технологии и методике самостоятельной постановки управленческих проблем, а также методике применения информационных технологий для компьютерного моделирования управления. Основной упор в книге сделан на содержательный смысл всех разбираемых понятий, методов и концепций, которые используются при принятии решений.

TRIP AROUND THE WORLD Кругосветное путешествие журнала «Онтология проектирования»



Проект нашего научного журнала состоялся!

Первый номер уже **ПЯТОГО** тома мы с Вами держим в своих руках.

Теперь нам можно ставить глобальные цели и решать более крупные проектные задачи. Например, спроектировать и реализовать **кругосветное путешествие журнала**, презентовать его в университетах мира... Но наш мир оказался не так велик, если его можно не торопясь облететь на рейсовых самолетах в новогодние каникулы.

Поэтому поиск новых целей, как и сама жизнь, продолжается...





*Юбилей члена редколлегии журнала
«Онтология проектирования»,
академика АН РТ Сулейманова Д.Ш.*

27 марта 2015 г. в Казани состоялась юбилейная конференция, посвященная 5-летию Института «Прикладная семиотика» Академии наук РТ «Семиотическое моделирование в гуманитарной сфере» и 60-летию директора института, академика АН РТ Джавдета Шевкетовича Сулейманова.

Д.Ш. Сулейманов - заслуженный деятель науки Республики Татарстан (2012), лауреат государственной премии РТ по науке и технике (2009), вице-президент АН РТ, директор НИИ «Прикладная семиотика» АН РТ, зав. каф. Информационных систем КФУ, академик АН РТ (2007), профессор кафедры технологий программирования КГУ (2001), доктор технических наук (2000), член союза писателей РТ (2001) - родился 15 марта 1955 года. В 1972 году после окончания средней школы с золотой медалью поступил на механико-математический факультет Казанского государственного университета. После окончания университета с отличием в 1977 году по специальности прикладная математика, начал трудовую деятельность на кафедре теоретической кибернетики КГУ: аспирант, ассистент, старший преподаватель, доцент кафедры теоретической кибернетики. С 2012 года - зав. кафедрой «Информационные системы» Института вычислительной математики и информационных технологий КФУ, профессор кафедры технологии программирования КФУ.

В 1986 году защитил кандидатскую диссертацию, а в 2000 году – докторскую. В 1990-1993 годы заведующий лабораторией искусственного интеллекта КГУ, с 1993 года по 2009 год возглавлял лабораторию «Проблемы искусственного интеллекта». С 2009 года является директором НИИ «Прикладная семиотика» АН РТ.

Им разработана теория автоматизированного диагностирования ответов обучаемого на естественном языке и предложены методы и технология построения систем, основанных на прагматически-ориентированных моделях. Под руководством Сулейманова Д.Ш. и при его участии созданы электронные мультимедийные учебники, которые активно используются в школах РТ и в других регионах России. Созданный программный комплекс татарской локализации компьютерных систем повсеместно используется в делопроизводстве и для преподавания предметов на татарском языке. В настоящее время по заказу правительства РТ осуществлена полная татарская локализация всех операционных систем и офисных приложений фирмы MicroSoft, начиная с Windows XP.

XIV национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2014

Казань, 24-27 октября 2014 г.



**КИИ-2014
Казань**

Взгляд на КИИ-2014 Д.Ш. Сулейманова - http://www.raai.org/resurs/foto/kii2014/kii-2014_Suleymanov/

Индекс 29151

Подписка на журнал 2015

Продолжается подписка на номера журнала
«Онтология проектирования» на 2015 год.

Стоимость подписки на год через редакцию журнала 2000 руб.

Подробности на сайте журнала.

Для подписчиков журнала, оформивших подписку на 2015 год, **бонус** от редакции журнала в виде книги, рекомендованной к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева (национальный исследовательский университет) (СГАУ)» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки магистров (Авиационное).



Книга может быть полезна аспирантам, научным сотрудникам, инженерам и всем тем, кого интересует суть процесса проектирования.

Пособие по одноименной дисциплине «Онтология проектирования» подготовлено на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов СГАУ. В нём излагаются теоретические основы новой учебно-научной дисциплины: истоки онтологии, терминологические соглашения, принципы проектирования, психология проектирования, онтология как спецификация концептуализации, языки описания и инструменты проектирования онтологий. На основе системного подхода, достижений информационных технологий и современной философии обосновывается целесообразность дальнейшего развития онтологического анализа начального этапа жизненного цикла сложных систем – этапа проектирования.

Второе издание пособия (1-е вышло в 2010 году) переработано и дополнено. В него вошли материалы, опубликованные автором в период 2010-2014 г.г. в научных журналах и трудах международных научных конференций.

Ontologists and designers of all countries and subject areas, join us!



Издательство «Новая техника» - Publisher «New Engineering» Ltd
Россия, 443010, Самара, ул.Фрунзе 145 - 145, Frunze Str., Samara, 443010, Russia